Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

Université Lille1 Sciences et Technologies

Ecole Doctorale Sésam

LABO TERRITOIRES VILLES ENVIRONNEMENT & SOCIÉTÉ

THÈSE DE DOCTORAT

Pour obtenir le grade de
Docteur de l'Université de Lille 1 - Sciences et Technologies
Ecole doctorale des Sciences Economiques et Sociales, de l'Aménagement et du Management (SESAM)

Discipline: **GÉOGRAPHIE**

TORRENTS ET TORRENTIALITÉ DANS LA VALLÉE DE LA GUISANE

CONTRIBUTION D'UNE ÉTUDE GÉOGRAPHIQUE À LA GESTION DURABLE DU RISQUE TORRENTIEL À SERRE-CHEVALIER

(Briançonnais; Hautes-Alpes; France)

Lucas THÉNARD

Sous la direction de **Pierre-Gil Salvador et de Philippe Lahousse.**

Thèse soutenue publiquement le 27 novembre 2009.

Jury composé de :

Jean-Paul Bravard: Professeur des Universités, Université Lumière Lyon 2 *(Président)*
Carmen De Jong: Professeur des Universités, Université de Savoie - Chambéry *(Rapporteur)*
Monique Fort: Professeur des Universités, Université Denis Diderot - Paris 7 *(Rapporteur)*
Philippe Lahousse: Maître de Conférences, Lille 1 Sciences et Technologies *(Co-directeur)*
Frédéric Liébault: Chargé de recherche au CEMAGREF, Grenoble, Unité de Recherche ETNA *(Examinateur)*
Pierre-Gil Salvador: Professeur des Universités, Lille 1 Sciences et Technologies *(Directeur)*

2009 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Photographie de la page de garde : *08/10/2007* → *Vue sur le torrent du Grand Tabuc (Com. du Monêtier-les-Bains) depuis le bassin versant du torrent de Saint-Joseph. Cliché : L. Thénard.*

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

Université Lille1 Sciences et Technologies

École Doctorale Sésam

LABO TERRITOIRES VILLES ENVIRONNEMENT & SOCIÉTÉ



THÈSE DE DOCTORAT

Pour obtenir le grade de
Docteur de l'Université de Lille 1 - Sciences et Technologies
Ecole doctorale des Sciences Economiques et Sociales, de l'Aménagement et du Management (SESAM)

Discipline: **GÉOGRAPHIE**

TORRENTS ET TORRENTIALITÉ DANS LA VALLÉE DE LA GUISANE

CONTRIBUTION D'UNE ÉTUDE GÉOGRAPHIQUE À LA GESTION DURABLE DU RISQUE TORRENTIEL À SERRE-CHEVALIER

(Briançonnais; Hautes-Alpes; France)

Lucas THÉNARD

Sous la direction de **Pierre-Gil Salvador et de Philippe Lahousse.**

Thèse soutenue publiquement le 27 novembre 2009.

Jury composé de :

Jean-Paul Bravard: Professeur des Universités, Université Lumière Lyon 2 *(Examinateur)*
Carmen De Jong: Professeur des Universités, Université de Savoie - Chambéry *(Rapporteur)*
Monique Fort: Professeur des Universités, Université Denis Diderot - Paris 7 *(Rapporteur)*
Philippe Lahousse: Maître de Conférences, USTL-Lille1 *(Co-directeur)*
Frédéric Liébault: Chargé de recherche au CEMAGREF, Grenoble, Unité de Recherche ETNA *(Examinateur)*
Pierre-Gil Salvador: Professeur des Universités, USTL - Lille1 *(Directeur)*

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

AVANT-PROPOS.

> « *Ce qui compte ne peut pas toujours être compté, et ce qui peut être compté ne compte pas forcément.* »
>
> Albert Einstein - 1941

Je ne perçois pas cette fin de thèse comme un aboutissement mais plutôt comme l'accomplissement d'un engagement personnel, ainsi que l'ouverture d'une nouvelle tranche de vie. Or, rien n'aurait été possible sans l'accompagnement, l'aide, le soutien et la confiance de quelques uns.

A l'image de la thématique étudiée, mon parcours de doctorant a été particulièrement contrasté, souvent chaotique mais aussi d'une richesse inouïe. Avant tout, je retiendrais de cette thèse une extraordinaire aventure humaine, dans tous les sens du terme. Les campagnes de mesures et/ou de reconnaissance dans les lits torrentiels de la Guisane, du briançonnais et même du Piémont italien restent et resteront des souvenirs inaltérables. Outre la splendeur et la diversité des paysages rencontrés, l'exploration scientifique des bassins torrentiels s'est souvent traduite, à titre personnel, par des sensations uniques. Indissociable de la discipline, ce travail de terrain me rappelait systématiquement ma passion de la découverte en général, et pour la géomorphologie en particulier. Par ailleurs, malgré certaines contraintes sur la continuité de mes recherches, je retiendrai aussi une expérience de cinq années d'enseignement dans deux grandes universités françaises *(Lille 1 et Paris 4 Sorbonne)*. Sans jamais avoir eu le même service d'enseignement d'un semestre à l'autre, cet exercice suppose un véritable engagement, une continuelle remise en question et incontestablement une certaine forme de vocation. Enfin, comparativement aux périodes ultérieures, il me faut reconnaître durant les deux dernières années une certaine perte d'efficacité malgré un travail permanent. Il y a certaines fractures qui ne préviennent ni l'intéressé, ni son entourage professionnel ou personnel. En assumant entièrement ma responsabilité, les manifestations de cynisme ou au contraire d'empathie constituent pour moi une richissime expérience, que j'espère employer comme une force et à bon escient à l'avenir.

En préambule de remerciements plus personnels, je tiens à remercier **l'ensemble des membres du jury** d'avoir accepté d'évaluer ce travail, et pour la plupart d'entres eux d'avoir effectué tant de kilomètres pour participer à la soutenance de cette thèse.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Il m'est impossible d'entamer ces remerciements sans commencer par exprimer ma gratitude et ma reconnaissance à **Philippe Lahousse**. Sans avoir pris une seule note, je peux aujourd'hui réciter, en substance, mon premier cours de géomorphologie glaciaire dispensé par cet enseignant-chercheur. La rigueur de son raisonnement, son évidente expérience du terrain et sa passion communicative pour la discipline m'ont littéralement "happé". Sous sa direction, je me suis engouffré avec délectation dans la découverte et l'apprentissage du travail de recherche. D'autre part et en Guisane, il a également tenu à m'accompagner et à m'encadrer sur le terrain, ce qui à bien des égards a été très formateur et certainement salutaire pour l'aboutissement de ce travail. Outre l'important travail de relecture, je me dois de le remercier pour l'intelligence et la délicatesse dont il a fait preuve à mon égard au cours des deux dernières années. Malgré une franchise sans complaisance particulière ni apitoiement, il a su ne pas m'accabler davantage durant des périodes tourmentées. Qu'il trouve dans ces quelques lignes, et bien qu'elles soient extrêmement synthétisées, ma sincère et durable reconnaissance.

Je tiens également à exprimer toute ma gratitude à **Pierre-Gil Salvador** pour avoir accepté de reprendre la direction de cette thèse. Pour résumer et sans être plus exhaustif, je lui exprime un grand merci pour son continuel suivi et d'avoir redonné un sens à l'expression "direction de thèse". Sa disponibilité, ses remarques toujours pertinentes et constructives m'ont permis de gagner en rigueur et d'étendre certaines réflexions.

Mes recherches en briançonnais m'ont conduit à contacter un certain nombre d'acteurs locaux plus ou moins concernés par le risque torrentiel. Sans pouvoir tous les citer, je remercie chaleureusement i) **Raymond Lestournelle**, président et fondateur de la *Société Géologique et Minière du Briançonnais (SGMB)*. Incontournable et passionné, les interventions de cet érudit m'ont ouvert de nombreuses portes pour mes recherches. Qu'il trouve dans ces lignes, l'expression de ma gratitude et de mon amitié. Concernée et impliquée sur la thématique du risque torrentiel *(ex : conférences, parcours scientifique du Verdarel, etc.)*, l'association et ses membres nous ont également fourni des photographies de terrain précieuses pour nos recherches. ii) Le **service RTM des Hautes-Alpes** et l'ensemble de son personnel pour nous avoir ouvert leurs archives, à la fois uniques et indispensables à de telles recherches. iii) La **commune de l'Argentière-la-Bessée**, et en particulier **au service culturel**. Malgré la priorité logiquement accordée aux recherches archéologiques dans ce secteur, toutes nos demandes ont toujours trouvé une issue favorable que se soit en terme de logement qu'en terme logistique. Sans pouvoir détailler davantage, nos remerciements s'adressent également aux services de la **DDE** et de la **DDAF** des Hautes-Alpes, au **Comité Départemental du Tourisme**, ou encore au personnel du **CRIGE-PACA** *(Aix-en-Provence)* pour leur accueil et leur collaboration. Enfin, j'adresse également ces remerciements **aux communes de la vallée de la Guisane** pour les informations qu'ils ont bien voulu nous fournir sur un sujet toujours aussi sensible.

A titre plus personnel, je tiens à adresser ma reconnaissance à mon habituel compère de terrain, ou plus exactement, de lits torrentiels : **Gilles Garitte**. Son expérience de la montagne m'a évité quelques mésaventures et son schéma de raisonnement a été souvent à l'origine de discussions très animées mais toujours productives. Outre des centaines de kilomètres parcourus sur les versants du briançonnais, nous avons également en commun quelques chutes ou glissades mémorables !

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

De la même manière, je tiens à exprimer mes remerciements les plus vifs à **Éric Masson**, qui en dehors de ses compétences et de son aide sur les aspects géomatiques, a été un important soutien moral dans la poursuite de cette thèse. Dans le même esprit, l'équipe de l'**Observatoire Nationale de l'Aménagement Durable Accessible *(ONADA)*** a constitué un soutien infaillible sur bien des aspects. Merci à vous Muriel, Franck, Sébastien, Jean-Baptiste, Vianney, etc. ! Merci également à **Frédéric Chavy** pour ses conseils, son soutien et surtout pour ses appels réguliers. Enfin, il me faut remercier **Stéphanie Bernard** *(Ingénieur Polytech'Lille)* pour son assistance technique sur les A.C.P. Enfin, un grand merci à **Oliver Blanpain** *(Professeur des universités et membre du laboratoire TVES)* pour m'avoir permis de réaliser 3 datations radiocarbones. Je tiens également à remercier l'ensemble des personnes qui de près ou de loin a soutenu, aidé ou encouragé ce travail *(les intéressés se reconnaîtront certainement)*: doctorants du laboratoire TVES, enseignants-chercheurs de Lille 1 et Paris 4, personnel administratif.

Pour finir, j'adresse mon infinie reconnaissance à celles et ceux **sans qui rien n'aurait jamais pu se faire, ni aboutir :**

- En dehors de leur indéfectible confiance et de leurs continuels encouragements, **mes parents** *(Chantal et Daniel)* m'ont transmis des valeurs que je comprends aujourd'hui comme essentielles ; j'espère juste en avoir été digne. Malgré la maladie apparue dans leur vie à l'entame de cette thèse, leur soutien à mon égard n'a fait que se renforcer et il ne s'est probablement jamais révélé aussi important. Merci également **à ma sœur et son mari** *(Hélène et Greg)* pour leur infaillible soutien, leur accueil et leur écoute dans les moments les plus difficiles, et surtout pour leur joie de vivre particulièrement communicative !

- Merci également à ma belle-mère, **Mireille**, qui a parcouru tant et tant de kilomètres sur l'A25 pour garder mon fils le mercredi et ainsi me permettre de travailler. Qu'elle sache également que je suis profondément admiratif et reconnaissant pour sa tolérance et son optimisme naturel !

- Comment ne pas remercier celle qui est ma compagne depuis plus de 15 ans maintenant, et ma femme depuis 4 années : **Delphine**. Tout autant que moi sinon plus, elle aura porté de la tête et des épaules le poids de ma passion et de mes études. Depuis ma maîtrise, elle a connu les moments les plus euphoriques comme les plus stressants. Elle a supporté mes absences répétées, et parfois l'angoisse lorsque j'effectuais une campagne de terrain en "solo". Surtout, elle aura subi les regards et les jugements extérieurs sur mon travail et/ou son intérêt. Quoi qu'il advienne désormais, par ces quelques mots je tiens à lui exprimer mon infinie reconnaissance. Même si elle le sait déjà, je tiens enfin à lui dire que notre plus belle réussite des dernières années et des suivantes est notre fils, **Clément,** aujourd'hui âgé de 3 ans. Principal moteur de ma motivation dans l'aboutissement de ce travail, je leur dédie d'ailleurs l'intégralité de ce manuscrit.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

A ma femme et mon fils, Delphine et Clément.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Table des matières

AVANT-PROPOS. 5

TABLE DES MATIERES 9

INTRODUCTION GÉNÉRALE : 13

1. CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE ET CADRE MÉTHODOLOGIQUE. 39

1.1. CONDITIONS TOPOSTATIONNELLES DE LA VALLEE ET CONTEXTE BIOCLIMATIQUE. 42
1.1.1. Contexte orohydrographique et caractéristiques topographiques. 42
1.1.1.1. Un évasement progressif de la vallée de l'amont vers l'aval. 45
1.1.1.2. Une dissymétrie marquée des versants. 48
1.1.2. L'environnement bioclimatique actuel. 51
1.1.2.1. Les grands traits du contexte climatique actuel en Guisane 52
1.1.2.2. Aperçu du cadre biogéographique de la Guisane 61
1.2. LE CADRE GEOLOGIQUE ET STRUCTURAL. 66
1.2.1. Esquisse du contexte géologique de la Guisane. 68
1.2.1.1. La zone dauphinoise orientale. 70
1.2.1.2. La zone subbriançonnaise 72
1.2.1.4. Tectonique et torrentialité 76
1.3. UN CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE PARTICULIEREMENT FAVORABLE A L'ALEA TORRENTIEL. 80
1.3.1. Des héritages glaciaires prépondérants. 82
1.3.1.1. Les grands traits de la Guisane lors du Dernier Maximum Glaciaire. 82
1.3.1.2. Les héritages morpho-sédimentaires postérieurs au Dernier Maximum Glaciaire Alpin (DMA). 88
1.3.1.3. L'influence des récurrences glaciaires PAG et contemporaines. 94
1.3.1.4. Le domaine périglaciaire de la Guisane ; une source supplémentaire d'alimentation des lits torrentiels. 102
1.3.1.4.1. L'éboulisation des versants périglaciaires et les connexions avec les systèmes torrentiels. 103
1.3.1.4.2. Autres modelés périglaciaires en Guisane : des questions en suspend. 109
1.3.1.5. L'instabilité chronique des versants guisanais. 113
1.3.1.5.1. Ampleur et diversité des mouvements de terrain en Guisane. 113
1.3.1.5.2. Origines et implication de l'instabilité des versants dans les dynamiques torrentielles. 117
1.4. LE CADRE METHODOLOGIQUE. 125
1.4.1. Les données employées et les principaux outils de leur traitement. 126
1.4.1.1. Les données historiques. 128
1.4.1.2. Les données issues des techniques de télédétection 131
1.4.1.2.1. Les photographies aériennes. 131
1.4.1.2.2. Les images satellites et les autres référentiels spatiaux. 136
1.4.3. Création d'un Système d'Informations à Références Spatiales (SIRS) sur le risque torrentiel à Serre-Chevalier: apports et limites. 160
1.4.3.1. Principaux apports des Systèmes d'Informations Géographiques (SIG). 162
1.4.3.2. Objectifs et principes élémentaires du SIRS 163
1.4.3.3. Présentation du SIRTOS et perspectives. 168

2. LES CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES ACTUELLES DES TORRENTS DE LA VALLEE DE LA GUISANE. 179

2.1. CONSIDERATIONS METHODOLOGIQUE. 183
2.1.1. L'approche morphométrique 183
2.1.2. Traitements statistiques. 187
2.2. INDICATEURS MORPHOMETRIQUES GENERAUX. 188
2.2.1. Premières constatations. 188
2.2.1.1. Des contrastes de taille. 188
2.2.1.2. Diversité des lits torrentiels en fond de vallée. 190
2.2.1.3. Contrastes des couvertures forestières dans les bassins torrentiels. 191
2.2.2. Analyses individualisées des principaux paramètres morphométriques. 195
2.2.2.1. Les surfaces. 195
2.2.2.2. Les pentes. 197
2.2.2.3. Formes des bassins torrentiels. 201
2.2.2.3.1. Indice de compacite de Gravelius 201
2.2.2.3.2. Morphométrie des cônes torrentiels. 202
2.2.2.4. Les réseaux hydrographiques torrentiels en Guisane. 206

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

2.3. ANALYSE MULTIVARIEE DES PARAMETRES MORPHOMETRIQUES. 209
2.3.1. Disparités des interconnexions dans les bassins torrentiels (analyses bivariées). *210*
2.3.2. Détermination de trois grands types de torrents aux caractéristiques morphométriques singulières et représentatives (analyses multivariées). *220*
2.4. PROPOSITION D'UNE TYPOLOGIE FONCTIONNELLE BASEE SUR LES PRINCIPALES CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES DES TORRENTS DE SERRE-CHEVALIER. 228
2.4.1. Morphotype A : les torrents élémentaires. *231*
2.4.1.1. Les torrents élémentaires de la haute vallée (A_1)..... 235
2.4.1.2. Les torrents élémentaires de la moyenne et basse vallée (A_2). 239
2.4.2. Morphotype B : Les torrents composites (B). *241*
2.4.3. Morphotype C : Les torrents composites proglaciaires. *253*
2.4.3.1. Le torrent du Petit Tabuc. 255
2.4.3.2. Le torrent du Grand Tabuc. 260
2.5. CONCLUSION DU CHAPITRE 2 : DISCUSSION SUR LA NOTION DE POTENTIALITE. 268

3. EVOLUTION CONTEMPORAINE DE L'ACTIVITE TORRENTIELLE DANS LE CADRE DU DEVELOPPEMENT DE LA STATION DE SERRE-CHEVALIER. 277

3.1. CONSIDERATIONS GENERALES. 279
3.2. RESULTATS ET ENSEIGNEMENTS DE L'ENQUETE HISTORIQUE. 282
3.3. VARIABILITE ET AJUSTEMENTS DES DYNAMIQUES TORRENTIELLES CONTEMPORAINES. 289
3.3.1. Les cônes torrentiels comme témoins privilégiés des dynamiques torrentielles. *289*
3.3.2. Variations contemporaines des zones d'emprises torrentielles des torrents élémentaires de la haute vallée. *291*
3.3.2.1. Approche comparative des torrents du Rif Blanc et des Vallois. 292
3.3.2.1.1. Des contextes géomorphologiques favorisant l'instabilité. 292
3.3.2.1.2. Morphodynamiques contemporaines. 294
3.3.2.1.3. Les évènements récents. 298
3.3.3. Les modèles d'évolutions "anthropisés". *305*
3.3.3.1. Le torrent de Saint-Joseph : une vitrine du savoir-faire RTM en Guisane. 306
3.3.3.2. Le torrent de Sainte-Elisabeth : de l'efficacité de la correction torrentielle à la réponse actuelle du torrent aux évolutions des paramètres environnementaux. 317
3.3.3.2.1. Une menace ancestrale. 318
3.3.3.2.2. La tectonique à l'origine de la recharge sédimentaire. 320
3.3.3.2.3. Une correction torrentielle séculaire. 323
3.3.3.2.4. Tendance actuelle : l'hypothèse d'un répit hydrologique. 326
3.3.4. Le torrent du Grand Tabuc : un modèle contemporain et de rétraction "spontanée"de la bande active torrentielle. *332*
3.3.4.1. Caractéristiques actuelles du Grand Tabuc. 333
3.3.4.2. Évolution contemporaine de la bande active dans la section supérieure du bassin torrentiel. 338
3.3.4.3. Analyse de la rétraction contemporaine et récente du Grand Tabuc sur son cône de déjection. 344

4. D'UNE MENACE LATENTE A UN FAIT AVERE : MISE EN PERSPECTIVE POUR UNE GESTION PLUS DURABLE DU RISQUE TORRENTIEL A SERRE-CHEVALIER. 363

4.1. DE LA VALLEE DE LA GUISANE A LA STATION DE SERRE-CHEVALIER : UNE VULNERABILITE CROISSANTE DANS LE CADRE DE LA RECONVERSION TOURISTIQUE. 365
4.1.1. 1950-2000 : création et développement de Serre-Chevalier ou la concentration des enjeux en fond de vallée. *366*
4.1.2. De l'emprise torrentielle à l'emprise urbaine : exemple des torrents du Bez et de Saint-Bernard. 370
4.1.2.1. Le torrent du Bez au coeur de Serre-Chevalier 1400m. 370
4.1.2.2. Le cône "urbain" de Saint-Bernard (Serre-Chevalier 1300m) : un exemple de dénégation des dynamiques torrentielles. 374
4.1.3. Serre-chevalier en 2008 : un aléa, des vulnérabilités… *385*
4.2. LE VERDAREL : UN TORRENT A L'ORIGINE DE LA PRISE DE CONSCIENCE DE LA REALITE DU RISQUE TORRENTIEL A SERRE-CHEVALIER. 389
4.2.1. Un bassin versant aux caractéristiques morphologiques prédisposant à un aléa torrentiel intense. 390
4.2.2. Le paradoxe entre un constat historique éloquent et l'urbanisation récente du cône torrentiel. 397
4.2.3. 09 juillet 1981 : la prise de conscience de la réalité du risque torrentiel à Serre-Chevalier. 400
4.2.4. Enseignements et mise en perspective de la crue du 01 septembre 2005. ..... *408*
4.2.4.1. Un évènement paroxystique particulièrement morphogène : le chenal torrentiel comme principale source sédimentaire. 410
4.2.4.2. Conséquences pour la gestion du risque torrentiel actuelle et à venir. 422

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

4.3. DE L'EXEMPLE DU VERDAREL A LA VALLEE DE LA GUISANE : UNE REFLEXION ELARGIE A SERRE-CHEVALIER POUR UNE GESTION PLUS DURABLE DU RISQUE TORRENTIEL. 440

4.3.1. Du rigorisme de la territorialisation du risque torrentiel au risque d'inadéquation de sa prévention. *441*

4.3.2. Le Bez : un torrent emblématique du risque torrentiel à Serre-Chevalier. *446*

4.3.2.1. La crue du 24 juillet 1995 : Serre-Chevalier 1400 s'impose comme le site le plus assujetti au risque torrentiel en Guisane 450

4.3.2.2. Éléments de réflexion sur la gestion du risque torrentiel sur le cône torrentiel du Bez entre 1995 et 2009. 455

4.4. VERS L'EMERGENCE D'UNE GESTION DURABLE DU RISQUE TORRENTIEL A SERRE-CHEVALIER ? 470

CONCLUSION GÉNÉRALE : 475

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 482

RÉSUMÉ: 504

ABSTRACT: 505

TABLE DES FIGURES 506

TABLE DES TABLEAUX 514

TABLE DES ENCADRES. 515

ANNEXES. 516

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

INTRODUCTION GÉNÉRALE :

> "Un concept est une invention à laquelle rien ne correspond exactement, mais à laquelle nombre de choses ressemblent."
>
> Friedrich Nietzsche (Posthumes)

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Depuis quelques décennies, il ne se passe plus une année, ni même un mois sans que la sphère médiatique planétaire n'évoque une catastrophe naturelle. Les inquiétudes se font d'autant plus prégnantes que ces évènements sont généralement apposés sur le spectre du réchauffement climatique global annoncé, et ses éventuelles conséquences.



Figure 1 : Inondation à Saint-Pons-les-Mûres du 19/09 /2009.

Les inondations meurtrières ayant affecté les Philippines fin septembre 2009 l'illustrent une nouvelle fois *(bilan au 27 septembre 2009 : 106 morts ou disparus et 280 000 habitants déplacés.)*. Dans le même esprit, bien que moins dramatique sur le plan humain, le 19 septembre 2009, une crue torrentielle a dévasté un quartier entier de Sainte-Maxime *(83-Var)* et quelques communes riveraines du cours d'eau côtier le Préconil **[Cf. figure 1]**. Immédiatement, des voix se sont élevées pour dénoncer l'urbanisation massive des secteurs inondables et l'inefficience de la prévention des risques naturels *(PPRI approuvé)*. Ces quelques exemples illustrent déjà la complexité de l'analyse des risques et son intérêt scientifique.

Plus largement, les sociétés modernes occidentales ne se résignent plus à la fatalité face aux évènements dommageables, qu'ils soient d'ordre naturel ou non. Au point que la notion d'imprévisibilité en devient inconcevable, à l'heure où le principe de précaution est élevé au rang de paradigme institutionnel et même constitutionnel *(en France) ;* l'un renforçant l'autre, et inversement. Cette perception actuelle, ne tolérant pas ou plus le sentiment d'incertitude face à une situation de vulnérabilité, résulte d'évolutions sociétales récentes, mais néanmoins profondes. Les trente dernières années ont vu s'imposer cette "société du risque" (Beck, 2001.) dans la plupart des domaines d'activité ou de vie. Cet avènement de la notion de risque prend d'ailleurs une dimension particulière en pleine pandémie du virus grippal H1N1 *(niveau d'alerte 5 de l'OMS)*. En effet et dans l'immédiat, les moyens mis en œuvre dans la prévention de ce risque sanitaire sont souvent considérés dans l'opinion publique comme démesurés par rapport à la menace réelle.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

A l'inverse un défaut de prévention peut être considéré comme rédhibitoire. Pour preuve, les polémiques engendrées par la crise financière entamée en 2008, ont essentiellement porté sur le risque d'une financiarisation incontrôlée de l'économie réelle à des fins strictement spéculatives. Les notions de risque et de prévention se sont donc progressivement insinuées dans tous les pans de la société. D'ailleurs, des plus catastrophistes aux plus sensationnelles en passant par les plus modérées, les chroniques médiatiques flirtent très régulièrement sur la thématique des risques naturels, technologiques, sanitaires, financiers etc.

Les composantes de la notion de risque naturel.

Au terme de ce préambule, on perçoit dès à présent la complexité de l'étude des risques puisqu'elle comporte intrinsèquement une grande part de subjectivité. Le risque est finalement une conception récente, évoluant en permanence au rythme des changements de mentalités. La conscience collective du risque et sa définition peuvent considérablement variées en fonction des régions, des pays ou des continents, ainsi que du degré de développement des sociétés concernées. La notion de risque apparaît donc comme assez relative, dépendante *"de la perception qu'à le groupe social de* ***l'aléa*** *et de sa* ***vulnérabilité"*** (Manche, 1997).

Ces deux derniers termes forment les composantes principales de la notion de risque telle qu'elle est communément et actuellement conceptualisée. Schématiquement, le risque peut être considéré comme l'espace de croisement d'un aléa et d'une vulnérabilité **[Cf. figure 2]**. **La définition la plus couramment adoptée est que le risque résulte du produit[1] de l'aléa et de la vulnérabilité.** En 1997, le rapport "Bourrelier" réalisée pour le compte de la Commission interministérielle de l'évaluation des politiques publiques donnait au risque la définition suivante : *"c'est un événement dommageable, doté d'une certaine probabilité, conséquence d'un aléa survenant dans un milieu vulnérable. Le risque résulte, donc, de la conjonction de l'aléa et d'un enjeu, la vulnérabilité étant la mesure des dommages de toutes sortes rapportés à l'intensité de l'aléa.*

[1] Plutôt que "produit", mais utilisé dans le même sens, le terme de "croisement" entre un aléa et la vulnérabilité est fréquemment employé dans la littérature.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

- **<u>Concernant la notion de risque naturel étudiée dans cette analyse</u>**, l'**aléa naturel** peut être défini comme un phénomène physique potentiellement dommageable. Ce terme recouvre également les notions d'occurrence et d'intensité.
- Relativement ambiguë car elle rassemble un grand nombre d'aspects, la **vulnérabilité** désigne généralement <u>le niveau d'exposition d'un enjeu à un aléa</u> (Brugnot, 2008).
- Humains et/ou matériels *(bâti, impact socio-économique, etc.)*, **les enjeux** renvoient aux dommages éventuels que peut engendrer un aléa naturel. Définis de la sorte et dans notre étude, <u>les enjeux forment donc un élément de la vulnérabilité</u>.

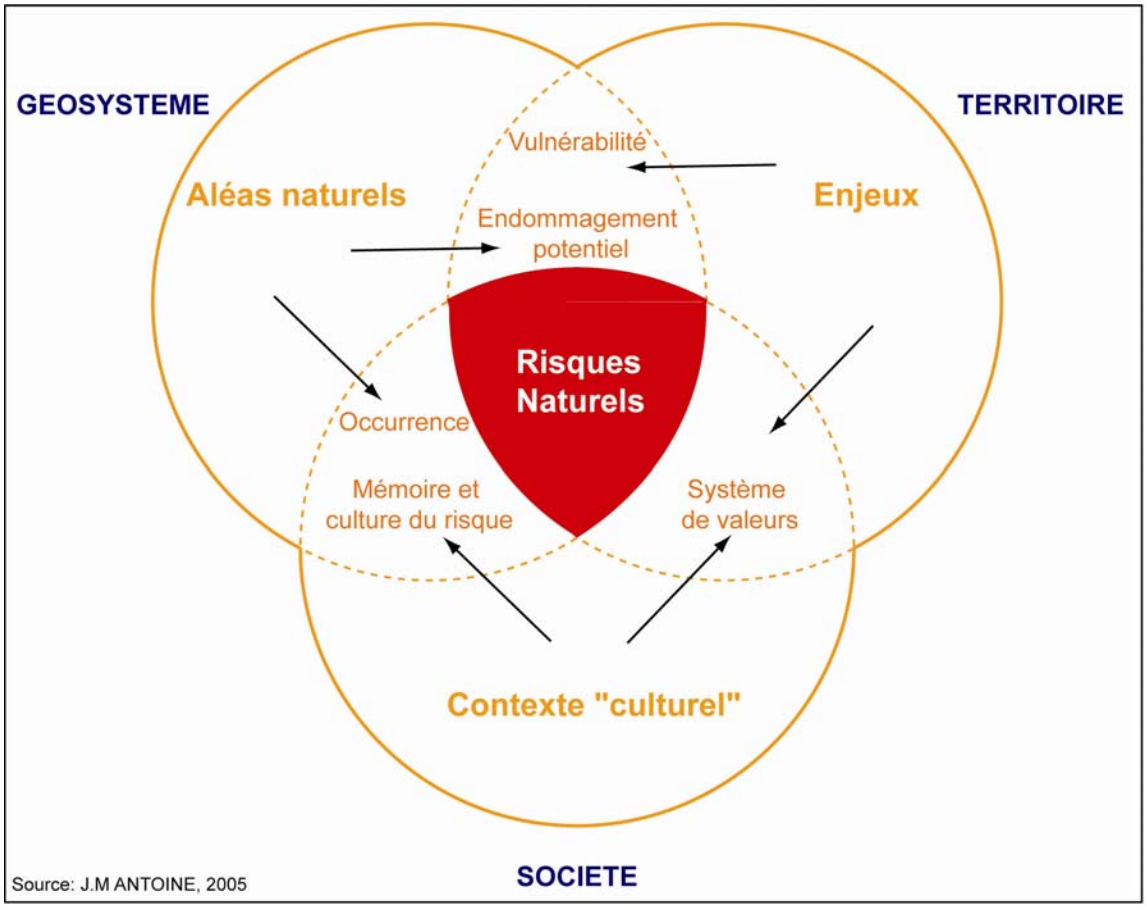


Figure 2 : Schéma conceptuel de la notion de risques naturels.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

- Comme mentionné au préalable et quelque soit sa nature, l'analyse du risque ne peut faire totalement abstraction de **son aspect sociologique**. La représentation sociale d'un risque naturel dans une société donnée, détermine le degré d'acceptabilité des populations vis-à-vis de la menace potentielle mais aussi sa capacité à s'en prévenir. En ce sens, la perception du péril potentiel définie également une échelle de tolérance et donc, pour partie, la vulnérabilité des populations exposées. Pour ces raisons, certaines définitions du risque mettent prioritairement en avant cet aspect (Manche, 1997; Schoeneich et Busset-Henchoz, 1998; Duchêne et *al.*, 2003; Heiderich, 2005) : *"le risque, objet social, se définit comme la perception du danger, de la catastrophe possible. Le risque n'existe que par rapport à un individu, à un groupe social ou professionnel, une communauté, une société qui l'appréhendent (par des représentations mentales) et le traitent (par des pratiques spécifiques)"* (Y. Veyret, 2003). Plus récemment encore, une thèse a également proposé l'intégration de la perception dans une approche globale des risques naturels, pour une géographie "dynamique"des risques (Garlatti, 2007). Ce qui rejoint certaines réflexions préconisant, autant que faire se peut, une analyse systémique des risques afin d'éviter une trop grande segmentation disciplinaire (Pigeon, 2005). Si cette prise en compte de la perception dans l'analyse du risque est reconnue comme un élément d'importance, elle demeure certainement la plus complexe à évaluer en raison d'évolutions sociétales parfois brutales *(ex : exode rural, reconversion économique de territoires, etc.)* et de la relative subjectivité des représentations collectives.

Dans les pays occidentaux, les questions environnementales sont devenues omniprésentes pour les politiques publiques. La diffusion progressive des principes du développement "durable", officiellement établis par le rapport Bruntland de 1987, et le réchauffement climatique global, désormais incontournable, ont porté l'Environnement au rang de préoccupation majeure dans l'opinion publique et auprès des dirigeants *(ex : Grenelle de l'Environnement - 2007)*. **Or, la problématique des risques naturels est emblématique des relations "Nature-Société".** En effet, le risque se situe à l'interface, complexe et mouvante, des sociétés humaines et des milieux naturels dans lesquels elles s'inscrivent. D'autre part, et en s'adjoignant aux éléments évoqués précédemment, les risques naturels comportent souvent une importante dimension spatio-temporelle. **L'étude de l'interface "Nature-Société" et l'approche multiscalaire qu'elle suppose, font de l'analyse des risques une problématique éminemment géographique** (Bravard et Piegay, 2000).

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

A l'échelle mondiale, les inondations représentent plus de 50% des aléas naturels et provoquent en moyenne 20 000 morts/an *(source : www.ifen.fr)*. S'il n'est généralement pas le plus spectaculaire du point de vue de l'aléa en comparaison des tempêtes, des incendies ou des séismes, **le risque d'inondation est en France, comme au niveau planétaire, le plus récurrent et le plus coûteux**. Pour preuve, plus de 80% des dossiers établis depuis 1982 à la suite d'un arrêté de catastrophe naturelle correspondent à des inondations (*Y. Veyret, Nancy Meschinet de Richemond,* in Veyret, 2003). Certains évènements récents *(crues de plaine ou torrentielles)* ont profondément marqué les esprits :

1987 : Grand Bornand *(Haute-Savoie)*, 23 morts.

1988 : Nîmes *(Gard)*, 500 M d'€, 10 morts.

1992 : Vaucluse *(Vaison-la-romaine)*, Ardèche et Drôme → plus de 500 M d'€, 47 morts.

1999 : Crue dans l'Aude, le Tarn, les Pyrénées orientales et l'Aveyron → 533 M d'€, 36 morts.

2002 : Gard et départements limitrophes → 1200 M d'€, 23 morts.

Source : Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer *(MEEDDM)*, 2009.

A l'évidence, le poids de l'aléa et du risque d'inondation dans les recensements historiques est en lien direct avec la densité du réseau hydrographique. Toutefois, les risques d'inondation et torrentiels renferment une ambivalence spécifique. En effet, et **parce qu'elle lui est indispensable, la proximité de l'Homme avec les cours d'eau est une constante ancestrale.** Outre les évolutions récentes dans l'aménagement des territoires, cette proximité spatiale initiale est indéniablement à l'origine de l'importance passée et actuelle du risque d'inondation ou torrentiel.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Spécificités du risque torrentiel et précisions terminologiques.

Probablement plus encore que les autres milieux naturels, la montagne attire autant qu'elle inquiète (Lahousse et al., 2003). En effet, le domaine montagnard français est affecté par la plupart des aléas naturels connus sur le territoire métropolitain : avalanches, crues torrentielles, mouvements de terrains, séismes, incendies, etc. Milieu azonal par définition, l'énergie du relief, et donc les pentes, tendent à exacerber l'intensité des phénomènes naturels. Implanté depuis des siècles dans les vallées alpines, l'Homme est parfois devenu un agent influençant sensiblement certaines dynamiques naturelles *(défrichements, barrages, pratiques agro-pastorales, activités artisanales et minières, etc.)*.

Par leurs spécificités hydro-géomorphologiques et leurs interconnections, les rivières torrentielles et les torrents sont probablement les organismes les plus sensibles aux interventions anthropiques et plus largement aux évolutions environnementales. D'autre part, les espaces traversés *(fonds de vallée, bassins versants)* ou créés *(cônes de déjection)* par ses organismes torrentiels étaient et demeurent régulièrement convoités pour le développement des activités humaines. Rejoignant les réflexions précédentes, cette concurrence spatiale a souvent induit une grande proximité entre les torrents et la société **[Cf. Figure 3]**.

Toutefois, l'aléa torrentiel était, avec les avalanches, l'un des plus redouté par les populations montagnardes. La forte occurrence et l'intensité des débordements rendent perceptible l'aléa torrentiel à l'échelle d'une génération humaine, ce qui a longtemps permis le maintien d'une mémoire et d'une culture du risque torrentiel. Le plus souvent, les noyaux villageois historiques étaient prudemment implantés à distance des aléas naturels les plus fréquents et les plus intenses[2].



Figure 3 : Lave torrentielle catastrophique 2005, Glyssibach Brienz; Canton de Bern.source:Agence photographique Hug, Barberêche

[2] "En montagne, les aléas sont anciennement perçus (Veyret,2001), la population montagnarde choisissait soigneusement l'emplacement des villages ou des granges, loin des couloirs avalancheux actifs, des chenaux et des cônes torrentiels et des secteurs instables *(éboulements, écroulements, glissements)*" *(Y. Veyret, Nancy Meschinet de Richemond-2003).*

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

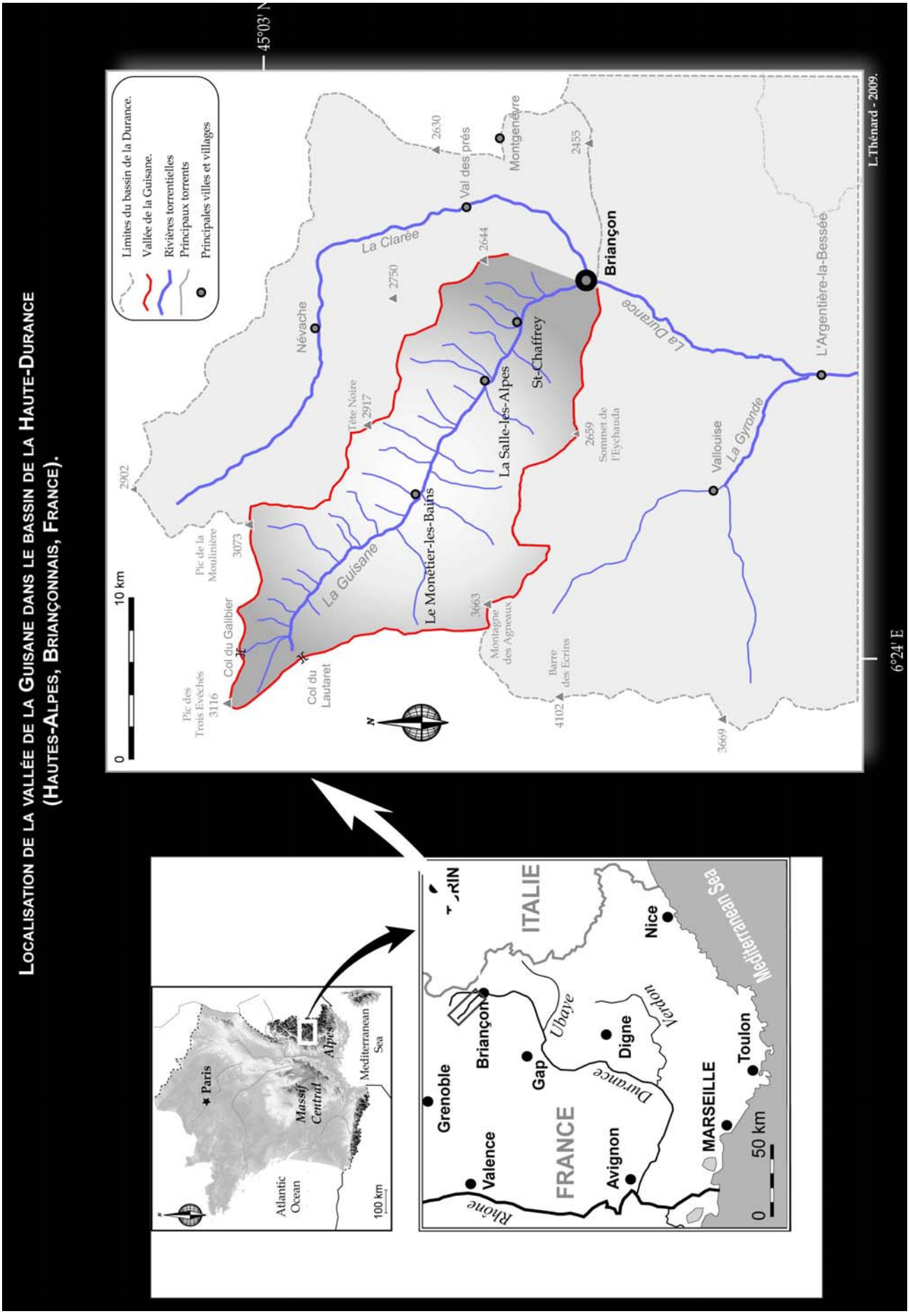


Figure 4 : Localisation de la vallée de la Guisane.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Or, et nous le verrons dans cette étude, la brutale reconversion socio-économique de certaines vallées intra-alpines à partir du milieu du 20ième siècle a souvent bouleversé des siècles d'activités traditionnelles et profondément modifié la perception du milieu naturel et de ses composantes. La concentration des activités en fond de vallée, des enjeux socio-économiques devenus considérables et les importantes évolutions démographiques se sont traduits dans bien des cas par un substantiel accroissement de la vulnérabilité vis-à-vis de l'aléa torrentiel *(torrents et rivières torrentielles)*.

Malgré d'étroites interconnections avec les rivières de fond de vallée, notre étude en Guisane (Hautes-Alpes / Bassin de la Haute-Durance) est exclusivement centrée sur les torrents et les risques associés [Cf. Figure 4]. De dimensions souvent modestes, les torrents sont toutefois omniprésents dans les paysages montagnards. En outre, **ils constituent surtout un agent essentiel dans le façonnement des versants**, car la sévérité des pentes leur confère généralement une forte capacité érosive et en fait des vecteurs particulièrement efficaces du transit sédimentaire.

Outre cet aspect à la fois spatial et dynamique, il faut y adjoindre l'échelle temporelle, car les torrents actuels *(des vallées internes)* sont en activité depuis la fin de la dernière grande glaciation quaternaire *(Würm)*. Leur physionomie et leurs dynamiques actuelles sont conditionnées, à des degrés divers, par ces héritages géomorphologiques. Ce qui évidemment constitue un facteur supplémentaire de complexité. Les torrents forment donc des systèmes complexes car ils interagissent et s'inscrivent généralement dans plusieurs étages morphoclimatiques. Par ailleurs, ces systèmes torrentiels latéraux forment l'échelon initial d'un système fluvial plus vaste et plus complexe encore. Cet emboîtement implique là encore toute une série d'interactions et d'ajustements morphodynamiques interconnectés. Par exemple, si les torrents sont les principales sources sédimentaires de la rivière de fond de vallée, et cette dernière représente le niveau de base des torrents. Enfin les torrents forment des systèmes ouverts[3] réagissant aux évolutions des paramètres environnementaux exogènes *(contexte bioclimatique, interventions anthropiques, etc.)* **[Cf. figure 5]**. L'ampleur et la rapidité des évolutions morphodynamiques sont directement corrélées à l'importance des changements environnementaux auxquels ils sont soumis.

[3] **Bravard JP, Petit F-2000**- *Les cours d'eau. Dynamique du système fluvial*, Armand Colin, Paris, 2ième édition, 222 p. « […] la géométrie en long (la pente) et en travers du chenal (la largeur et la profondeur) ainsi que le style fluvial peuvent se transformer à partir d'un état initial, si les flux en transit connaissent des modifications modérés mais durables ou s'ils subissent des épisodes de crise exceptionnels. Il s'agit donc d'un système à processus-réponses. » = notion d'auto-ajustabilité des bandes actives (rivières et torrents).

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Étudiés de longue date *(19ième siècle)*, les torrents revêtent différentes définitions en fonction de l'époque ou du champ disciplinaire **[Cf. Tableau I].** Évidemment, des plus généralistes aux plus détaillées, ces définitions répondent de finalités différentes selon les auteurs ou les spécialités.

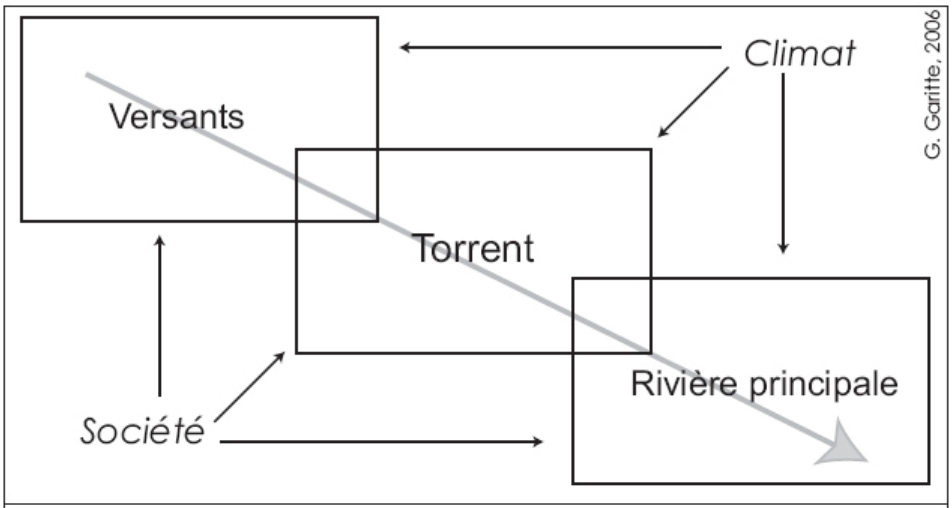
Surell, 1841	*"Les torrents coulent dans des vallées très courtes, qui morcellent les montagnes en contre-forts ; quelquefois même, dans de simples dépressions. Leurs crues sont courtes, et presque toujours subites. Leur pente excède 6 centimètres par mètre, sur la plus grande longueur de leur cours : elle varie très vite, et ne s'abaisse pas au-dessous de 2 centimètres par mètre. Ils affouillent dans la montagne ; ils déposent dans la vallée ; et ils divaguent ensuite, par suite de ces dépôts"*
Derruau, 1970	*"Les torrents sont des cours d'eau à régime spasmodiques, à forte pente et qui travaillent dans des matériaux faciles à affouiller"*
Peiry, 1990	*"Le système torrentiel est constitué de l'ensemble des surfaces concentrant progressivement les flux d'eau et de débris en direction d'un talweg qui assure leur écoulement vers l'aval et leur épandage sur un cône de déjections. Le bassin versant torrentiel se caractérise par la vigueur des pentes sur les versants, la raideur du profil en long et la présence de trois zones bien individualisées : le bassin de réception, le chenal d'écoulement et le cône de déjections."*
Garitte, 2006	*"un torrent est un cours d'eau de montagne caractérisé par de fortes pentes et un écoulement parfois épisodique. Le torrent se divise en 3 secteurs aux comportements morphodynamiques distincts: une zone dominée par l'érosion (le bassin de réception), une zone dominée par le transit sédimentaire (le chenal d'écoulement) et une zone de ralentissement dynamique propice à l'accumulation (le cône de déjection). La taille réduite des torrents à l'échelle des systèmes fluviaux, attribue au bassin de réception torrentiel une influence déterminante sur la morphologie des lits et des cônes de déjection et confère aux torrents une grande sensibilité aux modifications spontanées ou anthropiques de leur environnement."*

TABLEAU I : LES DEFINITIONS DES TORRENTS DU 19IEME SIECLE A AUJOURD'HUI.

Néanmoins, et en anticipant quelque peu sur les résultats de notre analyse en Guisane, nous avons tenté de synthétiser et de compléter ces différentes définitions. L'objectif est ici d'apporter une définition suffisamment générale afin de trouver une correspondance avec la majorité des torrents, tout en exprimant la relative complexité de ces organismes torrentiels.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Nous définissons donc les torrents comme des cours d'eau de montagne à forte pente, s'inscrivant à l'amont d'un système fluvial dont ils assurent l'essentiel de la recharge sédimentaire. Leurs caractéristiques morphométriques *(taille, forme, pente)* sont directement conditionnées par le cadre morphostructural. Hors contrainte anthropique ou structurale, l'énergie du relief leur confère généralement une forte capacité d'érosion et de transport. Les torrents forment également des systèmes ouverts, particulièrement réactifs aux évolutions des paramètres environnementaux *(naturels ou anthropiques)*. Leur "potentialité"[4] dépend essentiellement du volume, de la nature et de la disponibilité des sources sédimentaires, actuelles et/ou héritées. Un torrent se compose de 2 éléments principaux i) un bassin de réception *(zone d'érosion et de prise en charge)* ii) un vallum torrentiel formé et traversé par le chenal d'écoulement *(zone de transit)*. Lorsque les conditions structurales locales l'autorisent *(largeur du fond de vallée)*, un torrent peut également édifier un cône de déjection *(zone d'atterrissement sédimentaire)*.



L'environnement des organismes torrentiels

On peut définir le torrent comme un sous-système du système fluvial, c'est donc un système dynamique dans lequel la charge sédimentaire transit d'amont vers l'aval. Les éléments qui forment l'environnement direct du torrent sont :

- les **versants**, qui sont caractérisés par leur énergie, leur lithologie, leur couverture végétale. Les versants constituent la source sédimentaire et l'*impluvium* qui concentre les écoulements vers le chenal torrentiel.
- la **rivière principale**, qui détermine le niveau de base local.

Ces éléments sont largement influencés d'une part, par **le climat** qui va déterminer à la fois l'érosion sur les versants, la végétalisation, le rythme et l'intensité des écoulements dans les torrents ainsi que la dynamique de la rivière principale ; d'autre part, par **la société** qui selon ses choix politiques et son mode d'utilisation du sol, peut modifier l'érosion sur les versants, modifier la dynamique torrentielle par la construction d'ouvrages de correction et influencer le comportement de la rivière principale par la mise en place de digues et l'extraction de granulats.

Les torrents voient donc leur dynamique déterminée par l'influence conjuguée des différents éléments composants leur environnement.

Figure 5 : L'environnement des organismes torrentiels (Garitte, 2006).

[4] Cette notion de "potentialité" est définie dans le paragraphe 2.5.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Enfin, il nous paraissait nécessaire de préciser quelques points de terminologie pour plus de clarté et de cohérence dans l'analyse. En effet, les torrents peuvent présenter des physionomies assez différentes en fond de vallée *(cône de déjection)*, traduisant des évolutions morphodynamiques ou des dynamiques distinctes :

- A moyenne altitude, les torrents se présentent souvent sur leur cône de déjection sous une forme chenalisée *(incision"naturelle" dans ses propres dépôts)* ou de manière canalisée *(endiguements anthropiques)*. Dans ce cas, nous emploierons le terme de **chenal torrentiel**.
- Toujours sur les cônes de déjection *(non urbanisés)*, le chenal torrentiel évoqué ci-dessus peut être ceinturé par une zone, plus ou moins végétalisée *(herbacées ou populations arbustives)*, portant la marque de débordements occasionnels. **Cette zone d'emprise** torrentielle peut parfois prendre l'aspect d'une basse terrasse.
- Enfin, les torrents forment également de véritables **bandes actives torrentielles**. Elles se définissent comme une bande plus ou moins large, généralement multichenalisée et non végétalisée. Son instabilité est maintenue par des divagations torrentielles régulières et un transit sédimentaire conséquent.

Dans cette étude, le terme **"lit torrentiel"** sera éventuellement employé de manière générique pour désigner le chenal, la zone d'emprise ou la bande active.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Le choix de la vallée de la Guisane et l'approche méthodologique.

Outre la richesse et la splendeur des paysages de cette vallée, dont il est difficile de se lasser, nos recherches sur le risque torrentiel se sont finalement concentrées sur la Guisane car il s'agit simplement d'une des vallées du département des Hautes-Alpes la plus concernée et la plus soumise au risque torrentiel. En effet, Saint-Chaffrey figure en tête de liste des communes les plus affectées par l'aléa torrentiel (Fanthou et al., 1991 ;Fanthou, 1994 ; Lahousse, 1997 : Baraille, 2001 ; Blanchard et *al.*, 2006.). Situés sur le versant d'adret de cette commune guisanaise, l'enquête historique [Cf. 3.2] fait état, pour les seuls torrents de Sainte-Elisabeth et du Verdarel, de 42 crues torrentielles depuis la fin du 14^{ième} siècle, soit plus de 35% de l'ensemble des crues recensées dans cette vallée !

De même, et depuis toujours, les torrents de la Guisane présentent une propension particulière au développement d'un aléa torrentiel intense et de forte occurrence. Cette prédisposition à l'instabilité des versants a essentiellement pour origine les spécificités des contextes géologiques et géomorphologiques de ce secteur [Cf. 1.2 et 1.3]. D'autre part, l'exploitation des versants de la Guisane est attestée depuis au moins l'époque romaine et l'impact anthropique dans les bassins versants et sur les dynamiques torrentielles du versant d'adret est perceptible depuis des siècles. Par exemple, l'affleurement des séries du Carbonifère a naturellement favorisé le développement de l'activité minière depuis le haut Moyen-Âge jusqu'au début du 20^{ième} siècle (Feys, 1963). Or, les méthodes d'extractions sont généralement restées très rudimentaires, consistant le plus souvent à des défrichements massifs pour exploiter les filons de surface **[Cf. Encadré i]**. Les stigmates des "grattages" paysans sont encore visibles dans de nombreux bassins torrentiels du versant méridional. Par suite, et face à l'exacerbation des processus érosifs, l'entreprise de restauration des terrains de montagne s'est engagée rapidement et prioritairement sur les torrents les plus actifs de la vallée, notamment les plus proches des noyaux villageois. Pas encore conceptualisée ou au moins perçue comme aujourd'hui, la gestion du risque torrentiel consistait alors à intervenir massivement et activement dans les bassins et les lits torrentiels *(correction active : boisements de protection et ouvrages de rétention ou de stabilisation)*. Cette action a d'ailleurs été relativement efficace pour certains torrents fortement corrigés, mais évidemment l'aléa torrentiel était loin d'être annihilé.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

A partir des années 1950, les communes de la vallée de la Guisane vont s'engager brutalement dans la reconversion économique rendue possible par l'avènement du tourisme hivernal. Ainsi et très rapidement, la vallée de la Guisane deviendra le siège du développement d'une des plus importantes stations touristiques des Alpes du Sud : Serre-Chevalier. Implanté dans la vallée de la Guisane sur les communes du Monêtier-les-Bains, La Salle-les-Alpes, et Saint-Chaffrey, le complexe touristique de Serre-Chevalier et ses infrastructures se sont développés par extension à partir des noyaux villageois historiques, et donc le plus souvent sur les cônes torrentiels ou les basses terrasses de la Guisane. Pour répondre au besoin criant d'infrastructures dédiées à l'hébergement et au fonctionnement, de nombreux espaces de fond de vallée ont été massivement urbanisés, alors que jusqu'à présent, ils étaient prudemment réservés aux activités agricoles. Logiquement les cônes torrentiels ont été les espaces les plus rapidement convoités et urbanisés. Le développement frénétique et peu contrôlée de la station de Serre-Chevalier a progressivement posé le cadre du risque torrentiel. **Cette reconversion économique a donc permis que la station de Serre-Chevalier devienne l'un des fleurons de l'industrie touristique des Alpes du Sud, mais aussi et bien malgré elle, le symbole de la menace torrentielle dans le Briançonnais (Lahousse *et al.*, 2003). Ce que les évènements récents ont d'ailleurs rapidement matérialisé, faisant du risque torrentiel à Serre-Chevalier non plus uniquement une menace éventuelle mais bien un fait avéré.** *(09/07/1981 et 24/07/1995)* [Cf. 4.2 et 4.3.3].

En dehors de ces quelques éléments qui justifient déjà amplement l'intérêt d'une étude sur ce thème, le choix de la vallée de la Guisane a également et paradoxalement été renforcé par l'existence de très nombreuses études scientifiques ou techniques. Ces dernières seront d'ailleurs en partie évoquées dans le paragraphe suivant. A l'exception des plus récentes, la plupart d'entre-elles ne traitent pas directement du risque torrentiel. Elles relèvent généralement d'une étude spatialement resserrée, et thématiquement assez ciblée *(éboulisation des versants périglaciaires, cartographie géomorphologique, hydrogéologie, etc.)*. Or, ces analyses constituent un considérable référentiel de données sur le milieu naturel, indispensable pour réaliser une étude sur l'aléa et le risque torrentiel à l'échelle de la vallée. Dans le même esprit, quelques articles ont engagé une réflexion sur le risque torrentiel à Serre-Chevalier en s'appuyant sur l'exemple du torrent du Verdarel (Flez et Lahousse, 2000, 2002 et 2004a). D'autres publications se sont attachées à analyser la crue dommageable du torrent du Bez du 24 juillet 1995 (Lahousse et Salvador, 1998 et 1999). Quoi qu'il en soit, ces études sont généralement restées très ciblées (Lahousse et Salvador, 2002) ou n'ont traité que d'un évènement particulier.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Par nature, l'expertise du risque torrentiel à l'échelle d'une vallée comme la Guisane suppose dans un premier temps une approche globale, transversale et multiscalaire. En ce sens l'analyse spatiale qu'implique une étude géographique apporte une contribution, certes insuffisante à elle seule, mais pour autant indispensable. Même si les termes sont toujours discutables, cela rejoint également la notion développée récemment d'une géographie "dynamique" du risque (Garlatti, 2007). Démarche plus que concept, pour laquelle l'étude du risque torrentiel doit certes intégrer une forte composante spatiale, grâce notamment aux apports des SIG, mais également une démarche pluridisciplinaire intégrant l'aléa, la vulnérabilité et la perception du risque. Sur le fond, il ne s'agit pas d'un principe réellement novateur puisque la grande majorité des travaux géographiques récents portant sur les risques "naturels" s'accordent sur la nécessaire transversalité de la recherche sur ce thème. Les réflexions actuelles portent plutôt sur la mise en application concrète de cette démarche tant d'un point de vue méthodologique qu'opérationnel, plébiscitant autant que faire se peut **une analyse systémique** (Pigeon, 2005). Notons que cette approche rejette *de facto* le schisme disciplinaire larvé d'une géographie encore trop souvent scindée entre ses composantes humaines et physiques. Par cette conception transversale et intégrée, la "géographie des risques" appelle à une recherche géographique appliquée et impliquée dans les projets ou attentes des décisionnaires en charge de la gestion des territoires. Il s'agit en tout cas la vocation initiale de notre analyse.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Les recherches antérieures.

Malgré son relatif enclavement, le briançonnais et plus encore la vallée de la Guisane sont loin d'être restés des terrains vierges de toute recherche scientifique. Ce secteur a suscité l'intérêt des chercheurs, puisque dès la première moitié du 19ième siècle. Les premières recherches ont porté sur la découverte du milieu naturel sud et intra alpin. L'approche des géologues, des botanistes et autres ingénieurs forestiers était essentiellement naturaliste. Pour autant, les études pionnières de A. Surell *(1870)*, Ch. De Ribbe *(1857)*, E. Cezanne *(1872)*, ou encore P. Demontzey *(1894)* demeurent les ouvrages fondateurs pour l'étude des organismes torrentiels des Alpes du Sud.

Aussi, cet intérêt des scientifiques pour ce secteur s'est également exprimé par des études réalisées en sciences humaines, et notamment historiques. Ce qui peut paraître paradoxal en comparaison des faibles densités de population du département. Le caractère frontalier et la voie de passage naturelle que constitue le département des Hautes-Alpes et plus spécialement la Haute-Durance, en font un secteur d'intérêt historique depuis au moins l'époque romaine.

D'autre part, l'ouverture du col du Lautaret vers la Romanche et le massif de l'Oisans fait également de la vallée de la Guisane un axe septentrional essentiel pour le Briançonnais, désormais matérialisé par la route départementale 1091*(ex RN 91 depuis 2006)*. Outre l'intérêt que peut susciter la richesse de son patrimoine historique et naturel, cette position stratégique au cœur du massif alpin et sa relative accessibilité sont sans doute des facteurs ayant incité précocement les études scientifiques en Guisane et plus largement dans le briançonnais. La bibliographie pour le moins pléthorique qui en découle est à la mesure de cette curiosité scientifique. Il ne s'agit donc pas ici de réaliser un inventaire exhaustif de l'ensemble des publications scientifiques réalisées dans le briançonnais car si les études les plus anciennes demeurent des témoignages précieux, elles sont aussi le plus souvent désuètes.

En relayant l'historique des thèses de J. Debelmas (1955), de R. Feys (1963) et plus récemment, dans celle de P. Lahousse (1994), nous nous attacherons plutôt à retracer les grandes lignes des analyses scientifiques marquant des avancées sensibles, en lien avec la thématique torrentielle. Nous insisterons notamment sur les études récentes ayant servi de socle à notre analyse du risque torrentiel à Serre-Chevalier.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Plus de 150 ans d'expertises géologiques.

L'intérêt pour le "patchwork" géologique que représente le briançonnais, ne s'est jamais réellement tari en terme de publications, et s'est même encore confirmé récemment par la réalisation des cartes géologiques au 1/50 000ième de Briançon (1996) et par de celle de Névache (2005) ; toutes deux éditées par le BRGM et résultat du minutieux travail de recueil, d'analyses et de cartographie conduit depuis plusieurs décennies par D. Mercier, J.C Barfety et leurs nombreux collaborateurs.

Les premières investigations de géologues en briançonnais ont été réalisées dès 1828 dans la vallée de la Guisane avec les travaux de E. de Beaumont traitant d'*"un gisement de végétaux fossiles et de graphite situé au col du Chardonnet [5]"*. Les premières études et les contestations qu'elles génèrent seront rapidement occultées par le remarquable triptyque de la *"description géologique du Dauphiné"* par Ch. Lory (1860-64). Ce travail démontre et institue le rôle fondamental de la tectonique dans le briançonnais.

Après un fastidieux décryptage et à partir de 1950, les études des géologues n'auront de cesse d'approfondir ces travaux pionniers et d'enrichir la connaissance sur la géologie du briançonnais. Parmi d'autres, nous pouvons citer les travaux de J. Debelmas (1955) et de M. Lemoine (1953 ; 1964) complétant les connaissances sur la tectonique des unités briançonnaises et subbriançonnaises. Parallèlement et pilotée par le BRGM, l'étude poussée du bassin houiller briançonnais a été engagée en Guisane, où les terrains carbonifères sont particulièrement présents (R. Feys; 1963 et de D. Mercier, 1977; 1984). Enfin mentionnons J-C Barfety, qui depuis les années 1960 s'efforce d'étudier et de cartographier précisément les terrains mésozoïques en briançonnais. Comme évoqué précédemment, il a également participé ou selon les cas, dirigé l'établissement des cartes géologiques au 1/50 000ième de Saint-Christophe-en-Oisans, de La Grave, de Briançon (1995) et très récemment celle de Névache (2005). Cette dernière complète et clos provisoirement la cartographie géologique au 1/50 000 du briançonnais septentrional, après près d'un siècle et demi de recherches.

[5] Le col du Chardonnet (2638m) se situe sur le versant adret/endroit de la Guisane *(en rive gauche donc)*, tout à l'amont de l'impluvium du torrent du Rif. Les "formations du Chardonnet"*(J.C Barféty et al, 1996)* essentiellement composées de conglomérats du houiller, affleurent de part et d'autre du col. D'ailleurs, la présence de deux anciennes mines d'anthracites à proximité du col du Chardonnet en témoignent.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

En ce sens, les géologues ont la plus volumineuse contribution scientifique dans la connaissance du milieu naturel de ce secteur et pour ce qui nous concerne, de la Guisane.

Les travaux universitaires.

> *- « Les plus grands géographes, presque tous géologues par leur première éducation, ont été nécessairement conduits dans la voie des explications climatiques, dès que leur expérience s'est étendue ».*
>
> **Emmanuel de Martonne – 1913.** ***Le climat facteur du relief.*** **Science, p 339-355.**

Il est probable que le long décryptage de la géologie du briançonnais, assez confuse et discutée jusqu'au premier quart du 20ième siècle, explique vraisemblablement la quasi absence d'études géographiques[6], notamment géomorphologiques durant le 19ième et dans la première moitié du 20ième siècle.

Il faut presque attendre le milieu du 20ième siècle, pour qu'enfin un géographe publie une première analyse, intitulée "*Structure, hydrographie et relief du N.O du briançonnais*" (Ch. P. Péguy, 1938). Du même auteur, on retiendra surtout la publication en 1947 d'une "*Esquisse physique de la zone intra-alpine des Alpes françaises du sud"* qui fera longtemps référence. Dans la foulée, ce sont E. de Vaumas et R. Blanchard, respectivement en 1948 et 1950 qui se chargeront d'étoffer et de compléter les connaissances scientifiques sur la géomorphologie des Alpes du Sud. Mais une fois encore, la structure géologique demeure le socle principal de l'explication des formes de relief.

[6] La recherche géographique *(universitaire)* de l'époque était très largement représentée par la Géomorphologie structurale et le plus souvent dominée par des études régionales.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Dans ces études pionnières, et malgré certains écrits précurseurs, les évolutions morphologiques restent très largement reliées aux configurations structurales, et ne sont pas véritablement agrégées aux conditions bioclimatiques ni aux dynamiques associées. Ces premières études insistent sur la compréhension d'un milieu naturel mais pas encore sur un environnement. En effet, l'homme n'y est pas encore perçu comme un agent participant à part entière à l'évolution des formes de reliefs ou des modelés. Alors que des géomorphologues comme A. Cholley et plus encore J. Tricart développent et formalisent la géomorphologie climatique dès le début des années 1950 par toute une série d'articles scientifiques et d'ouvrages de références, le briançonnais, et de fait, la vallée de la Guisane resteront vierges d'études géomorphologiques.

Il faut attendre les années 1970, pour que B. Francou réalise une première étude sur la morphologie des versants de la haute vallée de la Guisane. Durant les deux décennies suivantes, ce chercheur s'engagera passionnément et méthodiquement dans la compréhension de l'éboulisation passée et surtout actuelle des versants de l'étage périglaciaire des massifs alpins et andins. En Guisane, ce travail a été essentiellement effectué dans la combe de Laurichard *(col du Lautaret)*. Outre les nombreux articles scientifiques, l'ensemble de ses travaux de recherches sera "couronné" par une thèse d'état en 1988 intitulée *"L'éboulisation en haute montagne. Andes et alpes"*. Saluée par son champ disciplinaire, elle reste une référence incontournable pour des recherches portant sur l'évolution des versants périglaciaires de haute montagne.

L'originalité des études de B. Francou et de ses collaborateurs[7] réside certes dans la thématique traitée, mais aussi et surtout dans la méthodologie mise en place. Cette dernière consiste à déterminer des versants expérimentaux pour y entreprendre de manière systématique une somme considérable de mesures. Si B. Francou a désormais orienté ses recherches dans le massif andin, ces publications récentes, spatialement très ciblées, témoignent encore de l'intérêt qu'il porte aux processus périglaciaires en haute Guisane et de sa parfaite connaissance du terrain (Francou et Reynaud, 1992 ; Jomelli et Francou, 2000). Par suite, d'autres études ont été réalisées en adret avec une méthodologie comparable au niveau de la Tête Noire du Galibier. L'intérêt de ces analyses tient également au fait que ce secteur présente des caractéristiques géomorphologiques et d'exposition très différentes de celles de la Combe de Laurichard (B. Kaiser et M. Lecompte, 1978 ; B. Kaiser, 1981 ; E. Chalaux, 1984).

[7] Au cours de mes recherches et de manière fortuite, j'ai pu rencontré F. Dellion qui lors de ces études supérieures a activement participé *(1985-86)* aux campagnes de mesures dirigées par B. Francou. Dans le cadre d'une maîtrise de Géographie *(Université Paris VII)*, il a réalisé un travail proposant une typologie des systèmes morphodynamiques corniches/éboulis sur la base des critères lithologiques (Dellion, 1986). Notre rencontre en 2006 était assez logique puisqu'il portait la lourde responsabilité des relations entre la mairie de Saint-Chaffrey et les services préfectoraux dans le cadre de l'élaboration du PPRN. Qu'il trouve ici ma gratitude pour son accueil et les quelques heures passées ensemble à observer et à échanger sur le terrain.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Signalons également une thèse portant sur l'hydrologie et l'hydrogéologie du bassin versant de la Guisane (Carenco, 1982). Par les mesures de débits spécifiques dans quelques bassins torrentiels latéraux de la haute et moyenne vallée de la Guisane, l'auteur précise certains régimes hydrologiques, ainsi que la hiérarchie et les principales conditions de drainage de la vallée. En revanche, la courte période d'observation *(1979-1981)* et le caractère ponctuel des mesures n'autorisent pas véritablement d'extrapolations statistiques valables.

Cet intérêt des géographes pour la vallée de la Guisane ne se démentira plus jusqu'aujourd'hui. Le relais scientifique sera assuré dès la fin des années 1980, par des études géomorphologiques menées par P. Lahousse sur le versant méridional du Granon (Lahousse, 1991), étendues ensuite à l'ensemble de la vallée. Ce travail, jusqu'alors inédit en basse vallée de la Guisane, a essentiellement consisté en l'analyse et la cartographie géomorphologique de ce versant, marqué par une instabilité chronique et particulièrement problématique pour les communes de la Salle-les-Alpes et de Saint-Chaffrey. Par suite, dans le cadre de sa thèse, ce chercheur étendra son analyse à l'ensemble de la vallée, établissant une cartographie géomorphologique et des aléas naturels à grande échelle *(1/10 000^{ième})*.

P. Lahousse a rapidement donné une dimension plus appliquée à ses recherches, au travers d'analyses portant sur les risques hydro-géomorphologiques. Outre l'étude des nombreux mouvements de terrain affectant les versants de la Guisane (Lahousse, 1996), son attention a rapidement porté sur les dynamiques torrentielles contemporaines et leur éventuelle dangerosité. Ainsi a-t-il mis en exergue que parmi les nombreux aléas naturels s'étant déjà manifestés en Guisane, les crues torrentielles prédominent très largement puisqu'elles représentent près de 85% des sinistres recensés. (Lahousse, 1994 ; 1997). Avec la régulière collaboration scientifique de P-G Salvador, ces dernières publications ont notamment porté sur le torrent du Verdarel (Lahousse et Salvador, 2001 ; 2002) et ces conséquences en terme de gestion du risque torrentiel en Guisane (Flez et Lahousse, 2002 ; 2004), ou encore sur l'évènement paroxystique du 24 juillet 1995 ayant affecté une bonne partie du briançonnais, dont Serre-Chevalier (Lahousse et Salvador, 1998a ; 1998b ; 1999). Notons également des travaux portant sur les fluctuations contemporaines du glacier du Casset (Lahousse et Guen, 1998), et une réflexion à propos de l'éventualité d'une vidange du lac proglaciaire du glacier d'Arsine (Garitte et Lahousse 2000)

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

En parallèle, il nous faut évoquer les travaux de V. Jomelli[8] réalisés dans le massif des Écrins. A l'instar des récentes études géomorphologiques évoquées précédemment, V. Jomelli privilégie une approche scientifique de terrain en associant la description, la quantification *(sites expérimentaux)* et l'analyse des processus morphodynamiques affectant les versants périglaciaires des massifs alpins et andins. Il s'est spécialisé dans l'analyse des réponses *(post-PAG)* des versants périglaciaires de haute montagne aux changements environnementaux contemporains. Il étudie en particulier les caractéristiques géomorphologiques *(facteurs déclenchants, processus, morphométrie, analyse des modelés associées, etc.)* des coulées de débris (Pech et Jomelli, 2001 ; Jomelli *et al*, 2004 ; Jomelli *et al*, 2007), et des avalanches (Jomelli, 1997 ; Jomelli, 1999) retouchant efficacement et perpétuellement les versants de haute altitude.

Enfin, nous nous sommes référés à une thèse récente (Cossart, 2005), traitant de l'évolution géomorphologique de la Haute-Durance depuis la dernière ère glaciaire *(Würm)*. E. Cossart tente notamment d'apporter des précisions sur la chronologie[9] et la dynamique des réajustements paraglaciaires dans cette région, et cela à deux grandes échelles temporelles : globalement celle de l'Holocène et celle de la période contemporaine du post-PAG. Parmi les axes principaux de ses recherches, son analyse avait également pour ambition de mieux appréhender "*l'efficacité des relais spatio-temporels de processus qui s'organisent depuis les marges désenglacées vers les hydrosystèmes aval*". Si cette étude n'est pas centrée sur la vallée de la Guisane, certaines zones situées sur la retombée orientale du massif des Écrins ont donné lieu à un certain nombre d'investigations, comme par exemple la marge périglaciaire du Dôme du Monêtier [*vallon du Grand Tabuc]* (Cossart, 2005 ; Cossart *et al*, 2006). Ainsi, en complément de l'analyse de documents d'archives, des datations lichénométriques (*étude des thalles de croissance du lichen du genre Rhizocarpon*) ont été réalisées sur ce site afin de préciser la chronologie de l'édification, et surtout de la fin du contact des modelés morainiques avec la calotte glaciaire du Monêtier, au droit du *"Pré du Grand Tabuc"*.

[8] Vincent Jomelli est chargé de recherche CNRS au laboratoire de géographie physique (LGP - UMR 8591) de Meudon, et mis à la disposition de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) / UR Great Ice, à la maison des sciences de l'eau, à Montpellier.

[9] Dans cette étude, en dehors des méthodes de datations classiquement employées, des datations lichénométriques et cosmonucléides ont été appliquées pour reconstituer la chronologie des fluctuations glaciaires dans le haut bassin durancien. Et ceci pour pallier à l'épineux problème de la quasi absence de fossiles végétaux dans ces espaces de hautes montagnes jadis englacés.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Etudes administratives et rapports techniques.

Parallèlement à ces recherches universitaires *–dont la présentation dans ce manuscrit est, faut-il le rappeler, loin d'être exhaustive–* un certain nombre d'études techniques le plus souvent très ponctuelles ont été réalisées et relèvent de l'ingénierie ou du génie civil.

Depuis le XIX^{ième} siècle, le service RTM est le plus souvent à l'initiative de ce type d'études, soit sous la forme de rapports préliminaires et/ou internes, soit en faisant appel à d'autres prestataires offrant des compétences ou des moyens techniques supplémentaires. Même si le service RTM n'était pas encore créé, l'étude la plus emblématique car fondatrice de ce service dans les Hautes-Alpes est sans conteste celle réalisée par A. Surell *(ingénieur des Ponts et Chaussées)* dès 1841. Son approche essentiellement naturaliste pose déjà le problème essentiel de la diversité des organismes torrentiels dans le département des Hautes-Alpes, de leur potentiel de destruction et de l'impact des déboisements et des techniques agro-pastorales dans l'érosion des versants.

Depuis le début des années 1980, un grand nombre de rapports techniques ont été réalisés à des fins administratives ou juridiques, dans le cadre de l'application et de l'évolution de la législation relative à l'aménagement du territoire et à la prise en compte des risques naturels *(POS, PZERN, PER, PPR, PLU, etc.)*. Des services tel que le RTM ou la DDE sont évidemment les plus sollicités par les collectivités, les entreprises ou les particuliers[10] pour effectuer ce type d'expertises.

L'urbanisation inhérente au développement de la station de Serre-Chevalier, notamment sur les cônes de déjection torrentiel, s'est naturellement traduite par la multiplication de dossiers techniques et de divers rapports au cours des trois dernières décennies.

Par cette rétrospective synthétique, il est indéniable que la vallée de la Guisane *(avec celle du Guil)* est probablement dans les Hautes-Alpes l'une des vallées les plus étudiées par les scientifiques de toutes disciplines.

[10] Par exemple, dans le cadre de demandes de permis de construire ou pour la mise en conformité et en sécurité de bâtiments et d'équipements divers.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Les études récentes sur les torrents de la Guisane.

Avant de réaliser le tour d'horizon des travaux de géographes sur les torrents de la Guisane, il est nécessaire de mentionner de prime abord des études récentes effectuées à l'échelle du département. Pour commencer, celle effectuée par T. Fanthou (Fanthou *et al*, 1991 ; Fanthou et Gambier, 1991 ; Fanthou, 1994), puis, plus récemment la thèse présentée par S. Baraille en 2001 à l'échelle de la haute Durance. Enfin, ces travaux universitaires ont été dernièrement complétés par un rapport réalisé pour le compte du Conseil Général de la région PACA (Blanchard *et al*, 2006). **Le principal point commun de ces différentes études est leur approche géo-historique,** nécessitant un fastidieux travail d'inventaire des aléas naturels dans le département des Hautes-Alpes. Les enquêtes historiques successives ont permis de réaliser un état des lieux indispensable dans un département régulièrement affecté par la plupart des aléas connus en France métropolitaine *(inondations, crues torrentielles, mouvements de terrain, feux de forêt, séismes, etc…)*.

Ainsi, le dernier rapport en date sur ce thème (Blanchard *et al*, 2006) rapporte que 4773 évènements *(en 2005)* ont été recensés dans les Hautes-Alpes depuis le XIII^{ème} siècle. Le "Grand Briançonnais" regroupe à lui seul près de la moitié *(47%)* des phénomènes comptabilisés dans le département, et parmi eux les aléas hydrométéorologiques *(majoritairement dominés par les crues torrentielles)* représentent plus de 70 % des évènements.

En Guisane, à la suite de l'établissement de l'atlas départemental des risques naturels et technologiques (Fanthou et Gambier, 1991), P. Lahousse a poursuivi et complété cette première enquête historique portant sur les risques morphodynamiques (Lahousse, 1994, 1997). Dans le cas spécifique de la vallée de la Guisane, il s'est attaché à développer une réflexion sur les apports mais aussi les insuffisances de cette seule approche rétrospective. **Néanmoins, ces enquêtes ont démontré le poids de l'aléa torrentiel dans le Briançonnais et placent même les communes de Serre-Chevalier en tête de liste des municipalités des Hautes-Alpes les plus affectées par les crues torrentielles depuis le 14ème siècle. E**n 2001, Pelvoux *(vallée de la Vallouise)* et Saint-Chaffrey *(vallée de la Guisane)* détenaient[11] ainsi le record du nombre d'évènements inventoriés dans le département (Baraille, 2001 ; Lahousse *et al*, 2003 ; Blanchard *et al*, 2006).

[11] Depuis 1394 jusqu'en 2001, le dépouillement des différentes sources archivistiques avait mis à jour 57 références à égalité des communes de Pelvoux et de Saint-Chaffrey.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Par suite, les crues dommageables du torrent du Peytavin *(commune de Saint-Chaffrey)* et surtout du torrent du Bez *(commune de la Salle-les-Alpes)* survenues de manière ubiquiste le 24 juillet 1995, ont amené P. Lahousse et P-G Salvador[12] à réaliser des publications de synthèses sur cet évènement (Lahousse et Salvador, 1998a ; 1998b ; 1999).

Ces auteurs s'efforceront également d'approfondir les connaissances sur le torrent du Verdarel (Lahousse et Salvador, 2002), non plus seulement par constatation *à posteriori*, mais aussi dans une démarche plus prospective. La démarche scientifique adoptée –associant la cartographie géomorphologique à grande échelle, un suivi topométrique du chenal principal[13] et de masses en glissement– avait comme objectif principal de déterminer les zones de contribution potentielle.

En partant de ces travaux récents, la réflexion s'est ensuite un peu plus élargie, appréhendant ainsi plus largement la diversité et la complexité que revêt le risque torrentiel dans le briançonnais (Lahousse *et al*, 2003). Si la nature des torrents *(et donc de l'aléa)* et les comportements morphodynamiques peuvent variés sensiblement d'une vallée à l'autre, il apparaît clairement que c'est surtout la nature des enjeux qui conditionne le type et le degré de risque. Ainsi, il est frappant de constater la disparité des configurations dans un espace pourtant aussi restreint que le briançonnais. Par exemple, aux larges et massives zones d'urbanisation de la vallée de la Guisane répondent les camps de camping et l'habitat traditionnel de la vallée limitrophe de la Clarée (Thénard, 2002 ; Lahousse *et al*, 2003 ; Thénard et Garitte, 2005.). Donc, si le risque est important et avéré dans la première, il demeure en grande partie ponctuel et potentiel pour la seconde, essentiellement en fonction du degré d'exposition et de la nature des enjeux.

Si le risque torrentiel est une réalité en Guisane, en raison d'évènements récents très dommageables, **il n'en demeure pas moins que l'essentiel des études sur ce thème traitent d'une approche spécifique ou d'un évènement paroxystique et restent concentrées sur 2 ou 3 torrents** *(Verdarel, Bez, Peytavin)*.

Or, établir où au moins contribuer au diagnostic du risque torrentiel à l'échelle de Serre-Chevalier nécessite une approche plus globale, rassemblant, intégrant, et complétant cette somme de connaissances. D'autre part, que se soit du point de vue de l'aléa torrentiel ou de la vulnérabilité, la situation actuelle résulte de toute une série d'évolutions spatio-temporelles[14], qu'il convient d'analyser pour mieux appréhender le risque actuel.

[12] Ces géographes étaient d'ailleurs présents dans la vallée de la Guisane lors de cet évènement.

[13] Le grand Verdarel.

[14] Sans même évoquer les aspects plus sociologiques, comme l'évolution de la perception du risque par exemple, qui sans enquête sociologique approfondie est assez impalpable.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

En s'appuyant sur tous ces travaux, notre étude s'inscrit à un stade intermédiaire entre les analyses régionales et celles réalisées à très grande échelle. Le premier objectif de nos recherches en Guisane était donc de réunir et de synthétiser un certain nombre de données sur les torrents de la Guisane ou leur environnement. Par suite, l'un des apports escomptés est de constituer et de structurer une vaste base de données géolocalisées *(sous SIG)*, rassemblant à la fois des informations sur les caractéristiques morphologiques des 36 torrents guisanais répertoriés, sur l'aléa torrentiel et sur la vulnérabilité. En complément des données de terrain ou d'investigations annexes *(photo-interprétation, cartographie thématique, etc)*, ce système d'informations à références spatiales *(SIRS)* constituera un support essentiel dans l'analyse de l'évolution contemporaine de l'activité torrentielle, et surtout, du risque torrentiel à Serre-Chevalier. Par ailleurs, l'étude de la gestion contemporaine et récente du risque torrentiel à Serre-Chevalier aura pour finalité de dresser un premier bilan rétrospectif et d'en extraire quelques enseignements. Sur ces bases, la mise perspective de quelques évènements récents et en regard des évolutions réglementaires actuelles, nous tenterons d'avancer quelques propositions pour une gestion plus "durable" du risque torrentiel dans cette vallée.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009



1. CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE ET CADRE MÉTHODOLOGIQUE.



11/09/2005 : Campagne de mesures topométriques [Lahousse et Thénard] dans le torrent du Verdarel *(comm. de Saint-Chaffrey)*. Clichés : P. Lahousse. Panorama réalisé sous Microsoft ICE©

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Ce premier temps de l'analyse répond à **trois objectifs principaux:**

Tout d'abord, la **description du cadre géographique** afin de mettre en exergue les spécificités environnementales actuelles de la vallée de la Guisane, plus ou moins directement reliées aux dynamiques torrentielles et aux risques associés. Cette première approche permet de replacer notre analyse dans un contexte plus régional. Il s'agit notamment d'insister sur les divers contrastes qui caractérisent la Guisane. Par exemple, les conditions topo-stationnelles de cette vallée induisent des contrastes d'exposition marqués entre les versants. Cette opposition s'exprime également dans les caractéristiques bioclimatiques de la vallée *(mélézins d'ubac/pinèdes d'adret)*.

Les contrastes paysagers tiennent pour beaucoup du contexte **morphostructural** de cette vallée car elle constitue une zone de contact géologique majeure. En haute vallée notamment, car schématiquement de l'amont vers l'aval les nappes sédimentaires de la zone interne laissent place aux séries cristallines de la retombée orientale du massif du Pelvoux *(Combeynot, Montagne des Agneaux, Dôme du Monêtier.)*. En moyenne et basse vallée *(à l'aval du Monêtier-les-Bains)*, ce sont cette fois, les séries du Carbonifère qui affleurent et constituent l'assise essentielle des versants guisanais *(zones briançonnaises)*. Dans cette section aval de la vallée, les terrains meubles ou friables du Houiller briançonnais, sur lesquels reposent d'épais dépôts morainiques quaternaires, ont façonné des versants massifs aux pentes relativement douces, comparativement aux cirques glaciaires et aux éperons rocheux de la haute vallée.

S'ajoutant aux processus érosifs liés à la sévérité des pentes et aux conditions climatiques de haute altitude, ce contexte géologique et géomorphologique constitue un facteur particulièrement favorable à la torrentialité *(hétérogénéité des sources sédimentaire et efficacité de la recharge)*. L'enquête historique et les analyses géomorphologiques menées jusqu'à présent révèlent un aléa torrentiel intense et récurrent dans cette vallée depuis le Tardiglaciaire jusqu'aujourd'hui.

Enfin, l'implantation et l'influence anthropique dans cette vallée est avérée depuis au moins l'époque romaine. Au fil des siècles, l'Homme est devenu un agent prépondérant dans cette vallée en intervenant de plus en plus directement et massivement sur son environnement, en particulier dans les bassins torrentiels. **Le développement de la station touristique de Serre-Chevalier durant la seconde moitié du 20ième siècle consacre aujourd'hui cette influence** *(capacité d'accueil en 2005 d'environ 50 000 lits)*, car en fond de vallée l'urbanisation s'est bien souvent substituée aux paysages agro-pastoraux qui dominaient depuis des siècles. L'objectif est ici de présenter globalement **l'emprise urbaine actuelle** en fond de vallée car la concentration des enjeux sur les cônes torrentiels constitue le facteur principal de la vulnérabilité et du risque en Guisane.

Cette première grande partie a également pour but d'intégrer et de positionner notre étude dans la lignée des recherches scientifiques déjà réalisées dans le briançonnais, et surtout en Guisane. Délimitant les alpes du Nord et du Sud *(col du Lautaret)*, cette vallée est effectivement une importante zone de contact et de transition tant d'un point de vue géologique que bioclimatique. L'attrait précoce des scientifiques pour cette vallée provient également de son accessibilité relativement aisée *(cols du Lautaret et du Galibier)*. Elle constitue d'ailleurs un axe ancestral de communication intra-alpine, aujourd'hui matérialisé en fond de vallée par la RD 1091 *(ex RN 91 depuis 2006)*.
Au final, il apparaît que depuis le milieu du 19ième siècle, la vallée de la Guisane a fait l'objet d'un grand nombre d'expertises scientifiques avec des approches thématiques et méthodologiques régulièrement renouvelées. Néanmoins, les études réalisées **sur les torrents de la Guisane** sont relativement récentes, et traitent généralement soit d'une approche méthodologique spécifique ou d'un évènement paroxystique dommageable. Le plus souvent, ces analyses sont donc restées concentrées sur quelques torrents.

Notre étude s'inscrit **dans le prolongement des travaux** déjà entrepris sur les torrents de la Guisane, mais il s'agit cette fois de se placer à **une échelle intermédiaire** entre les études régionales et celles ciblées sur un torrent ou un évènement spécifique.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Le dernier temps de cette partie est consacré à la **présentation du cadre méthodologique**. L'objectif est de présenter et de développer les méthodes et les outils de l'analyse, ainsi que les principaux les choix opérés. Précisons également que certains éléments seront approfondis et intégrés au développement, ou présentés sous forme d'encarts méthodologiques dans le texte.

Le premier volet du cadre méthodologique traite **des principales données employées** *(origine et nature)***, ainsi que les outils d'analyse et de traitement qui leur sont associés.** Nous insisterons notamment sur la grande diversité des données dédiées, entre autre, à l'analyse diachronique de l'aléa torrentiel et de la vulnérabilité à Serre-Chevalier. Aussi, l'approche géographique du risque torrentiel nous a naturellement conduit à adopter une démarche multiscalaire.

Création d'un Système d'Information sur le Risque Torrentiel à Serre-Chevalier *(SIRTOS)*.

Notre approche globale du risque torrentiel nous a naturellement amené à concevoir un Système d'Informations à Références Spatiales (SIRS) sous le logiciel MapInfo® 7.5 (SIG).
En amont de la gestion du risque stricto sensu, notre "système" se veut avant tout un outil d'analyse, de synthèse, de cartographie dynamique, et dans certains cas, de diagnostic du risque torrentiel à Serre-Chevalier. Il ne s'agit pas ici de concevoir un outil direct d'aide à la gestion de crise ou à la prise de décision. Pour autant, si il est correctement organisé et employé à bon escient, le caractère dynamique, et à ce titre, évolutif de ce système peut contribuer à une gestion plus durable du risque torrentiel. Et à commencer par une gestion spatiale du risque [Brugnot et Al, 2001] où chaque projet d'aménagement pourrait être intégré dans ce système et confronter aux connaissances rassemblées sur les aléas et sur la vulnérabilité dans le secteur. En effet, la base de données constituée dans le cadre de nos recherches rassemble, coordonne et rend compatible (au sens géographique) des données de prime abord très éclectiques. Provenant de traitements variés, ces données (qualitatives et quantitatives) sont pour la plupart issues de nos propres investigations en Guisane. Elles proviennent également de recherches antérieures et ponctuelles réalisées dans la vallée. Ce SIRS a été structuré selon deux échelles principales, à savoir celle de la vallée de la Guisane et celle des bassins torrentiels étudiés. Les différentes analyses peuvent alors porter sur un torrent particulier, sur le risque torrentiel concernant une commune spécifique ou encore sur l'ensemble du bassin versant de la Guisane. Étant entendu que ce SIRS n'a pas la prétention d'être définitivement exhaustif ou porteur d'une vérité absolue, et que, en dehors de la recherche scientifique, son utilité future est intimement conditionnée par une mise à jour régulière, ainsi que par un enrichissement de la base par des données venues d'autres disciplines (rhéologie, génie civil, sociologie, droit, etc.).

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

1.1. CONDITIONS TOPOSTATIONNELLES DE LA VALLEE ET CONTEXTE BIOCLIMATIQUE.

1.1.1. Contexte orohydrographique et caractéristiques topographiques.

Au cœur du massif alpin occidental, la dépression topographique de la Guisane tient une position d'abri, retranchée à l'ombre des vastes massifs de l'Oisans au *nord-est*, du Pelvoux à *l'ouest / sud-ouest*, des Cerces-Grand-Galibier et du Piémont Lombard à *l'est / sud-est* **[Cf. figure 6]**. Avec la toute proche Clarée, la Guisane est la vallée la plus septentrionale du bassin versant de la Durance. En s'étendant sur près de 210 km², son tracé fait montre d'un caractère rectiligne assez remarquable sur près de 27 km, dans un axe NO-SE. Conjuguée à la vigueur des pentes, cette disposition induit un contraste d'exposition sensible, définissant un versant méridional à tendance ubac et un versant septentrional à tendance adret. Cette opposition s'exprime d'ailleurs de manière tangible dans la nature et l'étagement de la végétation ainsi que dans la morphogenèse de ces versants. De même, l'étirement relativement moyen *(indice de Gravelius de 1,7)* de la vallée lui confère globalement une grande continuité.

Par ailleurs, les versants de la vallée sont fortement marqués par les écoulements torrentiels et cela de manière relativement régulière sur l'ensemble du linéaire Guisanais. Nous avons en effet recensé 36 torrents actifs en Guisane *(parfois subdivisés en plusieurs bassins)*, sans même évoquer les nombreux organismes élémentaires *(coulées de débris, etc.)* qui vermiculent très fréquemment les versants. Mais comme nous l'évoquerons ensuite, cette apparente constance oro-hydrographique masque en réalité un relief très contrasté, tant dans ses caractéristiques topographiques que dans sa distribution géographique.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

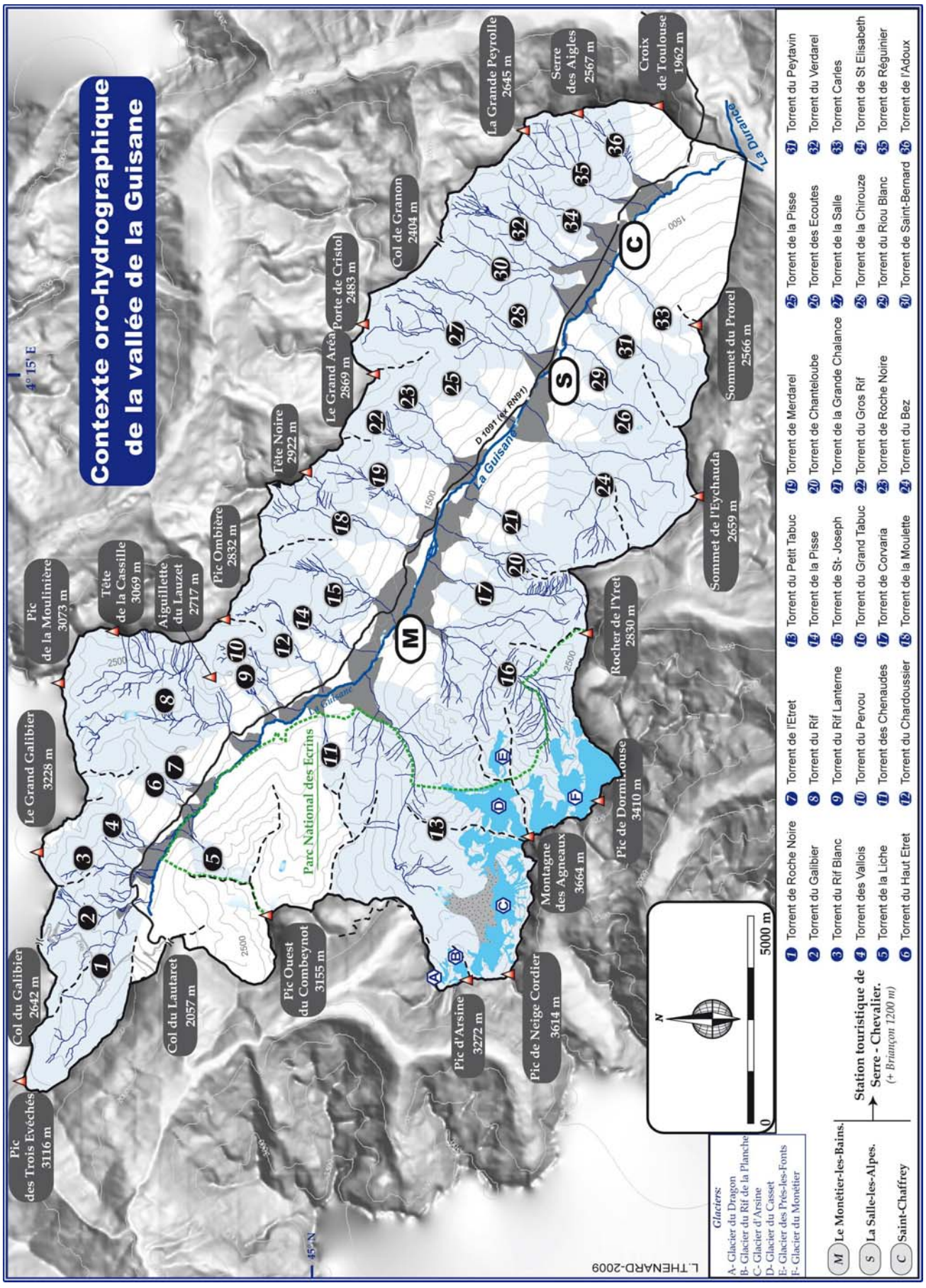


Figure 6: contexte oro-hydrographique de la vallée de la Guisane

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

En haute vallée de la Guisane, les cols du Lautaret *(2057 m)* et du Galibier *(2642 m)* s'inscrivent comme les deniers confins de l'ensellement durancien dans le massif alpin. Le célèbre col du Lautaret constitue la limite "amont" du talweg de la Guisane, où la rivière du même nom prend sa source *(retombée septentrionale du Combeynot)*. La confluence *(rive droite)* entre la rivière torrentielle Durance et celle de la Guisane se réalise au sud-ouest de Briançon **[Cf. figure 6]** à 1188 mètres d'altitude. Le Lautaret est également considéré comme une démarcation géographique mais aussi climatique entre les Alpes du Nord et les Alpes méridionales.



Figure 7: Contrastes d'exposition dans la vallée de la Guisane

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

Cette échancrure topographique naturelle est un axe ancestral de communications et d'échanges intra-alpins et le demeure encore actuellement, car l'ex-route nationale 91 *(actuelle D1091)* reliant Vizille *(38)* et Briançon *(05)* reste le principal axe routier de la Guisane. Pour preuve, la moyenne annuelle de la circulation journalière à la Salle-les-Alpes *(Serre-Chevalier 1400m)* a été de 8619 véhicules pour la période 2004-2008[16], soit un trafic horaire moyen s'établissant de près de 360 véhicules *(Source : DDE 05)*.

1.1.1.1. Un évasement progressif de la vallée de l'amont vers l'aval.

S'ils "ferment" le bassin versant de la Guisane, les secteurs du Lautaret et du Galibier ouvrent la voie du Briançonnais aux visiteurs venus du *Nord*. De l'amont vers l'aval, l'impression d'ensemble est une faible et régulière déclivité du fond de vallée, ainsi qu'une ouverture progressive de la vallée vers Briançon.

Ainsi, les largeurs *(hors cônes torrentiels)* du fond de vallée oscillent le plus souvent entre 500 et 1000 mètres à l'amont du Monêtier-les-Bains, contre des valeurs variant de 1000 à près de 2000 mètres en moyenne et basse vallée. Avec 3,25% de pente moyenne, le profil longitudinal de la vallée présente une inclinaison assez modeste comparativement à d'autres hautes vallées alpines. Néanmoins, cette dernière valeur centrale occulte certaines variations de pentes, sans que l'on puisse pour autant évoquer de véritables ruptures. Par exemple, la section supérieure de la vallée *(11 km)* est sensiblement plus pentue *(5,4%)* que les secteurs avals, notamment la section médiane entre le Monêtier-les-Bains et la Salle-les-Alpes, où la pente n'excède pas 1,5% sur près de 8 km. Par suite, quelques centaines de mètres à l'amont de Saint-Chaffrey, la déclivité moyenne du talweg s'accentue de nouveau jusque Briançon *(2,3%)*.

[16] Source : Conseil Général des Hautes-Alpes.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

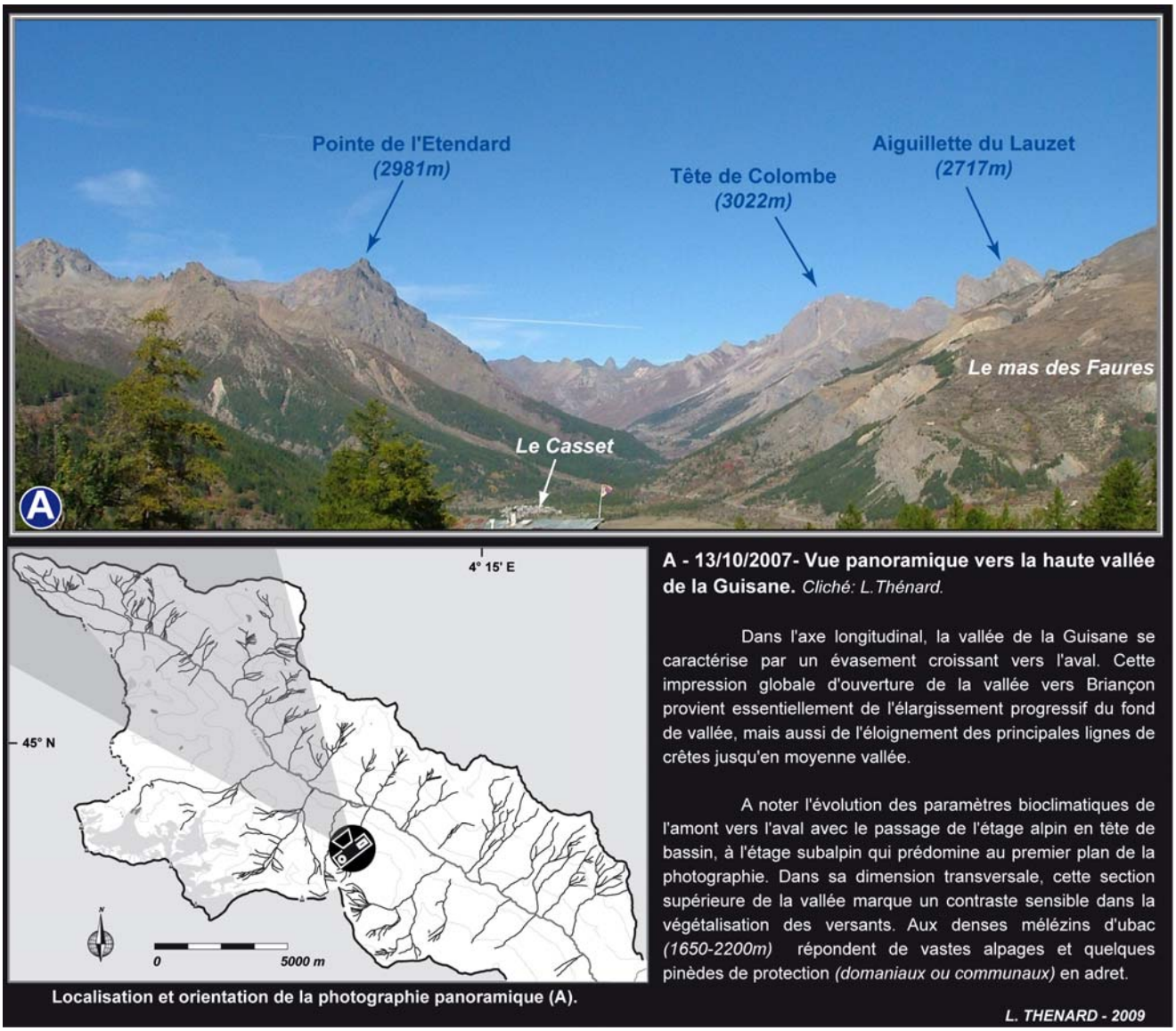


Figure 8 : Un évasement progressif du fond de vallée vers l'aval.

Cette sensation initiale d'évasement progressif est également renforcée par l'évolution tant topographique que paysagère des versants. En effet, les crêtes acérées, les vastes escarpements rocheux, les longs tabliers d'éboulis ou les alpages des versants de la haute vallée *(Massifs du Combeynot, du Grand Galibier-Tête de Colombe ou l'Aiguillette du Lauzet)*, laissent place à des paysages à la fois plus contrastés et plus ouverts, en particulier en moyenne vallée. Si le commandement entre les cimes et le fond de vallée reste important dans toutes les sections de la vallée *(entre 1000 et 2000 mètres de dénivelé)*, l'ouverture de la vallée s'opère essentiellement à partir du vallon du Petit Tabuc se traduisant par un éloignement des lignes de crêtes principales. Les pentes apparaissent alors, moins accusées en particulier dans la section médiane de la vallée **(profil médian. Figure 9)**, où les versants présentent un faciès plus râblé, et dans l'ensemble une morphologie plus lourde. D'ailleurs, la carte des pentes générée et couvrant l'ensemble de la vallée de la Guisane montre sans ambiguïté ce contraste topographique entre les versants de la haute vallée et ceux de la moyenne et basse vallée **[Cf. figure 9]**.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

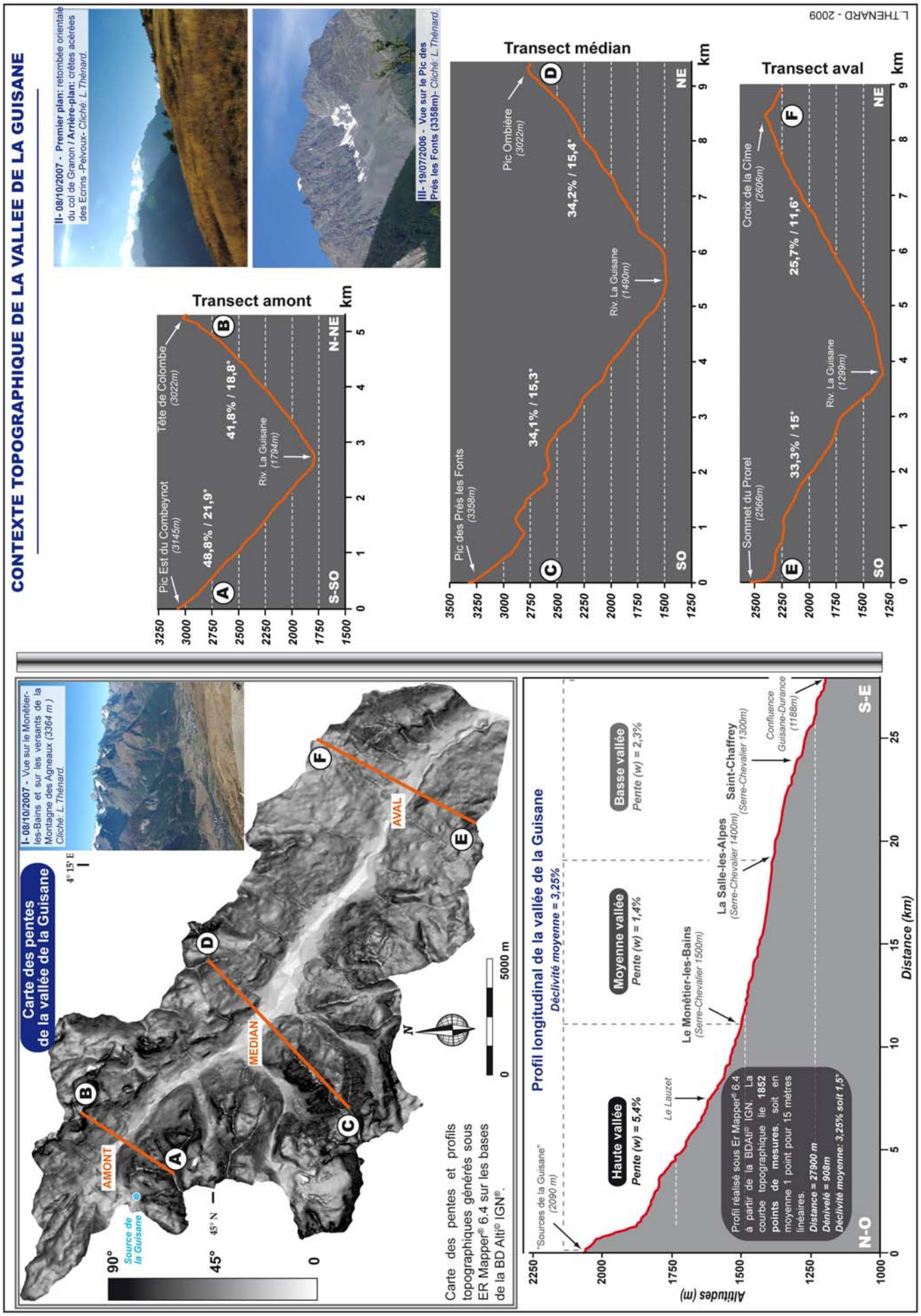


Figure 9 : Caractéristiques topographiques de la vallée de la Guisane.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

1.1.1.2. Une dissymétrie marquée des versants.

A ce dernier contraste longitudinal, s'adjoint également un contraste transversal car les versants guisanais présentent également une dissymétrie marquée.

Schématiquement, le versant de rive droite de la Guisane *(ubac)*, constitué en grande partie par la retombée orientale du massif des Ecrins-Pelvoux, apparaît bien plus escarpé que son vis-à-vis *(adret)*. D'ailleurs, la Montagne des Agneaux *(3664 m)* constitue le point culminant de la vallée et se localise sur ce versant d'ubac. Déjà sensible en haute vallée, cette dissemblance topographique est encore plus perceptible en moyenne et basse vallée. Sur le versant opposé et en comparaison, le secteur correspondant à la retombée méridionale du col de Granon se caractérise à l'inverse par un certain "moutonnement" topographique sur près de 15 km². La physionomie bosselée et la faible énergie du relief sur ce site résulte d'un ensemble complexe de mouvements de terrain *(coulée du Granon et glissement du Puy Chirouzan)*, affectant essentiellement les formations du Carbonifère et des dépôts morainiques quaternaires. En dehors des pinacles rocheux et saillants du Petit et du Grand Aréa *(respectivement 2487 m et 2869 m)*, le versant se singularise globalement par de vastes et multiples bombements, impliquant une déformation lente et multiphasique ainsi que de nombreux remaniements **[Cf. figure 10]**.

Actuellement, ces retouches sont en grandes parties réalisées par des processus hydro-géomorphologiques, notamment dans les torrents qui incisent et façonnent ce versant. En découle un certain "empattement" du relief, avec des pentes à la fois adoucies et plus irrégulières comparativement au versant opposé, alors qu'ils sont constitués de formations relativement comparables.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009



Figure 10: une dissymétrie marquée des versants.

Cette dissymétrie topographique renvoie également au contraste d'exposition mis en avant précédemment. Sur le long terme, cette opposition a induit logiquement des comportements morphogéniques distincts entre le versant d'adret et celui d'ubac. Cela se traduit aujourd'hui par de fortes disparités au niveau de l'étagement, dans la nature et la couverture forestière, tout comme dans l'évolution saisonnière voire quotidienne du manteau nival et/ou de la gélivation *(alternance des cycles gel/dégel)*.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

Par ailleurs, en complément de paramètres plus déterminants encore *(nature du substrat, etc)*, les caractéristiques d'exposition dans cette vallée ont sans doute influencé la nature de l'exploitation des versants par l'Homme *(agro-pastoralisme, défrichements, etc.)*.

Ensuite, le tronçon situé en aval de Saint-Chaffrey fait exception, car cette fois la ligne de crête d'adret s'élève franchement et accentue nettement la déclivité du versant *(la Grande Peyrolle : 2645m ; Serre des Aigles : 2567m ; la Croix de Toulouse : 1962 m)*. Ce regain d'énergie du relief en adret rétablit une certaine symétrie entre les versants en répondant à la vigueur des pentes du Prorel *(2566 m)*, qui constitue le versant méridional dans ce secteur de la vallée.

Pour finir et sans être plus exhaustif, signalons que des travaux bien antérieurs à notre étude avaient déjà démontré les contrastes topographiques des versants guisanais, en utilisant une approche morphométrique et en particulier hypsométrique (Peguy, 1942 ; Carenco, 1982 ; Lahousse, 1994). Nos investigations, sous SIG notamment *(croisement bassin versant Guisane et données altimétriques)*, rejoignent très largement les résultats de ces études, ce qui permet d'avancer qu'environ 30% de la surface de la vallée de la Guisane appartient au domaine périglaciaire[17], c'est-à-dire dans ce secteur, entre 2400 et 3000 mètres d'altitude (Francou, 1988). L'efficacité des processus cryogéniques dans ces zones est évidemment un facteur important pour les caractéristiques et l'abondance de la recharge sédimentaire dans les bassins torrentiels.

[17] Cette proportion atteint même plus de 40 % en haute vallée de la Guisane.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

1.1.2. L'environnement bioclimatique actuel.

Le climat et la végétation constituent deux éléments interconnectés particulièrement influant dans l'évolution des dynamiques torrentielles.

En effet, sur un pas de temps journalier, les extrêmes climatiques *(orages estivaux)* sont le plus souvent à l'origine du déclenchement d'évènements paroxystiques dans les torrents *(laves torrentielles par exemple)*.

A l'échelle de quelques siècles, le climat est un agent exogène qui peut considérablement modifier la nature des morphodynamiques "dominantes". Entres autres exemples, la péjoration climatique du Petit Âge Glaciaire *(PAG)* s'est traduite par une plus grande efficacité des processus cryogéniques sur les versants, donc dans de nombreux bassins torrentiels par une abondante charge sédimentaire d'origine périglaciaire. Par cette importante charge détritique, la physionomie des lits torrentiels a été sensiblement modifiée, en commençant par leur exhaussement et l'élargissement des bandes actives ou des zones d'emprises torrentielles sur les cônes de déjection (Jorda, 1980 et 1985 ; Bravard, 1989 ; Jorda et Provansal, 1996 ; Ballandras, 1997 et 1998).

La crise morphoclimatique du PAG est également reconnue pour être d'origine climato-anthropique, en raison de l'importance des actions de l'Homme dans les bassins torrentiels. Même s'ils apparaissent très inégaux en fonction des secteurs, les défrichements opérés pour le développement des activités agro-pastorales *(ou minières dans le cas de la Guisane)* ont souvent exacerbé l'agressivité des processus érosifs sur les versants. La dégradation du couvert forestier depuis l'époque romaine, puis sa restauration et/ou sa préservation durant la période contemporaine sont des éléments primordiaux pour l'appréhension des évolutions hydro-géomorphologiques des torrents alpins. Par ailleurs, le réchauffement climatique contemporain et actuel tend à favoriser des phénomènes de colonisation végétale spontanée. Même la part des actions anthropiques et des facteurs naturels reste difficile à déterminer précisément, le rôle prépondérant des paramètres bioclimatiques dans l'ajustement contemporain des lits torrentiels a été souligné à plusieurs reprises, et récemment, dans le Briançonnais (Garitte, 2006 ; Garitte et *al.,* 2008) ou dans la Drôme (Thévenet et al., 2003.).

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

1.1.2.1. Les grands traits du contexte climatique actuel en Guisane.

Dans cette étude, nous ne présenterons que les grands traits de l'environnement climatique actuel en Guisane **[Cf. Figure 11]**. Ce choix a essentiellement été guidé par deux raisons principales :

Différentes études ont déjà largement et brillamment couvert ce thème, et en conséquence nous ne reprendrons que les grandes lignes de leurs conclusions. (Péguy, 1947, 1978 et 1981 ; Risser, 1979 ; Ronchail et Lecompte, 1981 ; Carenco, 1982 ; Francou, 1988).

D'autre part et nous l'avons évoqué, la corrélation entre l'évolution des paramètres climatiques et la réponse morphologique des torrents peut être perceptible à l'échelle de quelques décennies ou du siècle. **A l'inverse, les évènement paroxystiques dans les torrents sont le plus souvent déclenchés par des extrêmes météorologiques très localisés *(ex : orages estivaux),* à l'exception des épisodes pluvieux et prolongés du printemps ou de l'automne *(ex : retour d'Est).*** A cette échelle spatiale, il est rare que les orages de convection se localisent à proximité immédiate des stations de mesures. Pour la Guisane, les données journalières auxquelles nous avons eu accès proviennent des stations Météo-France du Monêtier-les-Bains *(1452 m)* et de Briançon *(1324 m)*. Ces dernières sont séparées d'environ 13 km de distance et sont implantées en fond de vallée. Or, les décharges orageuses estivales s'effectuent le plus souvent dans les impluviums torrentiels, et naturellement, les mesures effectuées en fond de vallée ne peuvent refléter les cumuls pluviométriques réellement recueillis dans les bassins de réception.

Souvent, les crues torrentielles (hors rivières) les plus intenses ne trouvent aucune correspondance dans les mesures journalières ou même horaires. Par exemple, le 09 juillet 1981, les stations météorologiques de Briançon et du Monêtier-les-Bains relevaient respectivement 1 et 4 mm de précipitations, alors que la même journée une lave torrentielle a provoqué des dégâts considérables sur le cône du Verdarel. Pourtant, la confluence du Verdarel avec la Guisane et la station de Briançon sont espacées d'à peine plus de 3 km. D'ailleurs, des analyses statistiques ont été réalisées dans le cadre de cette étude afin de vérifier la corrélation entre les données météorologiques journalières et l'enquête historique *(période 1950-2003)*. Logiquement, tous les tests réalisés se sont révélés non significatifs.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Etudiées individuellement et lorsque les torrents concernés se trouvent à proximité de la station de mesures, certaines données pluviométriques semblent tout de même correspondre à quelques débordements torrentiels. Par exemple et tandis que le cône torrentiel du Bez était dévasté par une lave torrentielle le 24 juillet 1995, la station de Briançon a relevé une lame d'eau de 31,4 mm, soit environ 90% des précipitations mensuelles moyennes (Lahousse et Salvador, 1999). Pour autant, ces valeurs ne retranscrivent pas véritablement l'intensité et les quantités des précipitations abattues dans le haut bassin versant, estimées au minimum à 100 mm en 2 heures. Donc, en dehors des épisodes pluvieux et prolongés affectant le Briançonnais, les données météorologiques des stations de Briançon et du Monêtier ne constituent pas, ou rarement, des indicateurs fiables dans l'analyse des crues des torrents.

FICHE CLIMATOLOGIQUE de BRIANCON 1324 m (Période 1971-2000) (Données Météo-France et CEMBREU)													
	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
La température la plus élevée (°C) (période 1961-2005)													
	17	18	21,4	22,9	29,4	31,8	34,3	33,3	30,2	27,6	22,8	18,3	34,3
Date	08-1989	16-1961	18-1993	30-2005	29-2001	30-1968	30-1983	05-2003	08-1966	01-1997	02-1981	13-1994	1983
Température maximale moyenne en °C													
	4,6	5,6	8,8	11,2	16,2	20,2	24,2	23,9	19,6	14,1	8,3	5,5	13,5
Température moyenne moyenne en °C													
	-0,1	0,6	3,3	5,8	10,5	13,9	17,2	17	13,3	8,7	3,5	1	7,9
Température minimale moyenne en °C													
	-4,8	-4,5	-2,1	0,5	4,7	7,5	10,1	10	7	3,3	-1,3	-3,6	2,2
La température la plus basse (°C) (période 01-01-1961au 31-12-2005)													
	-17,9	-17,4	-18,4	-10,7	-5,7	-0,2	1,2	1,4	-4	-8,1	-12,5	-16,9	-18,4
Date	07-1985	10-1986	06-1971	06-1970	04-1967	06-1989	06-1965	30-1986	30-1974	31-1974	21-1971	30-1968	1971
Nombre moyen de jours avec													
Tx >= 30°C	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2
Tx >= 25°C	0	0	0	0	0	4	15	14	3	0	0	0	36
Tx <= 0°C	4	3	1	0	0	0	0	0	0	0	1	3	12
Tn <= 0°C	29	26	23	13	2	0	0	0	1	5	19	27	145
Tn <= -5°C	13	11	7	1	0	0	0	0	0	0	4	10	46
Tn <= -10°C	3	3	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	10
	(Tn=Température minimale, Tx=Température maximale)												
Précipitations : Hauteur moyenne mensuelle (mm)													
	65	50	48	67	70	68	48	54	72	93	68	66	770
Précipitations : Hauteur quotidienne maximale (mm) (période 1961-2005)													
	84	50	70	67	51	52	46	45	58	63	103	60	103
Date	14-1978	04-1951	21-1971	10-1963	14-1983	28-1981	21-1973	29-1992	19-1999	27-1972	11-1996	09-1954	1996
Nombre moyen de jours avec													
Pluie >= 1 mm	7	7	7	8	10	9	7	7	7	9	7	7	92
Pluie>= 5 mm	4	3	3	4	4	4	3	4	4	6	4	4	47
Pluie>= 10 mm	2	2	1	2	2	2	1	2	2	3	2	3	24
	Rr : Hauteur quotidienne de précipitations												
Durée d'insolation moyenne en Heures (période 1961-2001)													
Nb Heures	147	149	192	199	215	237	279	254	219	184	145	141	2362*
	* = avec effet de masque												
Rafale maximale de vent (km/h)													
	79	65	65	68	65	72	72	65	76	58	76	72	79
Date	10-1995	20-1993	30-2001	24-1993	31-2001	05-1994	27-2003	28-1995	22-1993	08-2003	04-1995	13-2001	1995
	Neige: hauteur moyenne en cm (période 1961-2001)												
	66	51	36	16	1	0	0	0	0	3	30	55	
	Neige : hauteur maxi mensuelle												
max mensuel	240	137	122	71	19	0	0	0	8	38	149	279	512
année	1978	1990	1971	1998	1972				1972	1992	1996	1981	77-78

Figure 11 : Normales climatiques de la station de Briançon (1971-2000).

Sources : **A. Morel** → Site internet : http://meteo05.sepcs.fr/

Données Météo France et CEMBREU.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

A l'instar du bassin de la Haute-Durance dans laquelle il s'inscrit, le Briançonnais représente un espace de transition climatique **[Cf. Figure 12]**. Relativement complexe, son climat se caractérise par une alternance saisonnière et/ou annuelle des influences méditerranéennes, océaniques et continentales. Même si certaines nuances s'expriment entre haute et basse vallée de la Guisane, le climat de la vallée montre une légère ascendance de l'influence méditerranéenne. Cette dernière remonte assez profondément dans le massif alpin grâce à l'ensellement durancien (Péguy, 1947). La distribution saisonnière des précipitations est relativement équilibrée, même si l'influence méridionale se manifeste par un maximum pluviométrique durant l'automne *(à Briançon, le mois de novembre est de loin le plus pluvieux avec en moyenne 91,2 mm)*. De la même manière, le printemps *(avril à juin)* s'inscrit comme un léger maximum secondaire. Enfin la période estivale s'individualise logiquement comme la plus sèche **[Cf. Figure 13]**.

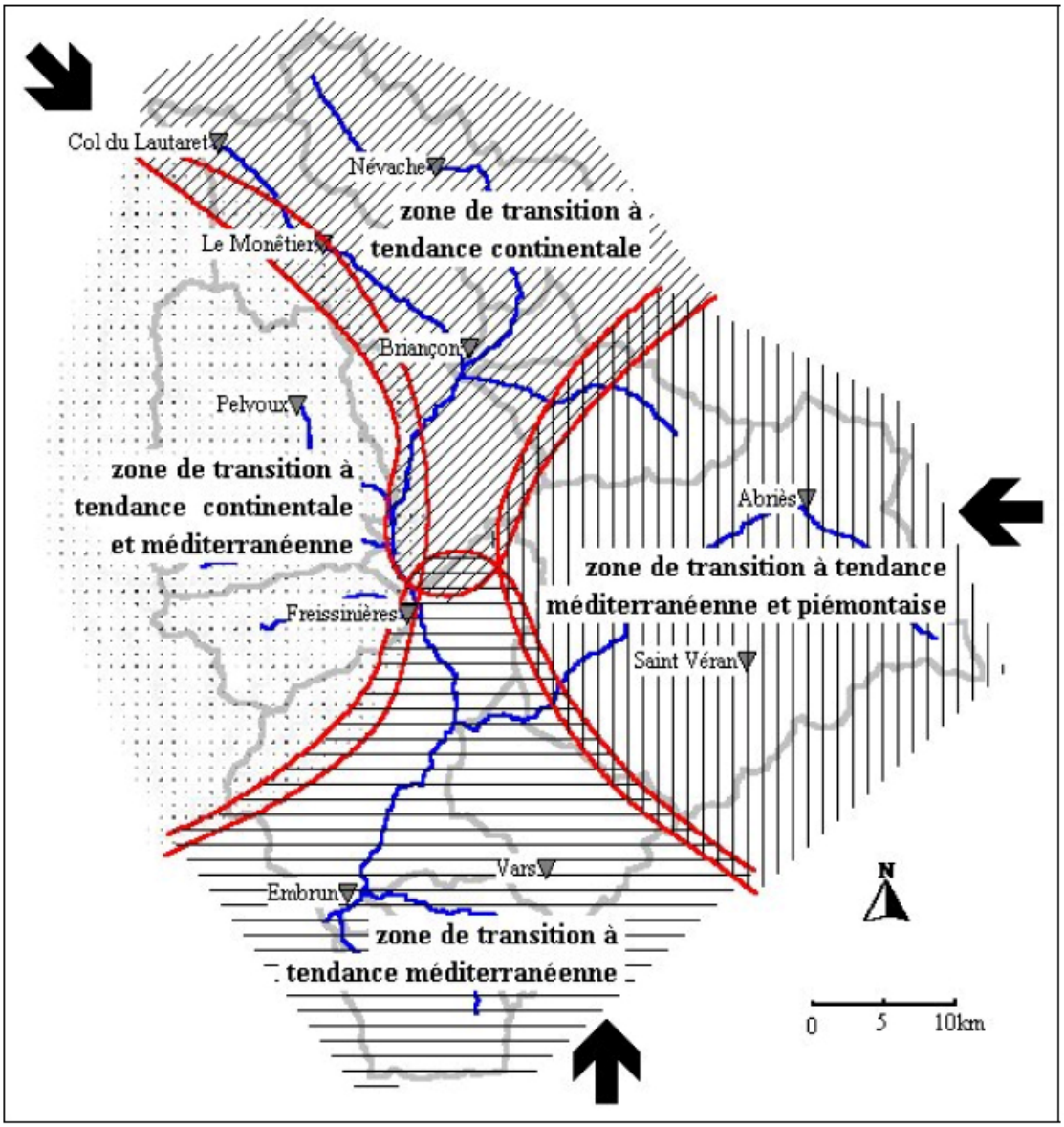


Figure 12 : Schématisation des domaines climatiques de la Haute-Durance (Baraille, 2001)

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Également, la situation intra-alpine, les altitudes et l'orientation du relief placent la Guisane dans une position d'abri climatique entre le massif des Écrins-Pelvoux à l'Ouest et le Piémont Lombard à l'Est. En découle des effets de continentalité dont les manifestations les plus perceptibles sont probablement l'essoufflement des systèmes pluvieux (Baraille, 2001) et un bilan radiatif *(insolation)* supérieure aux vallées alpines plus septentrionales (P.I.R.D.E.S, 1980 ; Péguy, 1981.) **[Cf. Figure 11]**. Cette importante transparence de l'air briançonnais tend à optimiser l'influence du rayonnement solaire. Les contrastes d'exposition entre les versants de la Guisane en sont d'autant plus accentués. Entre l'adret et l'ubac, cette spécificité climatique a un impact sensible sur le comportement et le maintien du manteaux neigeux et surtout sur l'alternance des cycles gel/dégel. D'ailleurs, le rôle morphogénique du rayonnement solaire en Guisane a été démontré dans des études distinctes et relativement récentes (Serrate, 1981 ; Francou, 1983 et 1988 ; Lahousse, 1994.)

Pour preuve, la ville de **Briançon** n'a reçu en moyenne que 784 mm de précipitations annuelles sur la période 1951-2003 *(Source: Météo France)*, et bien que situé à plus haute altitude, le **Monêtier-les-Bains** n'a guère réceptionné plus de précipitations avec une moyenne annuelle de 862 mm sur la même période. A noter également qu'à cette altitude 40% des précipitations s'effectuent sous forme neigeuse, et qu'à 2500 mètres cette valeur s'élève à près 70% (Francou, 1988).

D'autre part, les données climatiques, notamment pluviométriques, des stations de Briançon et du Monêtier-les-Bains montrent une extrême variabilité interannuelle. Même si la distribution saisonnière des précipitations est relativement équilibrée, les volumes annuels peuvent considérablement varier d'une année à l'autre [Briançon *(1951-2003)* σ = 174,7]. L'agrégation des données absolues et des écarts-types illustrent d'ailleurs parfaitement cette affirmation **[Cf. Figure 13]**. Par exemple, alors qu'en 1962, à Briançon, le cumul pluviométrique annuel moyen s'élevait à 751 mm, l'année 1963 établissait un record sur l'ensemble de la période considérée *(1951-2003)* avec 1220 mm. De la même manière et plus récemment, après une année 2002 relativement humide *(965 mm)*, avec seulement 576 mm l'année 2003 a été la plus sèche des dix années précédentes.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

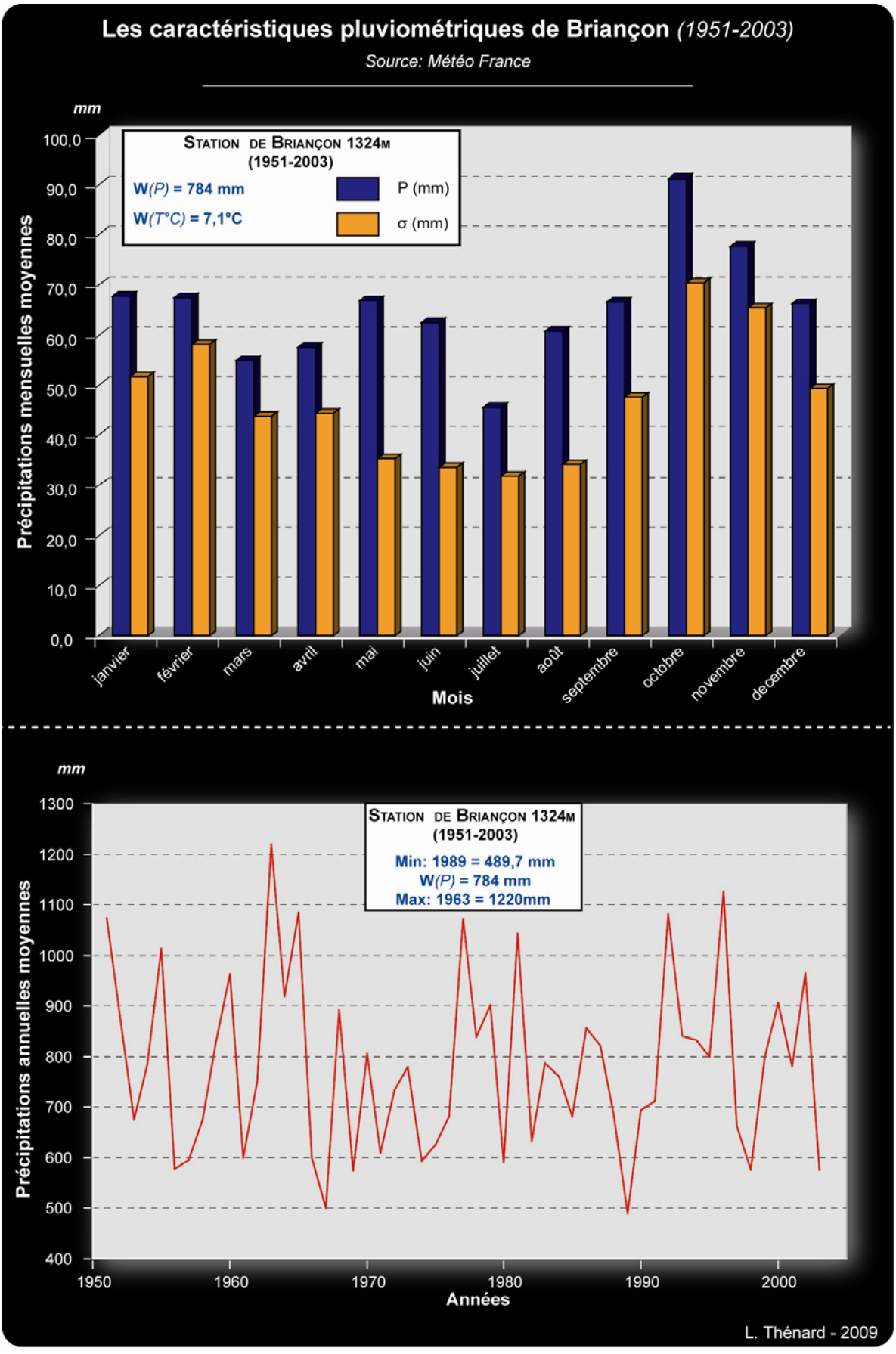


Figure 13 : Les caractéristiques pluviométriques de Briançon (1951- 2003).

© 2011 Tous droits réservés.

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

Cette variabilité interannuelle du climat briançonnais est telle, que les différents tests statistiques réalisés *(Tests de Kendall et de Spearman)* n'ont pas permis de dégager une tendance significative sur les 53 années de données météorologique en notre possession. Ces résultats confirment des analyses effectuées récemment sur des données climatiques du Monêtier-les-Bains dont l'objectif initial était de comparer l'évolution climatique récente *(nombre de jours de gel, précipitation, etc.)* et son impact sur les coulées de débris des versants périglaciaires de la retombée orientale du massif des Écrins-Pelvoux (Jomelli et al, 2004). Toutefois, cette étude semble faire ressortir une légère augmentation des cumuls pluviométriques journalier supérieurs à 30 mm à la station du Monêtier entre 1965 et 2000. **[Cf. Figure 15]**

D'autre part, la variabilité interannuelle du climat briançonnais trouve également et logiquement son corollaire dans les cumuls pluviométriques mensuels **[Cf. Figure 14]**. Là encore, les séries statistiques se caractérisent par une forte dispersion. Généralement les plus propices au déclenchement des crues torrentielles paroxystiques, les mois de juillet et août ont reçu respectivement 45,5 et 60,6 mm de précipitations mensuelles moyennes entre 1951 et 2003. Or, d'une année à l'autre l'irrégularité est la règle puisque les écarts-types (σ) s'établissent à 31,6 pour le mois de juillet et 34 pour le mois d'août **[Cf. Figure 14]**.

Une nouvelle fois, le rapport entre les données pluviométriques mensuelles et les crues estivales des torrents est bien ténu, et statistiquement, non significatif. Par exemple, suite à un violent orage de convection, le torrent du Verdarel a engendré une lave torrentielle d'environ 10 000 à 15 000 m^3 le 22 juillet 1988, alors que la station de Briançon n'a enregistré que 0,2 mm de cumul pluviométrique journalier.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

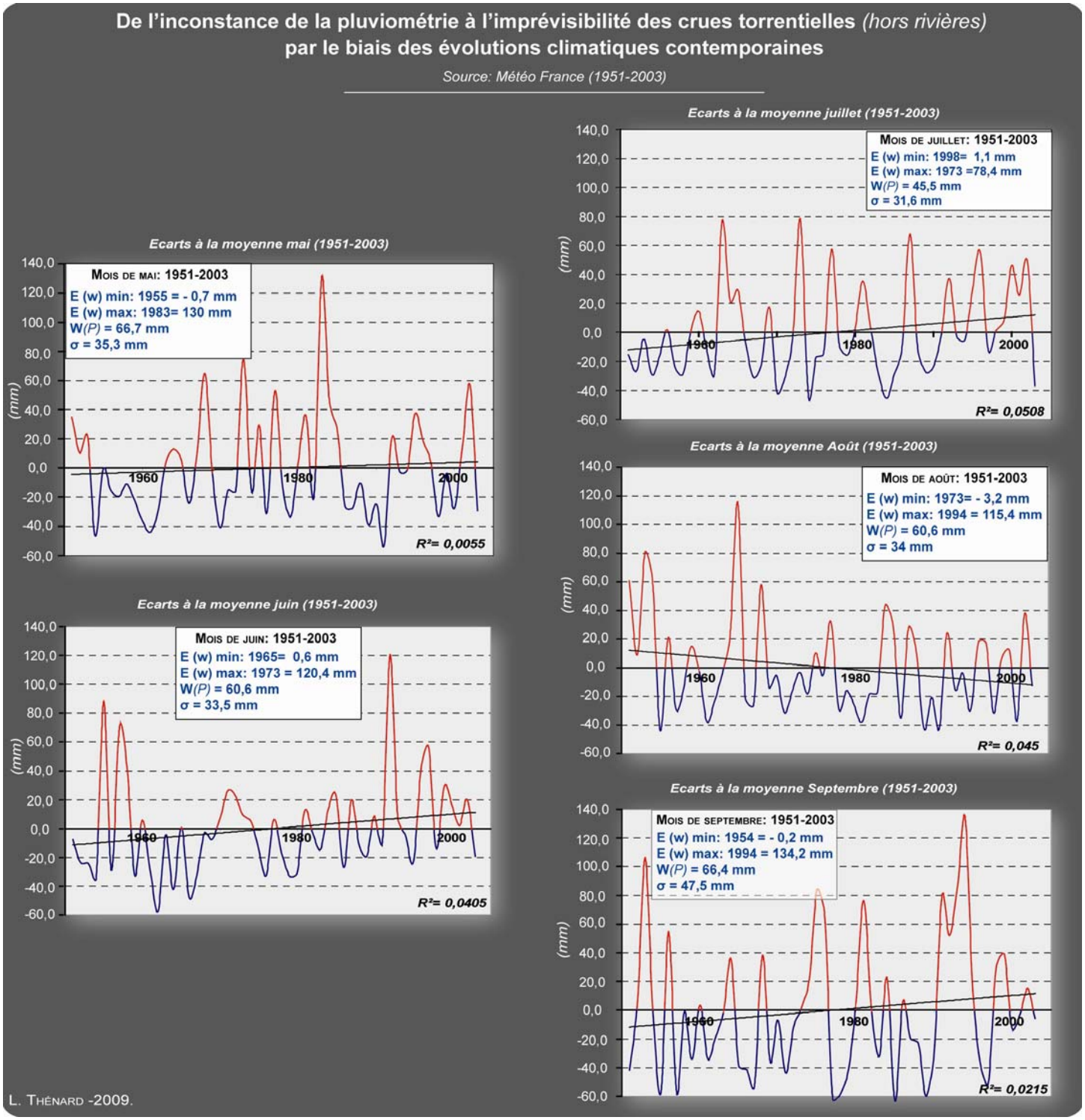


Figure 14 : Inconstance de la pluviométrie mensuelle dans le briançonnais [1951-2003] (printemps-été)

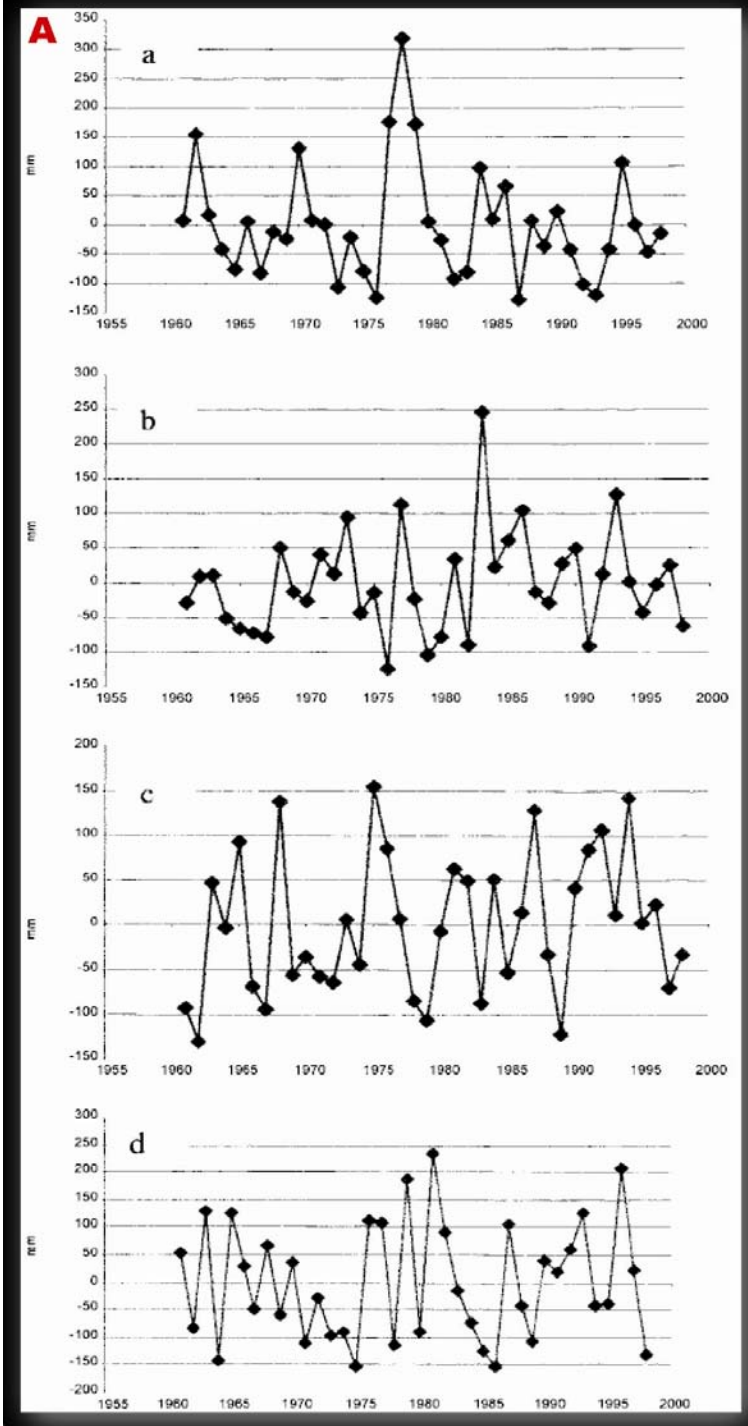
Également et à l'inverse de la légère tendance à l'augmentation du nombre de jours ayant reçu plus de 30 mm de précipitation au Monêtier-les-Bains, cette évolution ne se vérifie pas à Briançon **[Cf. Figure 15]**. Même si à l'échelle du massif alpin, différentes études montrent un accroissement significatif des évènements météorologiques extrêmes (Rebetez et *al.,* 1997 ; Brunetti et *al.*, 2001 ; Jomelli et *al.*, 2004 et 2007b) cette tendance ne peut pas être actuellement considérée comme une évolution sensible du climat dans le Briançonnais.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

CLIMAT DU BRIANÇONNAIS:
UNE FORTE VARIABILITÉ INTERANNUELLE DES PRÉCIPITATIONS

A



B

Table I
z-Test values (bold = significant)

		1965–2000
St Christophe	>30 mm	**0.006**
	30–39 mm	**0.019**
	40–49 mm	**0.049**
	>50 mm	0.167
Monétier	>30 mm	**0.02**
	30–39 mm	**0.03**
	40–49 mm	0.67
	>50 mm	0.8
La Salette	>30 mm	**0.001**
	30–39 mm	**0.005**
	40–49 mm	0.722
	>50 mm	0.835

A: Ecart à la moyenne des précipitations saisonnières à la station du Monêtier-les-Bains *(1965-2000)*: (a) hiver ; (b) printemps ; (c) été ; (d) automne.

B: Analyse statistique (z-Test) des cumuls journaliers extrêmes *(> 30 mm)*.

Extrait de Jomelli et al, 2004 (Climatic Change).

Figure 15 : Variabilité des précipitations annuelles au Monêtier-les-Bains (Jomelli et al., 2004)

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

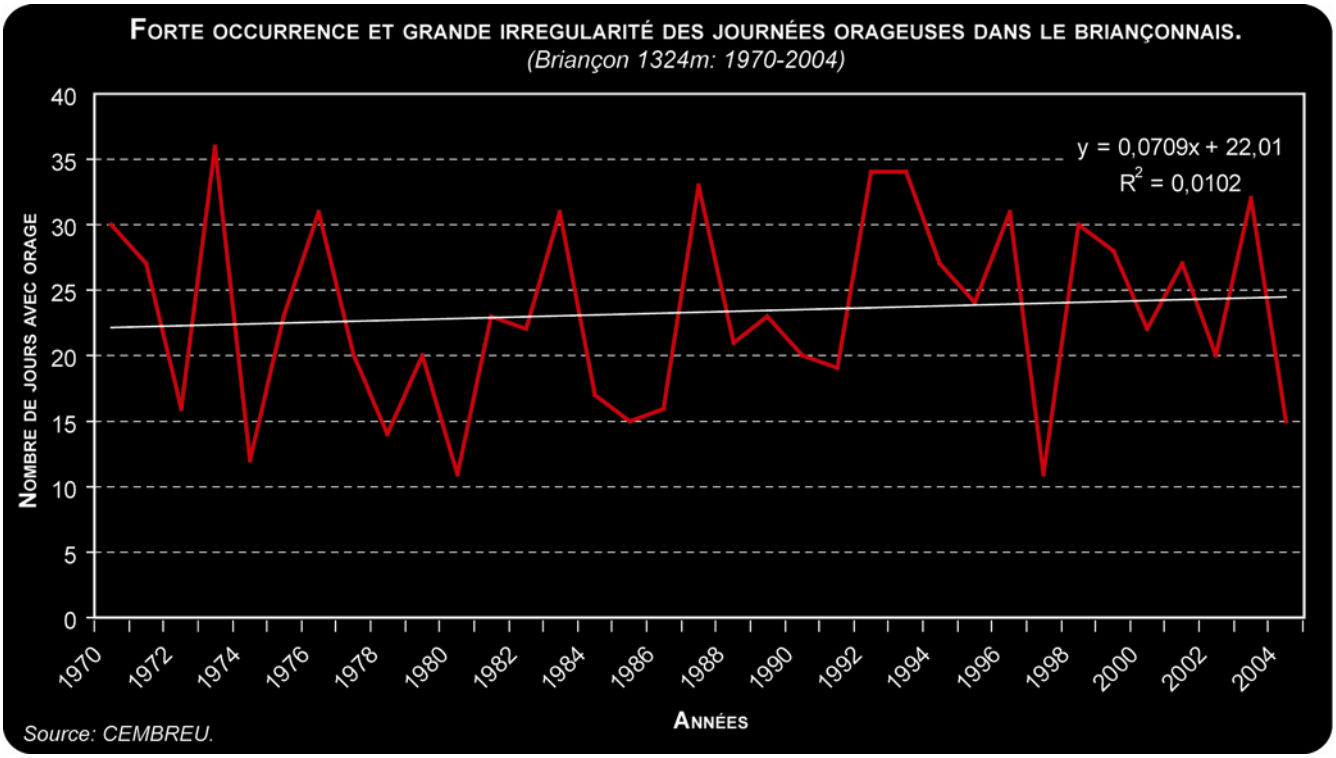


Figure 16 : Forte occurrence et grande variabilité des journées orageuses dans le Briançonnais (Briançon : 1970-2004)

Dans le même esprit, le nombre moyen de jours d'orages à Briançon montre une forte variabilité interannuelle **[Cf. Figure 16]** et aucune évolution sensible n'est ressortie des analyses statistiques pour les 30 dernières années. Toutefois, les modèles issus des travaux sur le réchauffement climatique global semblent démontrer que dans le massif alpin et pour une augmentation des températures moyennes de l'ordre de 2°C, les orages estivaux pourraient être plus nombreux d'ici à 2050 dans les prochaines décennies (IPPC, 2001). Même si cette projection reste à vérifier et n'a pu être franchement corroborée pour l'instant, une augmentation de la fréquence des orages estivaux pourrait entraîner une plus grande occurrence des crues torrentielles paroxystiques.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

1.1.2.2. Aperçu du cadre biogéographique de la Guisane.

Les contrastes topostationnelles et climatiques qui caractérisent la vallée de la Guisane s'accompagnent logiquement d'une forte opposition biogéographique des versants. Étudiée de longue date par les botanistes, et notamment dans le secteur du col du Lautaret, la végétation de la vallée de la Guisane *"est d'un exceptionnel intérêt"* (Ozenda et Cadel, 1981). **Et ceci, en raison de 3 grands paramètres :**

- La position de transition géographique et climatique de la Guisane [Cf. 1.1.1 et 1.1.2.1] entre les Alpes du Nord et du Sud a induit **un grand brassage génétique durant le Quaternaire**, et donc une importante diversité floristique. En effet, les différentes glaciations et leurs interglaciaires ayant jalonné cette période, ont entraîné de multiples migrations des populations végétales (Ozenda, 1985 ; Nakagawa et *al.*, 2000).

- Dans le même esprit, la complexité et l'hétérogénéité du cadre géologique de la vallée et l'énergie du relief impliquent **une grande variété des situations écologiques**, propices à la diversité de la flore.

- **Enfin, les versants de la Guisane portent la marque d'une exploitation humaine, aussi ancienne que diversifiée.** L'impact anthropique sur les populations végétales, notamment arborées, est probablement le plus visible sur les versants guisanais. En effet, les versants de la moyenne et la basse vallée présentent à ce niveau des physionomies très dissemblables **[Cf. Figure 17]**. Tandis que le versant d'ubac apparaît couvert d'une dense couverture forestière jusqu'à environ 2200 mètres d'altitude, le versant d'adret présente une "mosaïque" forestière, clairsemée et irrégulière jusqu'au col de Granon *(2404m)*. Ensuite, l'adret offre un aspect bien plus densément végétalisé jusque Briançon. Bien que les contrastes d'exposition des versants peuvent justifier certaines différences, les discontinuités évoquées ont majoritairement une origine anthropique. Les pratiques agro-pastorales, et surtout dans cette vallée, les activités minières ont provoqué durant des siècles des défrichements massifs affectant pour l'essentiel le versant d'adret. A l'inverse, vers la fin du 19^{ième} siècle et dans le cadre de la restauration des terrains de montagne, des boisements de protection ont été réalisés dans certains bassins versants torrentiels *(Vallois, Étret et Haut-Étret, Chardoussier, Saint-Joseph, etc.)*. Ces derniers ont exclusivement concerné le versant d'adret, et pour l'essentiel en haute et moyenne vallée de la Guisane. Aujourd'hui ce versant offre des paysages forestiers assez

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

morcelés, pour lesquels l'Homme est devenue l'agent prédominant **[Cf. Figure 17]**. En ubac, ce sont les activités touristiques développées depuis les années 1950 qui ont le plus impactés les mélézins. L'implantation des équipements sportifs et la création des pistes de ski ont nécessité des coupes franches dans la forêt en moyenne et basse vallée. Au niveau écologique et dans l'immédiat, ces activités ne semblent pas menacer l'équilibre des formations végétales. Toutefois, ces interventions anthropiques mettent manifestement fin à plusieurs siècles de préservation des mélézins d'ubac.

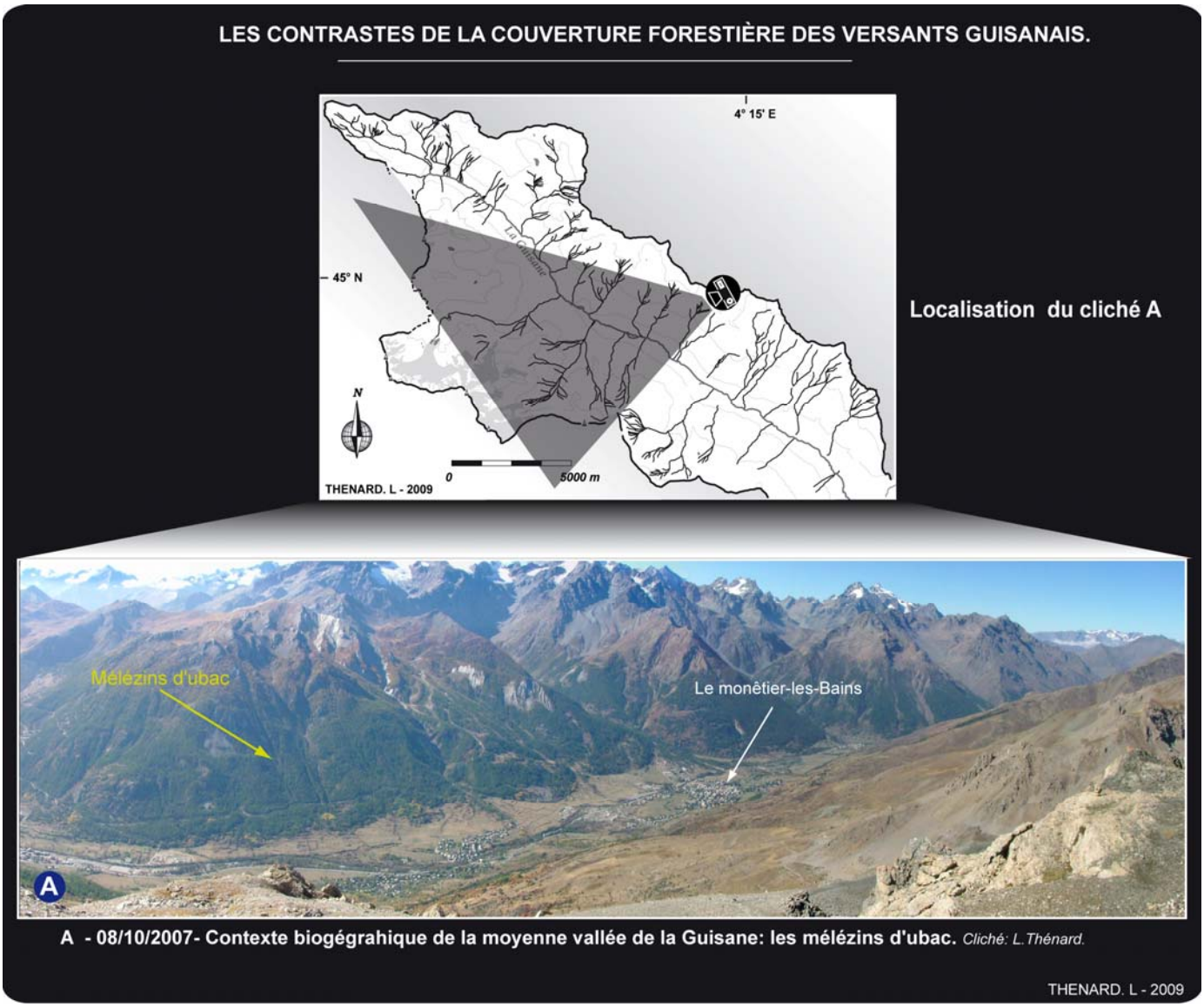


Figure 17 : Les contrastes de la couverture forestière des versants guisanais.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Globalement, et en excluant les zones urbanisées, les pelouses alpines et les pâturages constituent la majorité des paysages Guisanais actuelle. En effet, ils couvrent actuellement environ 11 200 ha de la vallée, soit 56% des surfaces "naturelles" individualisées **[Cf. Figures 17 & 18]**. Essentiellement composées de pins à crochets *(Pinus Uncinata)* et de mélèzes *(Larix Decidua)*, les forêts occupent aujourd'hui près de 4200 ha *(21%)*, dont environ 600 ha de boisements de protection. L'abandon de nombreuses terres agricoles et les reboisements réalisés depuis le 19ième siècle constituent aujourd'hui une évolution sensible du cadre biogéographique de la Guisane. Quelle soit d'origine anthropique ou plus spontanée, cette reconquête végétale est en grande partie assurée par des peuplement de pins sylvestres *(Pinus Sylvestrus)*, de pins à crochets *(Pinus Uncinata),* ou plus ponctuellement, de bouleaux verruqueux *(Betula Pendula)* [Muller et al., 2000].Si les activités anthropiques restent essentiellement concentrées en fond de vallée et si le réchauffement climatique global se confirme dans les proportions annoncées *(+ 2°C à l'horizon 2050)*, la limite supérieure de la forêt théoriquement s'élever de 100 à 150 mètres (IPPC, 2001). Le recul des pâturages et l'amincissement de l'étage périglaciaire pourraient à l'avenir se traduire par une extension des espaces forestiers.

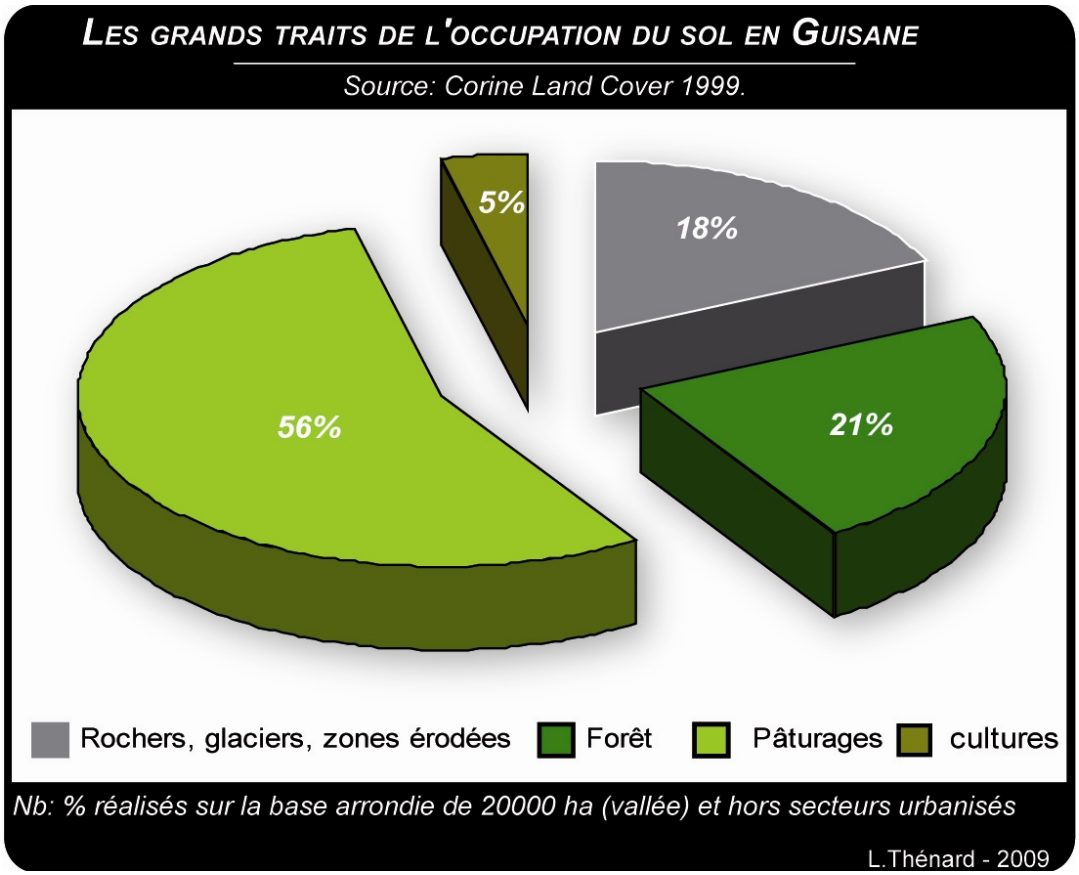


Figure 18 : Les grands traits de l'occupation du sol en Guisane.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

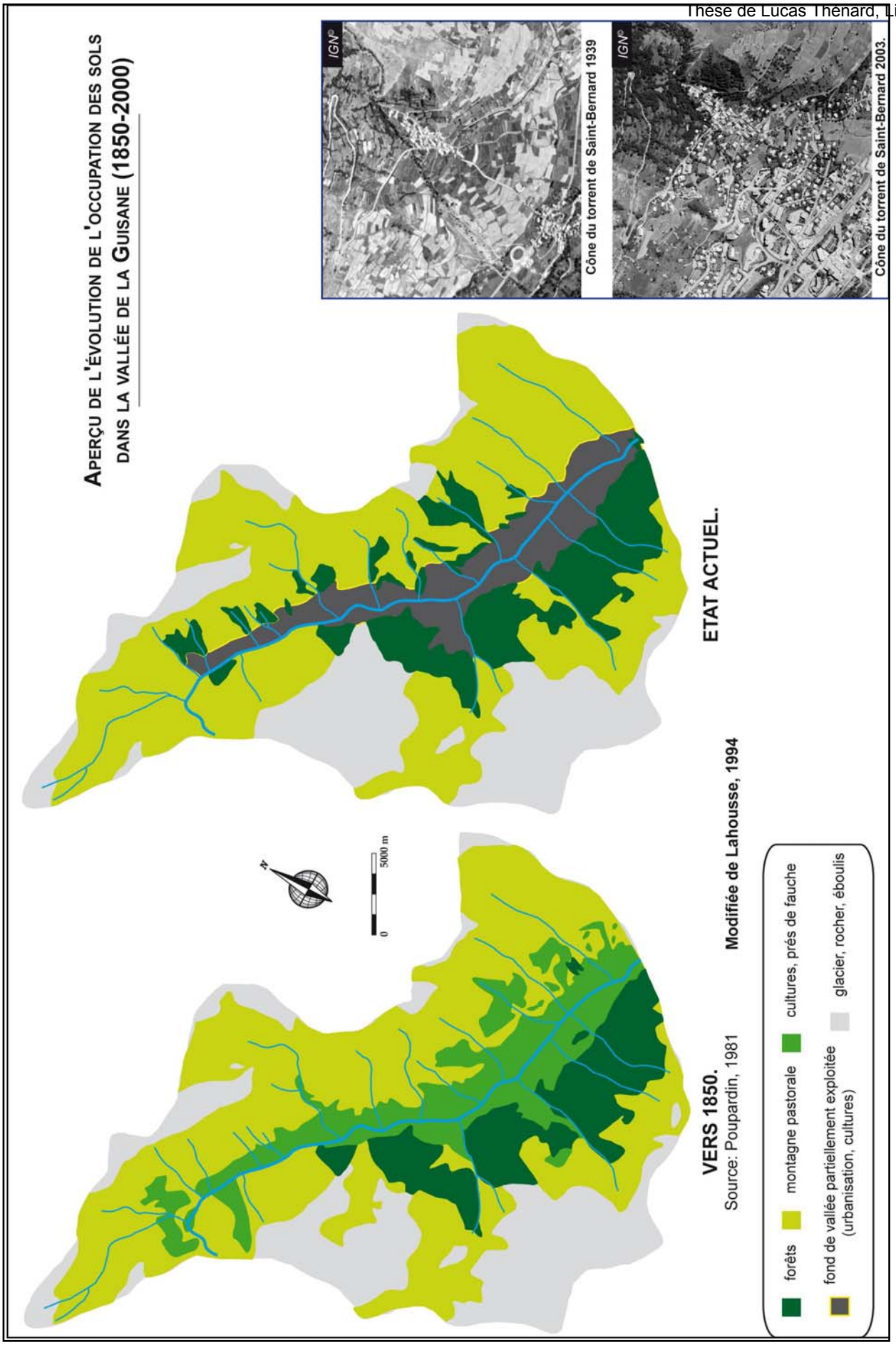


Figure 19 : Cartographie simplifiée de l'évolution de l'occupation des sols en Guisane. (1850-2000).

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Schématiquement, les populations végétales de la Guisane s'organisent selon 4 grands étages (Ozenda et Cadel, 1981):

Le fond de la vallée, cônes de déjection y compris, forme **un étage montagnard humide**.

Spatialement plus restreinte, une mince bande caractérisée par sa xérophilie s'individualise sur le versant d'adret jusqu'à 1900 mètres d'altitude, depuis la haute vallée jusqu'au hameau du Lauzet. Jadis, **cet étage montagnard sec** était intensément exploité pour la culture. Durant le 20^{ième} siècle, les boisements de protection et le développement d'essences arbustives lié à la déprise agricole, forment les grands traits de la végétation de cet étage.

Ensuite, les espaces forestiers occupent majoritairement **un large étage subalpin**. L'énergie du relief et les contrastes d'exposition définissent des limites altitudinales distinctes entre les versants. Schématiquement, cet étage subalpin s'étend entre 1650 et 2200 mètres sur le versant d'ubac et il est essentiellement composé de denses mélézins. En adret, il se localise entre 1900 et 2550 mètres environ. Pour ce dernier, la végétation se compose majoritairement de landes basses en haute vallée, et de pinèdes en moyenne et basse vallée. Pour ces dernières et dans l'axe de la vallée, la densité est globalement croissante d'amont en aval.

Enfin, au-delà des altitudes mentionnées précédemment, **l'étage alpin** se déploie et se caractérise par une grande diversité floristique, directement conditionnée par la nature du substrat rocheux ainsi que par les paramètres climatiques locaux.

Le développement et la densification de la forêt constituent indéniablement une tendance contemporaine en Guisane. Si cette évolution s'accentue dans le cadre du réchauffement climatique global, elle est susceptible d'engendrer une accentuation du tarissement sédimentaire dans les bassins torrentiels. La tendance contemporaine à la rétraction des bandes actives et à l'incision des lits s'en trouverait naturellement renforcée. Toutefois, même si ces évolutions peuvent éventuellement se traduire par une réduction de l'occurrence des évènements paroxystiques dans les torrents, leur intensité ne s'en trouvera certainement pas affectée. Cette affirmation s'appuie sur le fait que la recharge sédimentaire des lits torrentiels sera probablement ralentie, mais en raison de l'importance des héritages géomorphologiques dans la plupart des bassins versant de la moyenne et de la basse vallée, les décharges sédimentaires seront au moins aussi intenses qu'actuellement, sinon plus.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

1.2. LE CADRE GEOLOGIQUE ET STRUCTURAL.

Les spécificités et les contrastes topographiques mis en avant précédemment trouvent pour beaucoup leur origine dans le cadre morphostructural de cette vallée. Cette dernière offre en effet une grande diversité paysagère, d'autant plus mise en valeur que les contrastes sont variés et nombreux *(topographiques, bioclimatiques, géologiques, géomorphologiques et anthropiques)*.

A l'inverse des siècles précédents, l'énergie du relief et l'hétérogénéité des versants sont devenues des atouts essentiels pour le développement des activités touristiques et l'attractivité de Serre-Chevalier. Cette richesse "naturelle" tient en partie au fait que la Guisane, comme l'ensemble du Briançonnais, est une importante zone de contact géologique **[Cf. Figure 20]**.

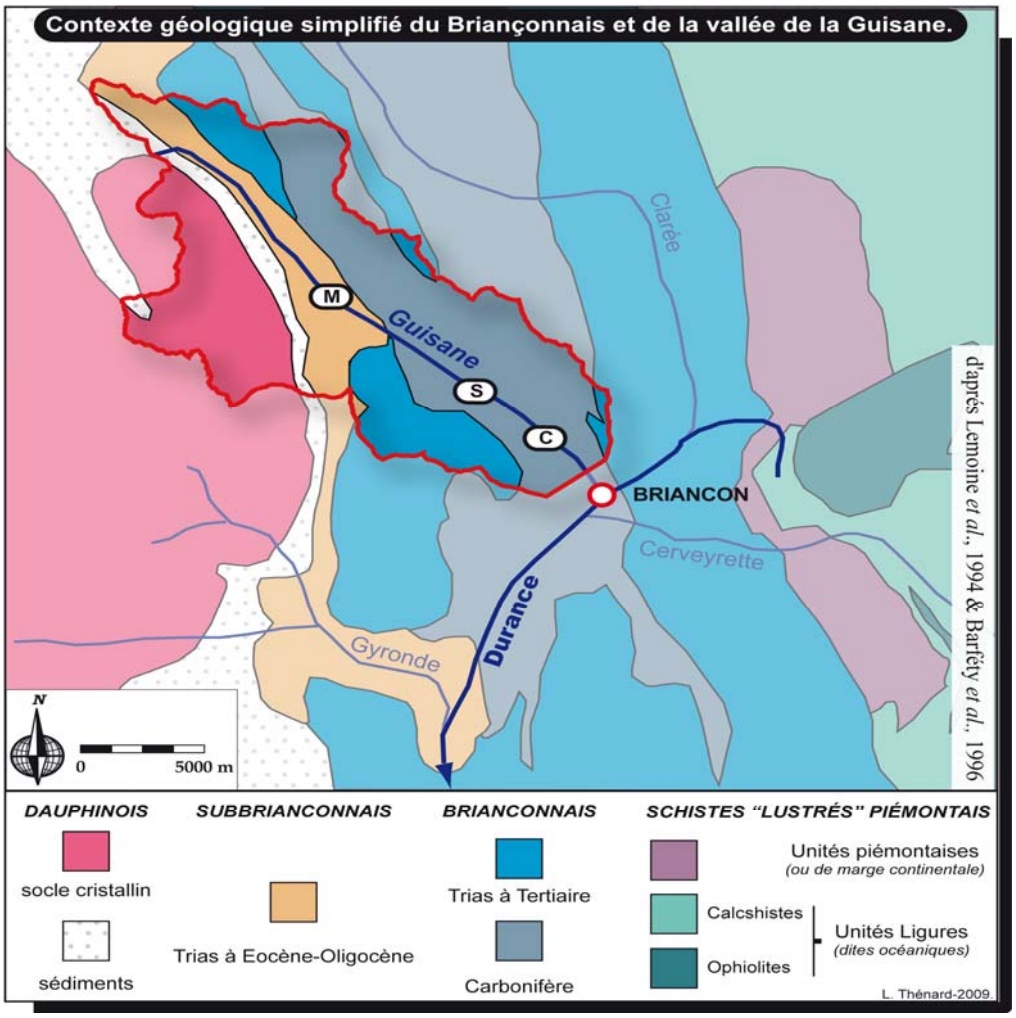


Figure 20 : Contexte géologique simplifié du Briançonnais et de la vallée de la Guisane

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Egalement et à l'instar de la plupart des vallées intra-alpines, la Guisane demeure fortement empreinte d'héritages géomorphologiques, pour la plupart issus des glaciations würmiennes *(placages et cordons morainiques, blocs erratiques, épaulements, etc.)* **[Cf. Figure 21]**.ou plus localement des variations climatiques de l'Holocène *(ex : moraines PAG d'Arsine, du Casset ou des Prés-les-Fonts)* [Cf. 1.1.3.2].

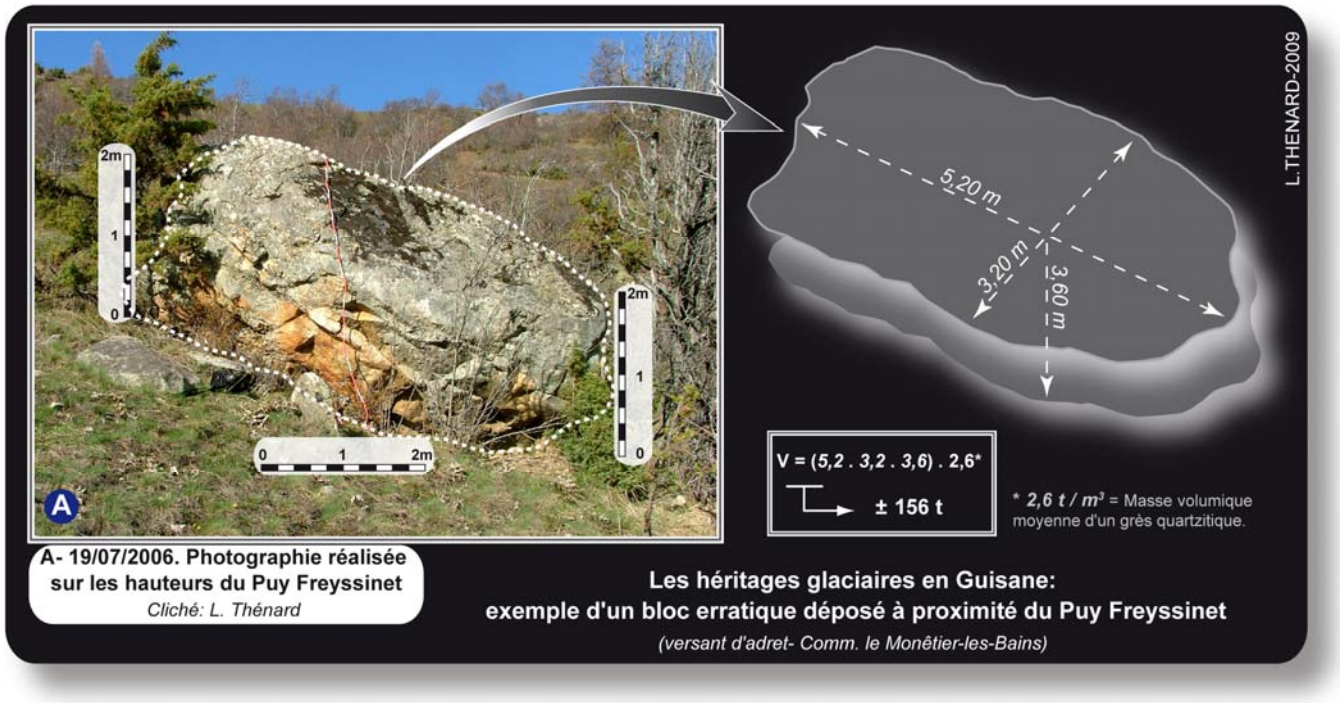


Figure 21 : Les héritages glaciaires en Guisane

Outre les nombreuses interventions anthropiques, l'ensemble des composantes géologiques et géomorphologiques a induit une grande diversité des torrents, que se soit dans leur configuration "statique" *(taille et forme des bassins, profil en long, etc.)*, que dans la nature de leur recharge sédimentaire *(formations tectonisées, dépôts morainiques, éboulis, mouvements de terrain, etc.)* et donc dans leur dynamique. Cela a naturellement concouru au développement de dynamiques torrentielles intenses et de forte occurrence dans cette vallée.

Comme nous l'évoquerons ensuite, de nombreuses recherches ont été menées depuis le 19^{ième} siècle sur la géologie du briançonnais en général et de la Guisane en particulier. Plus récemment, des géographes/géomorphologues ont également contribué à l'approfondissement des connaissances et à l'appréhension du cadre géomorphologique guisanais, tant sur les spécificités structurales que sur les morphodynamiques *(éboulisation, mouvements de terrain, dynamiques torrentielles, etc.)* régissant les versants (Cf. 1.2). En ce sens et pour ce qui ne concerne pas directement les dynamiques torrentielles, il ne nous a pas paru nécessaire de reproduire ou de reprendre en détail dans cette présentation, des travaux préexistants et faisant toujours référence. Il s'agit plus de réaliser une brève synthèse sur les principaux aspects morphostructuraux de la Guisane et d'évoquer les éventuelles implications concernant la torrentialité. D'autre part et pour plus de cohérence, des éléments affiliés au contexte géologique et géomorphologique seront directement intégrés aux différentes études de cas traitées.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

1.2.1. Esquisse du contexte géologique de la Guisane.

A l'instar des botanistes, les géologues comptent parmi les premiers scientifiques à avoir montré un grand intérêt pour le Briançonnais car il constitue un carrefour géologique majeur dans le massif alpin occidental. Ce secteur voit donc se rencontrer à l'Est les zones internes des Alpes occidentales et les zones externes à l'Ouest. Schématiquement, la rencontre des grandes unités alpines dans ce secteur se traduit par une série irrégulière de chevauchements, essentiellement issue de nappes charriées se "déversant" globalement vers l'Ouest.

Et de ce point de vue, la vallée de la Guisane apparaît particulièrement représentative puisqu'elle révèle à l'affleurement un certain nombre de contacts anormaux, en partie témoins de la longue orogenèse alpine et de la puissante tectonique l'ayant accompagnée. Ainsi en surface, se dévoilent de manière fragmentaire des écailles ou des lambeaux intermédiaires *(klippes)*, formés de façon concomitante et/ou à la suite des plissements, et surtout des nappes de charriages survenues lors des dernières phases de la surrection alpine.

Dans cette vallée, on distingue généralement trois grandes unités géologiques : *la zone dauphinoise orientale, la zone subbriançonnaise, et la zone briançonnaise* **[Cf. Figure 22]**.. Bien qu'irrégulières, les zones de contacts entre ces différentes unités se distinguent assez nettement dans les paysages, et configurent très largement le relief de la vallée. Comme mentionné précédemment, au fil des temps géologiques ces grands ensembles géologiques ont été déplacés sous la forme de nappes de charriages. Ces masses charriées se déversent globalement selon une orientation NNE-OSO. La zone de contact géologique majeure que représente la Guisane, enregistre même au sud-est de la vallée *(Granon et unités de la Grande Peyrolle)* un phénomène tardif de "rétrocharriage" d'une partie de la zone briançonnaise; c'est-à-dire un déversement vers les ensembles liguro-piémontais de la zone interne. Ce phénomène témoigne de l'ultime phase d'hypercollision entre les blocs apulien et européen (Barfety *et al*, 1995).

En tout état de cause, les différentes unités charriées se rencontrent et s'organisent selon une série de chevauchements relativement bien individualisés, qui diaprent régulièrement les versants de la vallée par de puissants ressauts structuraux.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

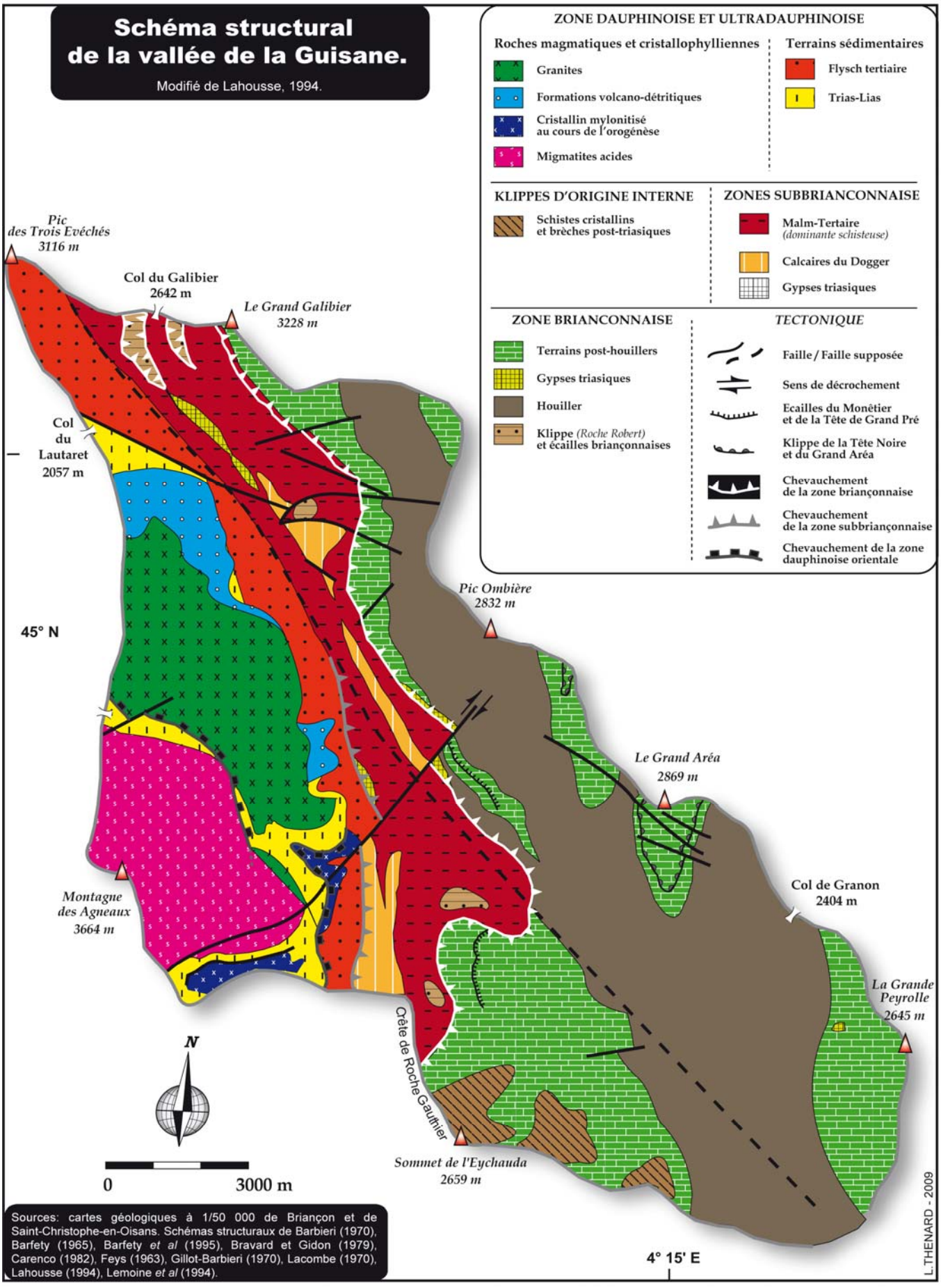


Figure 22 : Schéma structural de la vallée de la Guisane.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

1.2.1.1. La zone dauphinoise orientale.

Comme son nom l'indique, cette zone constitue l'extrémité orientale de ce qui est communément appelé les unités externes des Alpes occidentales. Par ailleurs et jusque récemment, les géologues avaient coutume de scinder ce secteur en deux zones distinctes : la zone dauphinoise externe et la zone ultradauphinoise.

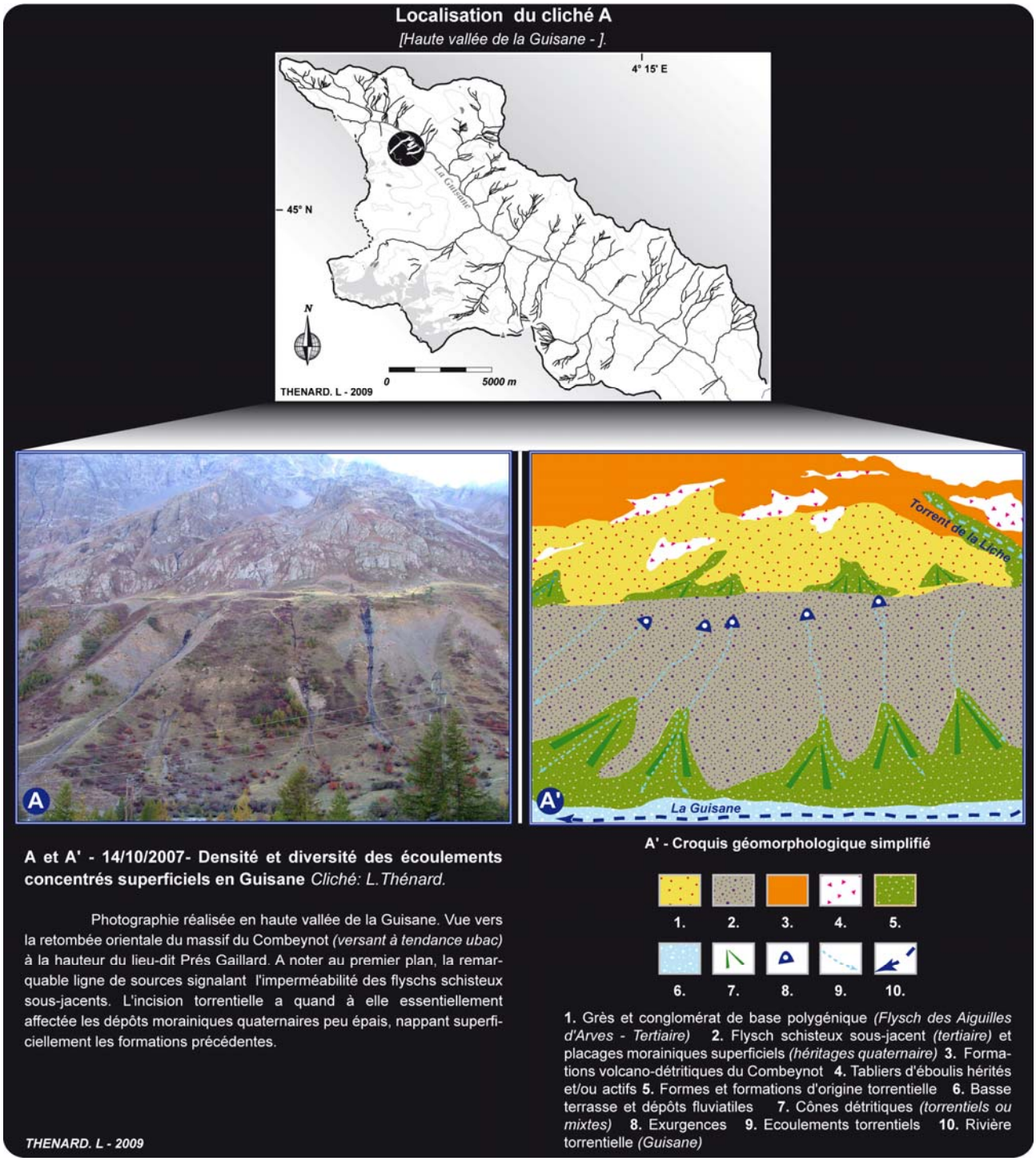
En Guisane, la zone dauphinoise orientale regroupe les deux sous-ensembles précités et s'étend sur le quart nord-ouest de la vallée selon une section oblique. Celle-ci couvre globalement le versant d'ubac, des écailles parautochtones du Pic des Trois Evêchés au massif cristallophyllien de la Montagne des Agneaux.

Surplombant l'ensemble de la Guisane avec une cote maximale de 3664 mètres et essentiellement composée de roches migmatitiques *(gneiss et granites)*, la Montagne des Agneaux est le principal représentant de la zone dauphinoise externe *(autochtone)* dans cette vallée. Sur les retombées orientale et méridionale du massif, cette dernière zone se prolonge et constitue pour partie les Pics du Casset, les crêtes du Lauzas et la fraction basale de la crête des Grangettes *(granitoïdes hercyniens et quelques reliquats d'une couverture sédimentaire autochtone)*. La zone dauphinoise externe se circonscrit ensuite, par une échancrure topographique d'origine structurale dans laquelle s'insère le torrent du Petit Tabuc *(section amont)* à l'Est, et par le flanc nord des Têtes de Sainte-Marguerite.

A partir de ce dernier secteur et en remontant vers l'extrémité septentrionale de la vallée *(Pic des Trois Evêchés)*, s'étire la zone ultradauphinoise sous la forme de divers écaillages parautochtones essentiellement composés des granitoïdes et des formations volcano-détritiques du Combeynot. Apparaît également dans cette zone le "Flysch des Aiguilles d'Arves", traduisant un important phénomène transgressif *(base du versant d'ubac en amont du Casset)* **[Cf. Figure 23]**.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr



A et A' - 14/10/2007- Densité et diversité des écoulements concentrés superficiels en Guisane *Cliché: L.Thénard.*

Photographie réalisée en haute vallée de la Guisane. Vue vers la retombée orientale du massif du Combeynot *(versant à tendance ubac)* à la hauteur du lieu-dit Prés Gaillard. A noter au premier plan, la remarquable ligne de sources signalant l'imperméabilité des flyschs schisteux sous-jacents. L'incision torrentielle a quand à elle essentiellement affectée les dépôts morainiques quaternaires peu épais, nappant superficiellement les formations précédentes.

Figure 23 : Retombée orientale du massif du Combeynot.

Lors des dernières phases de l'orogenèse alpine, la surrection du massif du Combeynot *(Ecrins-Pelvoux)* a encore accentué l'énergie du relief à l'affleurement, avec des cimes dépassant régulièrement les 3000 mètres d'altitude ainsi que des faciès abrupts et particulièrement acérés. Ce qui, au moins dans la section amont de la vallée, est à l'origine de la dissymétrie marquée des versants guisanais [Cf. 1.1.1.2].

© 2011 Tous droits réservés.

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

1.2.1.2. La zone subbriançonnaise.

Enserrée entre les chevauchements de la zone briançonnaise et de la zone dauphinoise orientale, cette unité structurale prend l'aspect d'une bande étroite et effilée *(largeur variant de 1000 à 2000 mètres),* mais presque ininterrompue. Elle constitue l'essentiel des assises basales du versant d'adret *(rive gauche)*, du Petit Galibier *(2768m)* au nord-est jusqu'au Monêtier-les-Bains, puis se prolonge vers le sud-ouest sur le versant de rive droite jusqu'au col de l'Eychauda *(2425 m)*.

D'un point de vue paléogéographique, cette zone dispose de caractéristiques intermédiaires avec les grandes unités internes et externes qui l'encadrent (Barféty et al, 1995). Elle se présente comme une série d'écailles empilées *(décollées au sommet du Trias)*, que l'étude à la fois structurale et stratigraphique a permis de fractionner en deux digitations principales.

Au front de la zone subbriançonnaise, la digitation du Petit Galibier constituée de minces séries allant du Lias à l'Oxfordien (Barféty et al, 1995) est essentiellement dominée par les calcaires *(jurassique inférieur et moyen)*.Vient ensuite, la digitation du Lauzet-Roche Olvera caractérisée par une prépondérance de séries schisteuses, en particulier de calschistes du Crétacé *(oxfordien)*.

A proximité immédiate du Monêtier-les-Bains *(Torrents de Saint-Joseph et de la Moulette)* et au contact de la zone briançonnaise, ce sont cette fois les quartzites triasiques qui prédominent à l'affleurement. Il s'agit d'une surface de décollement révélant un contact anormal, caractéristique du chevauchement des nappes du domaine pennique briançonnais **[Cf. Figure 24]**.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

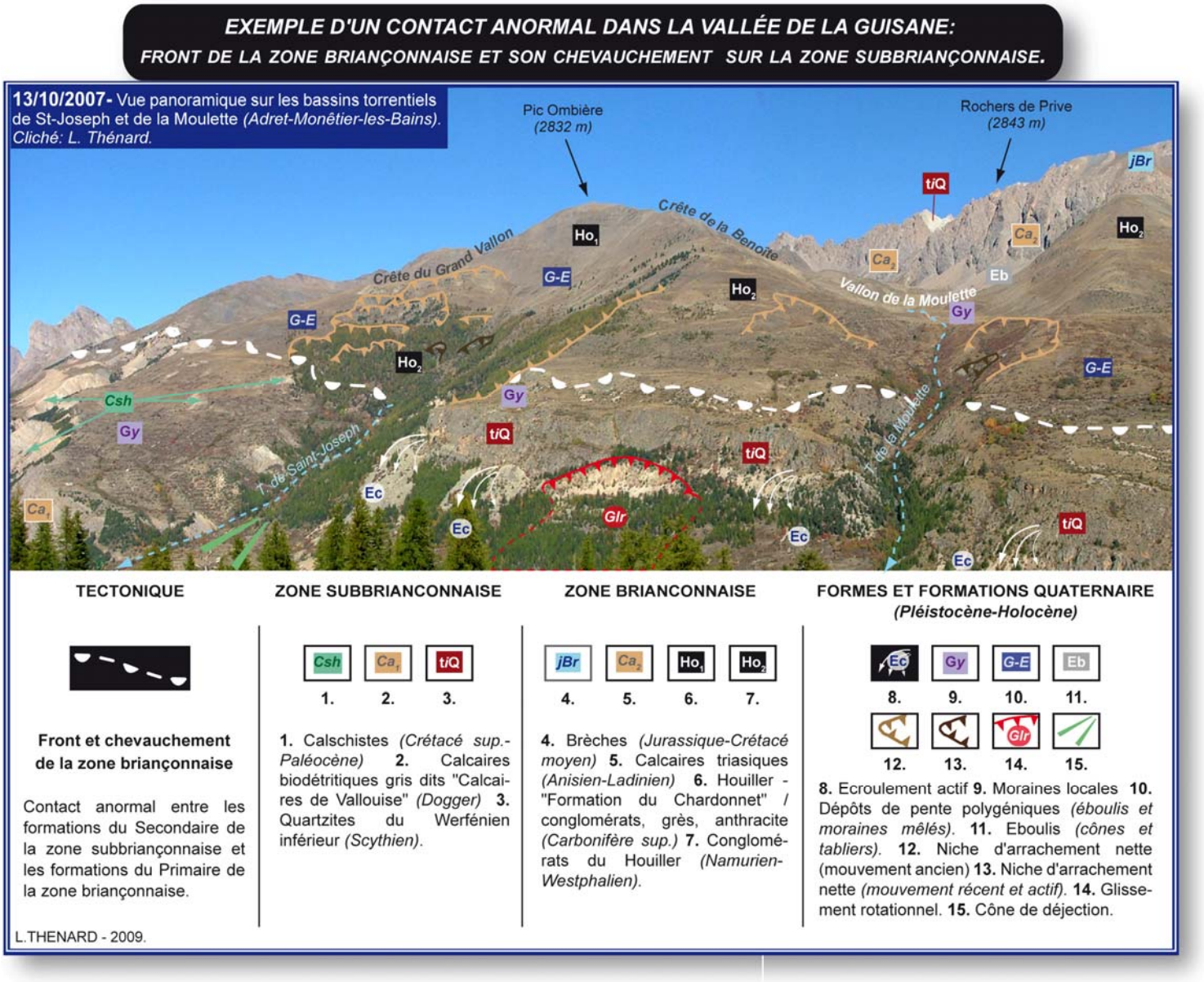


Figure 24 : Les nappes de charriage en Guisane : exemple du contact "anormal".

1.2.1.3. La zone briançonnaise.

Cette dernière grande unité structurale s'étend sur près des deux tiers de la vallée de la Guisane, à l'est d'un front de chevauchement ondoyant du Grand Galibier au nord-est de la vallée, à la crête de Roche Gauthier au sud-ouest **[Cf. Figure 22]**.

Débordant très largement le cadre de la vallée de la Guisane, la structure de la zone briançonnaise se caractérise par une disposition "en éventail" s'articulant autour d'un secteur pivot, que l'on peut approximativement localiser du col du Granon *(2404 m)* à la Croix de Toulouse *(1962 m - Briançon)* en passant par la crête de Peyrolle. Conséquence de l'exhaussement du massif de Pelvoux lors de la seconde phase de la surrection alpine (Barféty *et al*, 1995), le relief de la zone briançonnaise est intégralement incliné vers le sud sous l'effet d'un rétrocharriage tardif.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

En Guisane et à l'affleurement, le cœur de cette unité est en grande partie composé de terrains silicoclastiques du Houiller et du Permo-trias *(conglomérats, schistes, grès, charbon, etc)*, sur lesquels reposent d'épaisses séries calcaréo-dolomitiques *(Calcaires anisiens-ladiniens, dolomies, brèches du Carnien, quartzites triasiques, etc.)* du Trias moyen et supérieur et quelques minces dépôts *(calschistes, schistes noirs, etc.)* de la série du Jurassique, du Crétacé inférieur et de l'Eocène.

Le charriage a ici affecté l'ensemble de la série du Houiller et du Mésozoïque, et la tectonique a ordonné ces formations sous la forme d'une intrication relativement complexe d'écailles, de lambeaux de charriage et/ou de "planches" de décollement **[Cf. Figure 22]**. Aussi, la présence des épaisses formations du Houiller sous les terrains triasiques ou tout autre formation, a entraîné nombre de désordres géologiques ou géomorphologiques suite à leur désolidarisation. Ces terrains constituent l'essentiel de l'assise du versant de rive gauche de la Guisane, mais à l'exception des parties sommitales et de quelques ressauts structuraux, les séries du Houiller sont le plus souvent masquées par des formations superficielles quaternaires plus ou moins épaisses.

De ce point de vue, le bassin versant du torrent de Saint-Joseph témoigne largement de l'instabilité des formations superficielles, résultant de la présence du soubassement Houiller **[Cf. Figure 23]**. Ces formations du Carbonifère du Briançonnais ont d'ailleurs fait l'objet de différentes études précisant la stratigraphie et les caractéristiques des séries du Houiller dit "productif ", c'est-à-dire les niveaux charbonneux ou schisteux du Namurien et du Westphalien (Feys, 1963). A noter également que le charbon du Briançonnais est essentiellement de l'anthracite *(< à 10% de matières volatiles)* ou éventuellement du graphite.

Outre le rôle fondamental de la tectonique, l'aspect parfois chaotique des séries briançonnaises tient en grande partie à l'antagonisme de leurs propriétés mécaniques et/ou hydrogéologiques. Bien plus imperméables que les formations carbonatées sus-jacentes, le substratum Houiller fait souvent office, à l'interface et à la faveur du pendage, de surface de décollement. En comparaison des grandes unités précédentes *(dauphinoise orientale et subbriançonnaise)*, les versants constitués par les séries du Houiller apparaissent bien moins escarpés, avec une morphologie plus lourde et relativement peu contrastée (Cf.1.1.1.2).

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

Par ailleurs, cette configuration peut parfois déclencher des phénomènes de fauchages généralisés des têtes de bancs à l'affleurement *(grès, conglomérats ou schistes du Carbonifère supérieur)*. Ce qui est notamment le cas de la partie sommitale du versant de rive gauche de la Guisane, entre le col de Buffère *(2525m)* et celui du Granon *(2404m)*. En réalité, cet agencement concerne en profondeur l'ensemble de la section supérieure de la retombée méridionale du Granon *(formations sous-jacentes du Houiller conglomératiques et stériles)* et provoque en surface d'innombrables et puissants mouvements de terrain *(coulées à blocs, glissements, etc.)* plus ou moins stabilisés aujourd'hui.

De plus, cette instabilité chronique est d'autant plus renforcée que la majeure partie du versant est recouverte en surface par des formations superficielles quaternaires, généralement meubles et facilement mobilisables *(reptation, solifluxion, ravinement, etc)*. Ainsi et par exemple, le haut bassin versant du Verdarel se caractérise par une succession de mouvements de terrain actifs, régulièrement réactivés par l'affouillement torrentiel, constituant l'essentiel de la charge et de la recharge sédimentaire dans la section supérieure de son bassin (Lahousse, 1994 et 1996 ; Lahousse et Salvador, 2002).

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

1.2.1.4. *Tectonique et torrentialité.*

Egalement, la puissante tectonique ayant accompagné les différentes phases de surrection et de charriage a pour conséquence de faire ressurgir ponctuellement des terrains carbonifères au cœur des séries de la zone subbriançonnaise sous forme de klippe[18]. Citons pour exemple, la klippe de Roche Robert à proximité du col du Galibier, lame isoclinale de formations briançonnaises pincée entre le flysch et les calschistes de la zone subbriançonnaise. **[Cf. Figure 25]**.

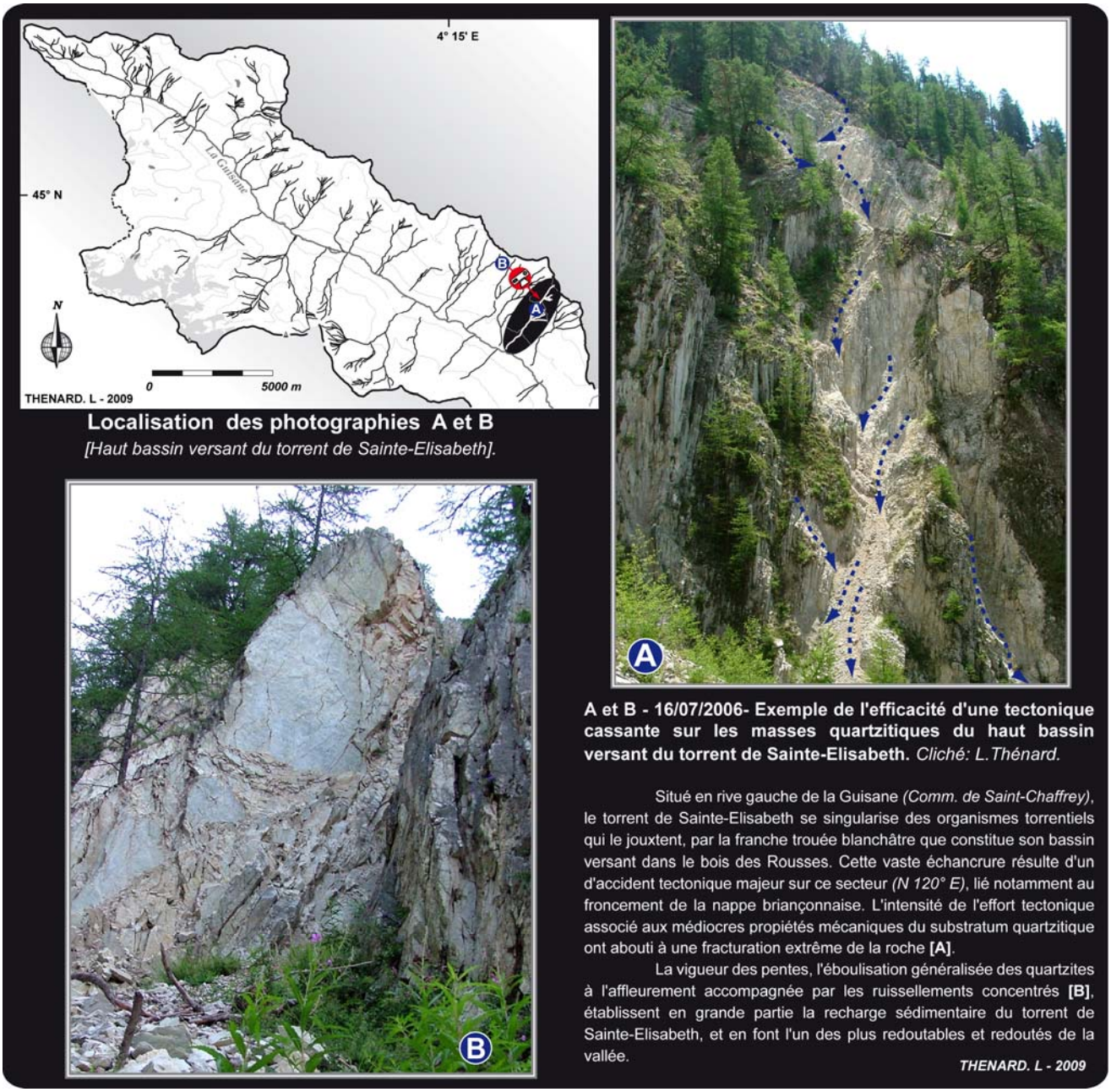


Figure 25 : Un broyage tectonique intense.

[18] Lambeau de charriage isolé de son unité d'origine *(nappe de charriage principale)*. Cet isolement est le plus souvent le fait de l'érosion (Foucault et Raoult, 1988).

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

D'autre part, la considérable énergie de l'orogenèse, a généralement abouti à une forte tectonisation de l'ensemble des séries du Briançonnais *(au sens géographique)* et plus largement de la Haute-Durance. Cela a fragilisé *(ex: par fracturation dans le cadre d'une tectonique cassante)* ou fait évolué *(métamorphisme, etc.)* nombres d'unités géologiques aujourd'hui affleurantes ou sous-jacentes. Par exemple, sur la retombée méridionale de la Croix de la Cime (2606 m), l'intensité du broyage des quartzites du haut bassin versant du torrent de Sainte-Elisabeth et leur intense éboulisation témoignent de la puissance et de l'efficacité de la tectonique sur ce secteur.

Comme nous l'avons vu, ces différents éléments se traduisent en Guisane par une relative complexité *(nappes charriées, klippes, écaillages, flysch, etc.)* et par une grande diversité des roches ou des formations superficielles

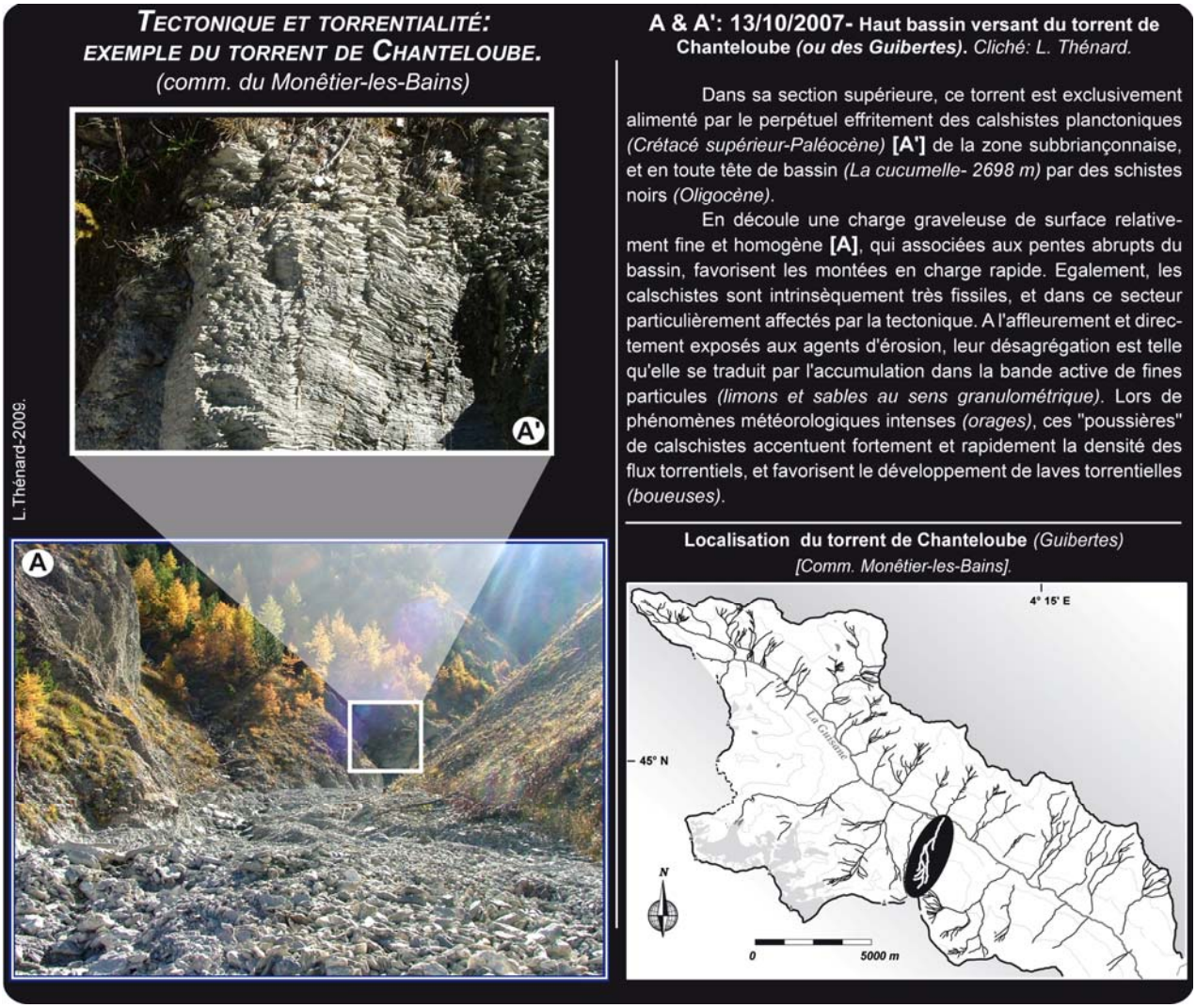


Figure 26 : Tectonique et torrentialité : exemple du torrent de Chanteloube.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

Sans s'étendre davantage on peut donc synthétiser en avançant que d'une part, ces paramètres morphostructuraux déterminent l'essentiel de la morphologie de la vallée de la Guisane et des bassins torrentiels [Cf. 1.1.3.1], et que d'autre part les formations fortement tectonisées participent activement aux morphodynamiques torrentielles, notamment en terme de recharge sédimentaire et de configuration des lits *(profils en long, caractéristiques pétrographiques et/ou granulométriques, etc.)*. Par exemple et pour ne citer qu'eux, les coulées à blocs du bassin du Verdarel *(≤ 2200m)*, l'éboulisation des Quartzites de la section supérieure du torrent de Sainte-Elisabeth ou encore le continuel effritement des calschistes *(Crétacé supérieur-Paléocène)* du torrent de Chanteloube constituent une grande partie de la charge sédimentaire de ces torrents, parmi les plus actifs de la vallée **[Cf. Figure 26]**

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

L'ACTIVITÉ MINIÈRE EN GUISANE.

Pilotés par le BRGM , des recherches poussées sur le Carbonifère du Briançonnais ont débuté dès 1944, puis se sont poursuivies durant une vingtaine d'années à des fins scientifiques et de prospectives économiques (Friedel in Feys, 1963). Par ailleurs, des études récentes se sont attachées à définir la spécificité sociologique de l'activité minière en Briançonnais (Tornatore, 2000, 2002 et 2006).

De manière ancestrale, les montagnards du Briançonnais récupéraient du charbon affleurant en surface pour leur consommation personnelle. Mais l'exploitation proprement dite de ces assises géologiques a débuté à partir du 18ième siècle avec des mines paysannes, les charbonnières, sous la forme de grattages pour le moins rudimentaires. Par suite, globalement entre 1850 et 1960, quelques installations semi-industrielles ont vu le jour.



A- Ruines aujourd'hui démantelées des installations minières de "Pierre-Grosse". *Source: Société Géologique et Minière du Briançonnais (SGMB).*

Deux méthodes étaient principalement adoptées par les paysans-mineurs:

- La première était appliquée sur les terrains dénudés de **haute altitude** où affleure directement le charbon. Le principe était simplissime puisqu'il consistait à creuser des **tranchées de 2 à 3 mètres de profondeur** en suivant les veines affleurantes ou sous-jacentes. Le ramassage s'effectuait ensuite par élargissement du sillon.

- A plus **basse altitude**, lorsque les gisements Houillers sont recouverts ou en partie masqués par des formations superficielles polygéniques *(till, éboulis dépôts de pentes, etc)*, des excavations étaient réalisées pour vérifier la qualité du filon, et en fonction, **des galeries** étaient établies. Le plus souvent ces dernières n'excédaient pas quelques dizaines de mètres de profondeur, car l'extraction s'effectuait "à dos d'hommes" et les conditions d'extraction restaient extrêmement pénibles (Feys, 1963). D'autant que, le plus souvent, les travaux de ces paysans-mineurs se réalisaient durant les saisons automnales et hivernales, afin d'assurer un étayage par le gel, lorsque le bois venait à manquer à proximité.

Vers 1850, face au caractère anarchique des premières extractions, le service des mines a institué, organisé et attribué des **concessions minières**. Vers 1950, et même si un certain nombre n'était déjà plus exploité, on dénombrait 52 concessions dans le Briançonnais *(anthracite et graphite)* **dont 22 en Guisane, soit plus de 40% des concessions attribuées**. Parmi les exploitations semi-industrielles les plus connues en Guisane, on peut citer celles des Eduits *(Massif du Prorel – basse vallée/rive droite)*, du Freyssinet ou de la Benoîte *(rive gauche/Le Monêtier-les-Bains)* qui pour certaines ont poursuivies leurs activités jusque dans les années 1960-70.



B- Exemple d'une chambre d'extraction. A noter la technique rudimentaire d'étayage en bûches de mélèzes *Source: SGMB.*



C- Entrée d'une mine paysanne sur la concession de Puy-Saint-Pierre. *Source: SGMB.*

Malgré les démarches des ingénieurs des Mines, l'activité minière n'a jamais pris une tournure franchement industrielle en Briançonnais. **Et cela, certainement parce que les mineurs chargés de l'extraction étaient avant tout des autochtones et pour la plupart des paysans**. Donc une exploitation de grande envergure les aurait contraint à sacrifier de nombreuses terres arables ou au moins fertiles, remettant en causes des siècles d'activités traditionnelles et locales. Il a été avancé que l'une des grandes spécificités des paysans-mineurs du Briançonnais était que *"la chaîne des associations au moyen desquelles les paysans et le charbon se sont simultanément inventés, concouraient à la constitution d'une « socio-nature »"* (Tornatore, 2002 et 2006).

Bien que de taille modeste, **ces activités ont fortement marqué les versants Guisanais** *(en particulier celui de rive gauche)* par le criblage des versants lors de la réalisation des tranchées ou des entrées de galeries ainsi que par les défrichements associés. **Ce qui localement n'a pas manqué d'exacerber les dynamiques torrentielles en pleine péjoration climatique du PAG** *(ex : torrents de Saint-Joseph, de la Salle, etc).*

Encadré i : L'activité minière en Guisane.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

1.3. UN CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE PARTICULIEREMENT FAVORABLE A L'ALEA TORRENTIEL.

Le cadre géomorphologique de la Guisane ayant déjà fait l'objet d'une étude poussée (Lahousse, 1994) [Cf. 1.2], cette sous-partie ne prétend naturellement pas à l'exhaustivité. En nous appuyant sur les principaux éléments de cette analyse et sur des travaux thématiquement plus ciblées (Francou, 1988 ; Cossart, 2005 ; Bodin, 2007), nous nous efforcerons de synthétiser les grandes caractéristiques géomorphologiques de la vallée de la Guisane. Il s'agit d'en appréhender globalement la diversité et surtout, l'implication des formes et formations géomorphologiques sur la torrentialité. Aussi, les aspects géomorphologiques seront abordés plus en détail, et directement intégrés dans les différentes études de cas.

L'ensemble des éléments analysés précédemment a déjà démontré à quel point la vallée de Guisane dévoilait des contrastes paysagers, liés notamment à l'imbrication de grandes unités structurales, ainsi qu'en corollaire, aux contrastes topographiques et bioclimatiques des versants. Cette diversité des paysages constitue indéniablement un atout fondamental de l'attractivité de Serre-Chevalier. Car à l'heure actuelle, les activités uniquement dédiées au ski ne suffisent plus à attirer, et plus encore, à fidéliser les populations touristiques. En ce sens et outre l'intérêt scientifique évident, le contexte géomorphologique constitue un élément primordial du "patrimoine naturel" guisanais, au moins tel qu'il est perçu de nos jours.

Ainsi, l'ensoleillement généreux, le caractère acéré et minéral du relief du Combeynot ou de la Montagne des Agneaux **[Cf. Figure 27]** répondant aux vastes alpages au nord-est du Monêtier, les glaciers et leurs émissaires, les nombreux torrents façonnant les versants et le fond de vallée, les denses mélézins d'ubac faisant face aux pinèdes d'adret, les villages traditionnels cohabitant avec les installations les plus modernes, et évidemment les conditions d'enneigement plutôt flatteuses ont sans nul doute concouru au succès et au développement de Serre-Chevalier.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

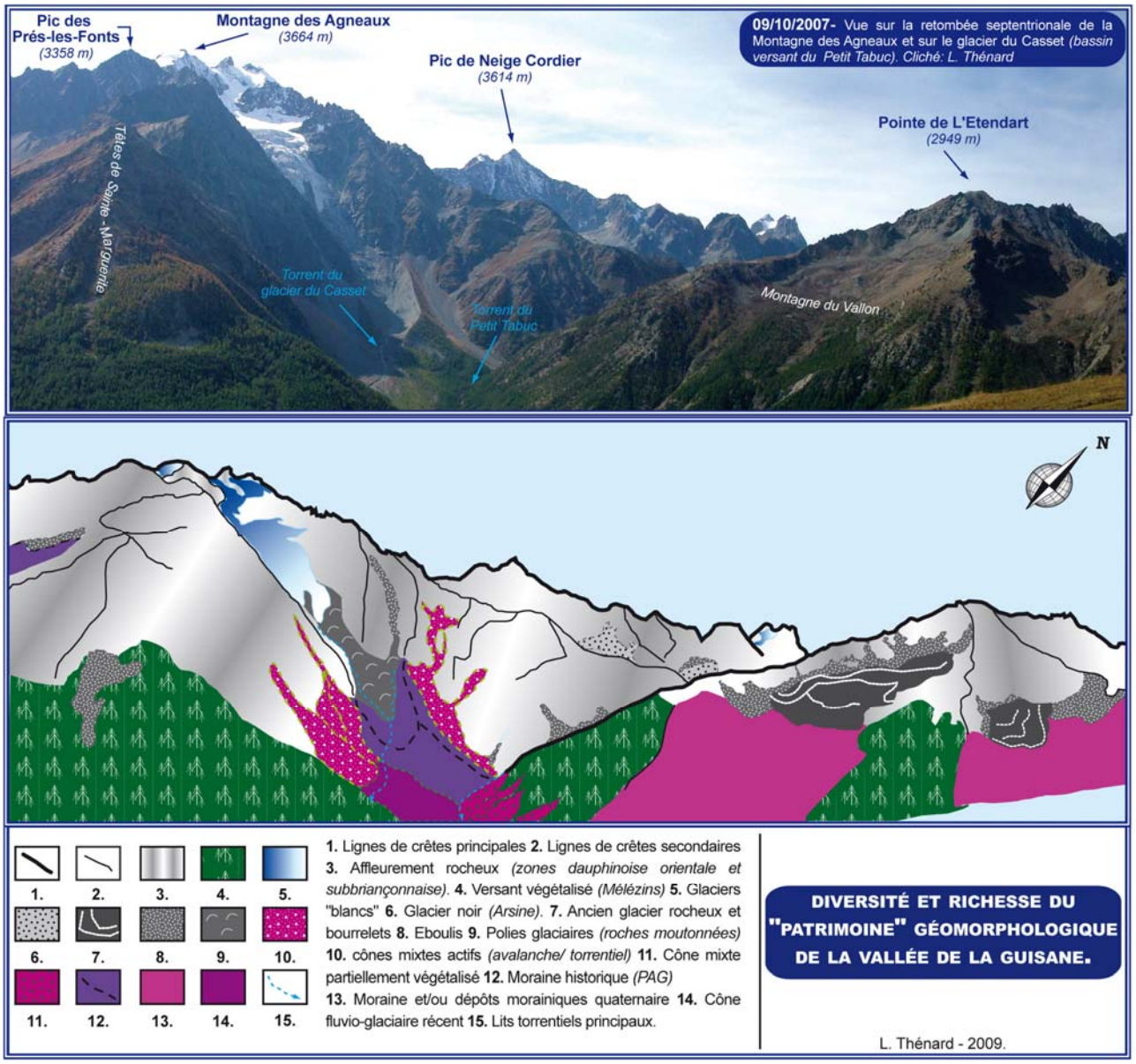


Figure 27 : Diversité et richesse du "patrimoine" géomorphologique.

L'éclectisme de ces paysages montagnards tant recherchés, et parfois idéalisés résulte de l'interaction passée et/ou actuelle de dynamiques "naturelles" régissant les versants depuis des siècles ou des millénaires. Or, cette contrepartie constitue tout le paradoxe et la "pierre angulaire" des risques naturels en montagne, puisque l'attrait pour certains territoires tient à la vigueur du relief et à la diversité de configurations paysagères généralement issues d'aléas naturels majeurs (*avalanche, mouvements de terrain, crues torrentielles, etc.)*, impliquant donc parfois de s'y exposer ! D'autant qu'en dehors des évènements paroxystiques, les évolutions des phénomènes ou des processus naturels, et notamment géomorphologiques, ne sont que rarement perceptibles à l'échelle d'une génération humaine. Aussi, l'immédiateté et l'importance des enjeux socio-économiques peuvent occulter autant physiquement que dans les esprits, un aléa potentiel mais pourtant bien réel. Dans ce cas, l'éventuelle prise de conscience d'une vulnérabilité a été, est, ou sera généralement brutale et/ou douloureuse.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

1.3.1. Des héritages glaciaires prépondérants.

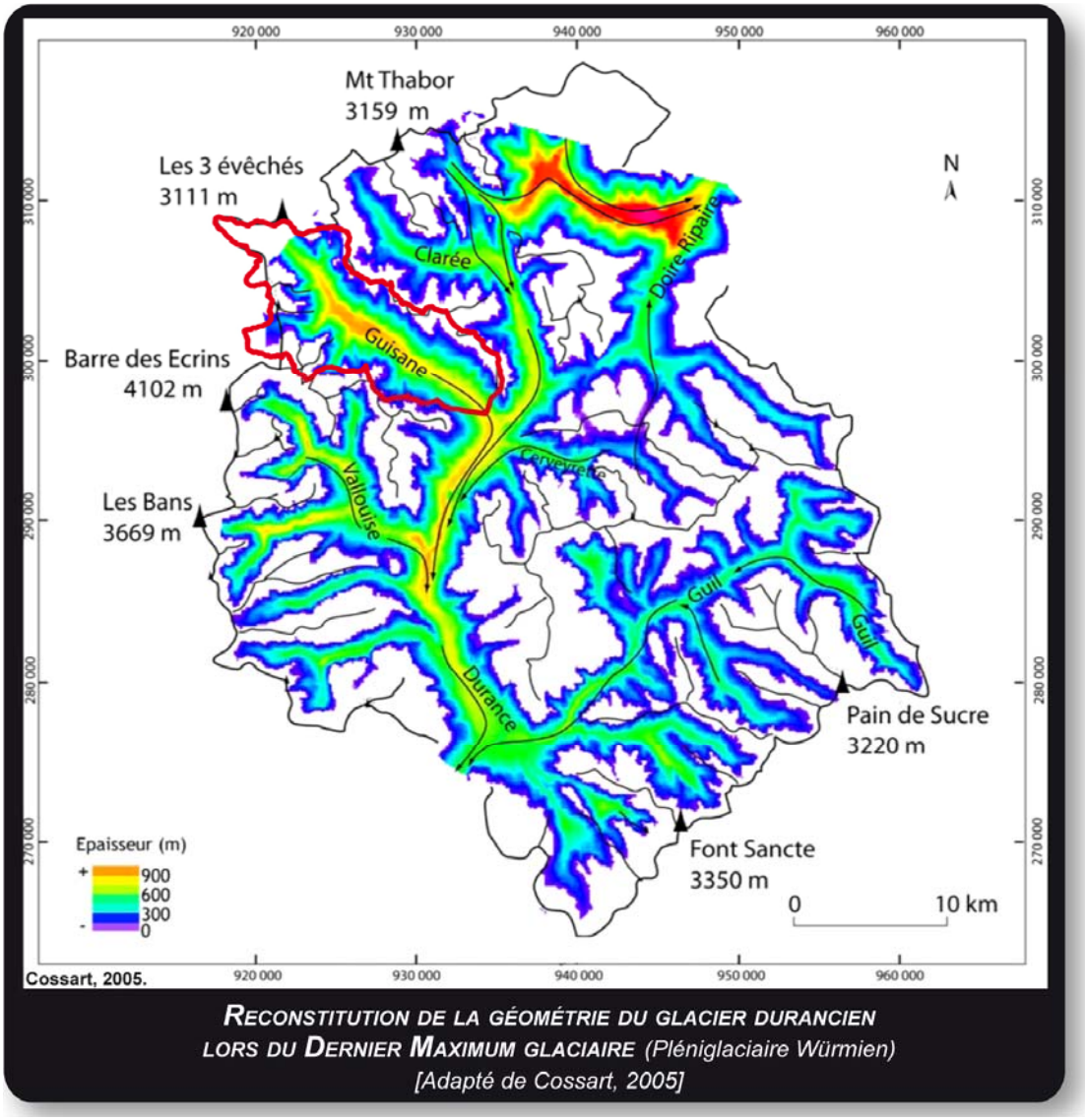
A l'instar de bien d'autres hautes vallées intra-alpines, la Guisane demeure profondément et visiblement marquée par l'empreinte des glaciations quaternaires, et de manière plus franche mais spatialement plus limitée, par les variations morphoclimatiques ayant jalonné le Tardiglaciaire et l'Holocène. Dans cette vallée, la puissance et la nature des modelés issus des glaciations quaternaires sont variables, mais ces derniers se rencontrent sur la presque totalité du linéaire et à presque toutes les altitudes; à l'exception des cimes et de certaines lignes de crêtes pour lesquelles l'énergie des pentes ainsi que la permanence de la sévérité climatique de haute altitude interdisent le maintien durable de formations superficielles.

1.3.1.1. Les grands traits de la Guisane lors du Dernier Maximum Glaciaire.

Les dernières grandes phases de glaciation *(Riss et Würm)* se sont traduites par des englacements durables de l'ensemble des vallées du Briançonnais *(Guisane, Clarée, Vallée étroite, Cerveyrette, Durance, Gyronde, etc)*, et plus largement de la haute Durance **[Cf. Figure 28]**. Morphologiquement et même si des réajustements parfois importants se sont opérés depuis, la Guisane demeure aujourd'hui profondément marquée par ces grandes glaciations. Comme nous l'avons évoqué précédemment [Cf. 1.1.1], et comparativement aux autres vallées affluentes du Briançonnais, la vallée de la Guisane se présente globalement comme une large auge glaciaire au profil longitudinal relativement doux et assez peu contrasté. Malgré l'alluvionnement massif et conjoint du fond de vallée par la rivière et les torrents, il est néanmoins possible d'individualiser un vaste ombilic, localisé approximativement entre les hameaux du Casset et celui des Guibertes.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr



RECONSTITUTION DE LA GÉOMÉTRIE DU GLACIER DURANCIEN LORS DU DERNIER MAXIMUM GLACIAIRE *(Pléniglaciaire Würmien)*
[Adapté de Cossart, 2005]

Figure 28 : Reconstitution de la géométrie du glacier durancien lors du DMG (Pléniglaciaire Würmien)

Evidemment lors de ces périodes, l'englacement n'a pas toujours été généralisé à l'ensemble de la Haute-Durance, avec des phases interstadiaires durant lesquelles certaines vallées, dont la Guisane, ont été au moins partiellement libérées des glaces permettant parfois les reconquêtes végétales spontanées. A ce propos, des études relativement récentes réalisées sur des travertins carbonatés[19] *(datations U/Th[20])* ont démontré qu'ils s'étaient formés lors d'interstadiaires würmiens. Ils constituent aujourd'hui une grande partie du soubassement du Monêtier-les-Bains.

[20] Célèbres bien au-delà des limites communales, aisés d'extraction et de taille, les tufs du Monêtier ont été largement exploités pour la construction, notamment le bâti. Par exemple, l'église Notre-Dame de l'Assomption du Monêtier, édifiée au 15ième siècle, a presque été intégralement réalisée dans ses travertins.

[20] Datation Uranium (*U234 et U238)* / Thorium *(Th230 et Th 232)*.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

De 0,2 à plus de 10 mètres d'épaisseur, cet entablement travertineux du Monêtier doit son existence à la présence de sources hydrothermales fortement minéralisées *(La Rotonde et Fond chaude).* En dehors des phases paroxystiques d'englacement würmien, l'émergence de ces sources d'eaux chaudes a abouti par décompression et cristallisation, à une importante accumulation de concrétionnements calcaires. Ainsi, des fragments végétaux ont pu être recueillis, analysés, et datés de 19 090 BP ± 260, selon la méthode plus traditionnelle du radiocarbone [^{14}C] (Chardon, 1993 ; Barfety et al, 1995). Ils attestent que dès le Tardiglaciaire, la haute vallée de la Guisane était désenglacée et le fond de vallée manifestement végétalisé.

Par ailleurs, d'autres datations *(U/Th)* ont permis d'identifier deux interstadiaires würmiens en concordance avec certaines analyses comparables effectuées dans les Alpes du nord (*Monjuvent, 1978 ; Mandier, 1988 in:* Chardon, 1993). Prélevé dans la partie supérieure des tufs, le premier échantillon *(loc : "Vie de Clare")* se place vers 36 400 BP *(+ 5300 / - 5100)* entre les paroxysmes glaciaires de 45 000 BP et 25 000 BP. Identifié dans les couches inférieures des travertins *(loc: Turière),* l'autre interstadiaire daterait de 57 000 BP. Mais cette valeur reste approximative car avec +11 800 BP / -10 200 BP, la fourchette d'incertitude est cette fois bien plus large. Néanmoins, on peut supposer que cette section travertineuse s'est formée entre les avancées glaciaires de 60 000 BP et 45 000 BP, reconnues par ailleurs. Si les phases d'englacements würmiens demeurent fortement ancrées dans les paysages guisanais, force est de constater que l'on ne peut appréhender cette période comme une glaciation linéaire et continue. Les héritages les plus visibles actuellement étant dans leur grande majorité affiliés aux derniers maximums du Pléniglaciaire, et surtout aux fluctuations morphoclimatiques du Tardiglaciaire ainsi qu'évidemment à celles de l'Holocène.

D'autre part, les sondages réalisés ont mis en évidence un niveau de comblement alluvionnaire *(argiles et graviers)* sous la section inférieure des travertins. Compte tenu des analyses précédentes, cela tendrait à prouver que la vallée de la Guisane était plus profondément creusée à 60 000 BP qu'aujourd'hui. Autrement dit, les grands traits morphologiques de la vallée étaient pour l'essentiel fixés antérieurement aux poussées glaciaires du Würm moyen et récent ; l'abrasion glaciaire n'ayant pas eu raison des tufs du Monêtier, alors que ces derniers sont par définition peu résistants à toute forme d'érosion mécanique.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

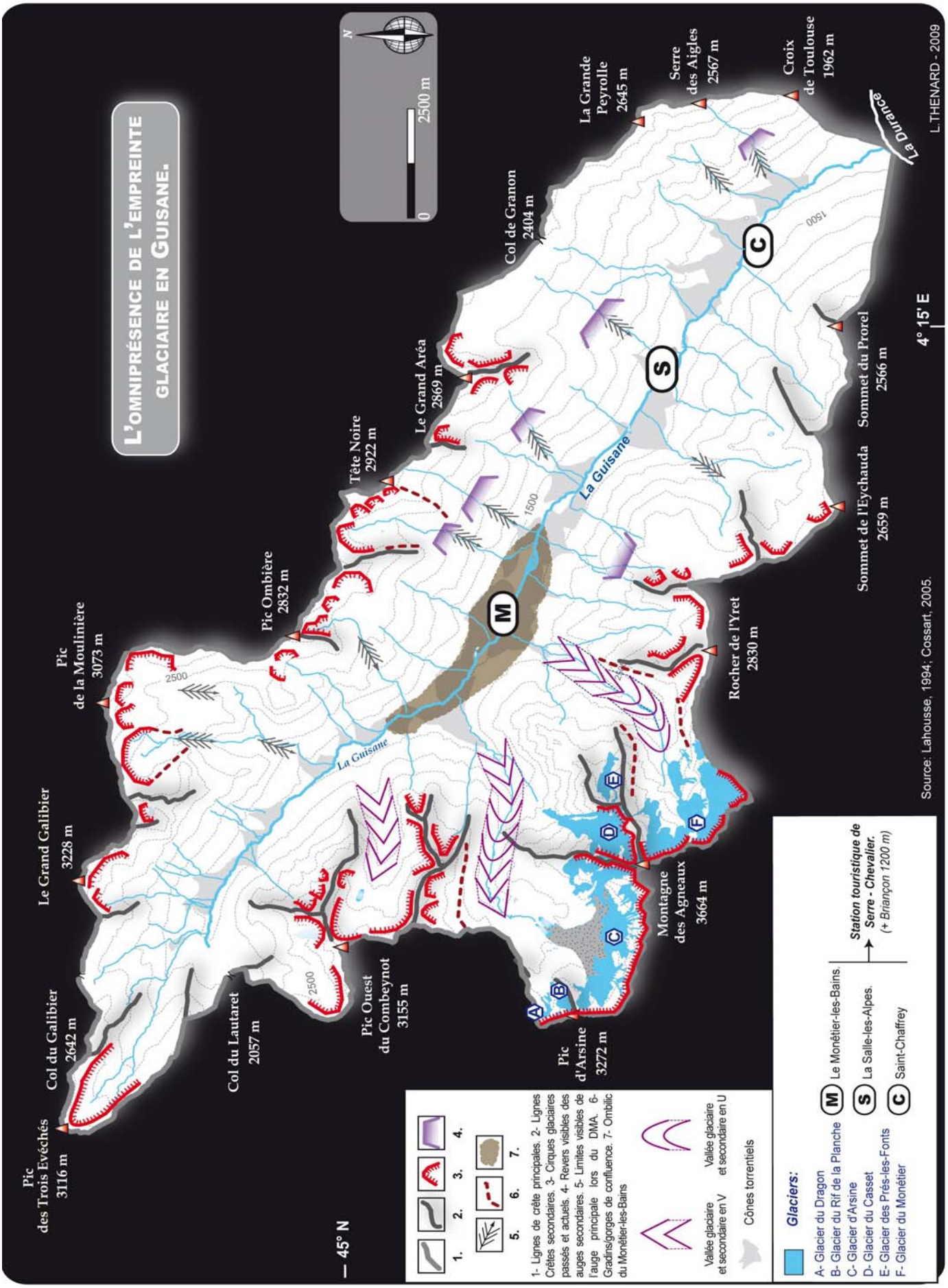


Figure 29 : Une empreinte glaciaire omniprésente.

© 2011 Tous droits réservés.

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

Rappelons néanmoins que les caractéristiques morphométriques de cette vallée ont avant tout une origine structurale, liées notamment aux chevauchements successifs des nappes de charriage [Cf. 1.1.3]. Compte tenu de l'instabilité ancienne et notoire des séries du Carbonifère et/ou des formations superficielles de cette vallée, la reconnaissance de la limite supérieure de l'auge glaciaire se révèle bien souvent une délicate et épineuse entreprise. En particulier dans sa dimension transversale car durant les stades paroxystiques des glaciations quaternaires, le glacier a naturellement "repris" la configuration initiale de la vallée, ne faisant qu'accentuer et remodeler par son action abrasive les nombreux replats structuraux préexistants. Compte tenu de la puissance des langues secondaires latérales et de l'énergie du relief, les épaulements hérités du glacier principal de la Guisane sont d'ailleurs presque inexistants en rive droite. En rive gauche, ils apparaissent de manière fragmentaire mais un peu plus fréquemment, dans une tranche altitudinale variant de 1900 à 2300 mètres. **[Cf. Figure 29]**

En l'état actuelle des connaissances, et en se basant sur des héritages glaciaires directs *(blocs erratiques)* ou indirects *(gradins/gorges de confluence)*, relativement fiables car n'ayant peu ou pas évolués, il est tout de même possible d'avancer que l'épaisseur minimale du glacier de la Guisane au cours du dernier maximum glaciaire würmien variait de 700 mètres à 900 mètres dans la vallée, atteignant même 950 mètres à la confluence avec la Durance (Cossart, 2005).

Cette hypothèse s'appuie essentiellement sur les limites supérieures des gradins de confluence qui jalonnent les versants, ainsi que sur l'altitude maximum de blocs erratiques, par définition allochtones. Pour ces derniers, l'analyse pétrographique démontre qu'il s'agit de blocs de gneiss et de granites provenant dans leur grande majorité de la Montagne des Agneaux et du Combeynot, voire de rares grès quartzitiques de la zone externe (Barféty et al, 1995). Les dépôts les plus élevés se rencontrent aux environs de 2300 mètres que se soit en rive droite ou en rive gauche. Aussi, leur nature suggère que la majeure partie des flux glaciaires provenait de la rive droite, c'est-à-dire des môles cristallins des Agneaux et du Combeynot.

Sans nul doute incontestable, cette affirmation doit néanmoins être complétée et étayée par d'autres indices géomorphologiques. En particulier, ceux directement corrélés aux contrastes d'exposition, car ils constituent un des paramètres fondamentaux des dynamiques glaciaires passées et actuelles de cette vallée. On observe effectivement une franche opposition dans la morphologie des vallons latéraux façonnés par les glaciers du Pléistocène.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

Ainsi, le versant de rive droite *(ubac)* se caractérise par la présence de trois imposantes[21] auges glaciaires particulièrement encaissées, correspondant aujourd'hui aux vallons de Fontenil, du Petit et du Grand Tabuc. L'encaissement de ces talwegs est si prononcé qu'il est comparable à celui de la vallée principale, témoignant ainsi de l'importance des flux glaciaires et surtout de la puissance érosive de ces organismes. Vestiges des puissants organismes quaternaires et malgré une tendance générale au recul, le maintien actuel des glaciers du Monêtier, du Casset, et d'Arsine confirme le rôle primordial de leur exposition, donc de l'orientation du relief.

En vis-à-vis, l'empreinte géomorphologique des glaciations passées se distingue sensiblement des cas précédemment évoqués. Sur le versant d'adret, les héritages les plus visibles s'apparentent généralement à des vallons perchés se refermant vers l'amont sous forme de cirques et rejoignant la vallée principale par l'intermédiaire de gradins de confluence et/ou de gorges de raccordement. Dans la section supérieure de ces vallons, les parois initialement abruptes sont aujourd'hui souvent adoucies par de vastes tabliers d'éboulis, et parfois même partiellement réglées *(± 33°)*. Largement libérées des glaces, ces auges glaciaires apparaissent également nettement moins encaissées que leurs homologues d'ubac, alors qu'elles s'inscrivent majoritairement dans les terrains du Carbonifère. Le moindre encaissement de ces vallons amène logiquement à conclure que l'efficacité de l'affouillement glaciaire *"est fonction du volume et de la puissance respective des appareils glaciaires"* (Lahousse, 1994). Ceci s'explique essentiellement par des conditions d'alimentation glaciaire moins favorables que sur le versant opposé *(altitudes moyennes moins élevées, situation d'adret)*. Associée à la diversité paysagère déjà mentionnée, l'exposition favorable au maintien du manteau neigeux est à l'origine de l'établissement et du développement du domaine skiable de Serre-Chevalier sur le versant d'ubac.

Ces constatations corroborent donc l'hypothèse d'un apport glaciaire provenant majoritairement de la rive droite depuis les massifs du Combeynot et de la Montagne des Agneaux lors du dernier maximum glaciaire *(Würm)*.

[21] Ce terme n'a ici aucune valeur quantitative et ne s'inscrit ici que de manière subjective, en comparaison des différentes auges glaciaires secondaires de la vallée, notamment celles de rive gauche.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr
Thèse L. Thénard, 2009 – Laboratoire TVES ; Université Lille 1- Sciences et Technologies de Lille.

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

1.3.1.2. Les héritages morpho-sédimentaires postérieurs au Dernier Maximum Glaciaire Alpin (DMA).

En dehors, des formations héritées des grandes phases de la glaciation Würmienne, la vallée de la Guisane recèle un grand nombre de dispositifs morpho-sédimentaires édifiés ultérieurement au DMA. Ces modelés se localisent essentiellement dans d'actuels vallons latéraux de la moyenne et basse vallée de la Guisane. Le plus souvent, il s'agit de cordons morainiques successifs, relativement préservés des agents érosifs, et donc particulièrement visibles dans les paysages de cette vallée. Les plus remarquables et les plus facilement identifiables sont probablement les systèmes morainiques des Prés-les-Fonts et du vallon du Fontenil situés sur les retombées orientales respectives de la Montagne des Agneaux et du Combeynot.

En réalité, il est fort probable que les fluctuations climatiques du Tardiglaciaire et de la première moitié de l'Holocène aient été plus nombreuses et plus complexes que ne laissent supposer les seules formes toujours visibles aujourd'hui. Nonobstant les dernières remarques, cinq "paliers" glaciaires ont été identifiés jusqu'à présent et s'inscrivent dans le paysage guisanais comme autant de témoins géomorphologiques de la déglaciation de la vallée. Cette dernière a manifestement débuté avant et à l'amorce du Tardiglaciaire (Francou, 1981 et 1988 ; Chardon 1993 ; Lahousse, 1994, Cossart, 2005). A ce sujet, les datations réalisées sur les accumulations travertineuses du Monêtier-les-Bains confirment et précisent cette chronologie d'un désenglacement précoce du fond de vallée, puisque des fragments organiques ont été datés de 19 090 BP ± 260 [Cf. 1.1.4.1.1]. Cette dernière datation est également en concordance avec des analyses essentiellement chronostratigraphiques réalisées dans les Alpes du Sud *(Bassin de la Bléone)*. Ces investigations attestent que la dernière partie du Pléniglaciaire würmien dans les Alpes méridionales se caractérise *"par deux périodes de progression glaciaire de vallée séparées vers 19 000 BP par un interstade que souligne une phase de pédogenèse"* (Jorda et Delibrias, 1981).

De même, le désenglacement des vallées principales dès la fin du Pléniglaciaire ne semble pas spécifique aux Alpes du Sud, puisque des approches palynologiques ont permis de mettre en évidence certaines analogies spatio-temporelles dans des vallées alpines plus septentrionales (Coûteau et Evin, 1981).

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

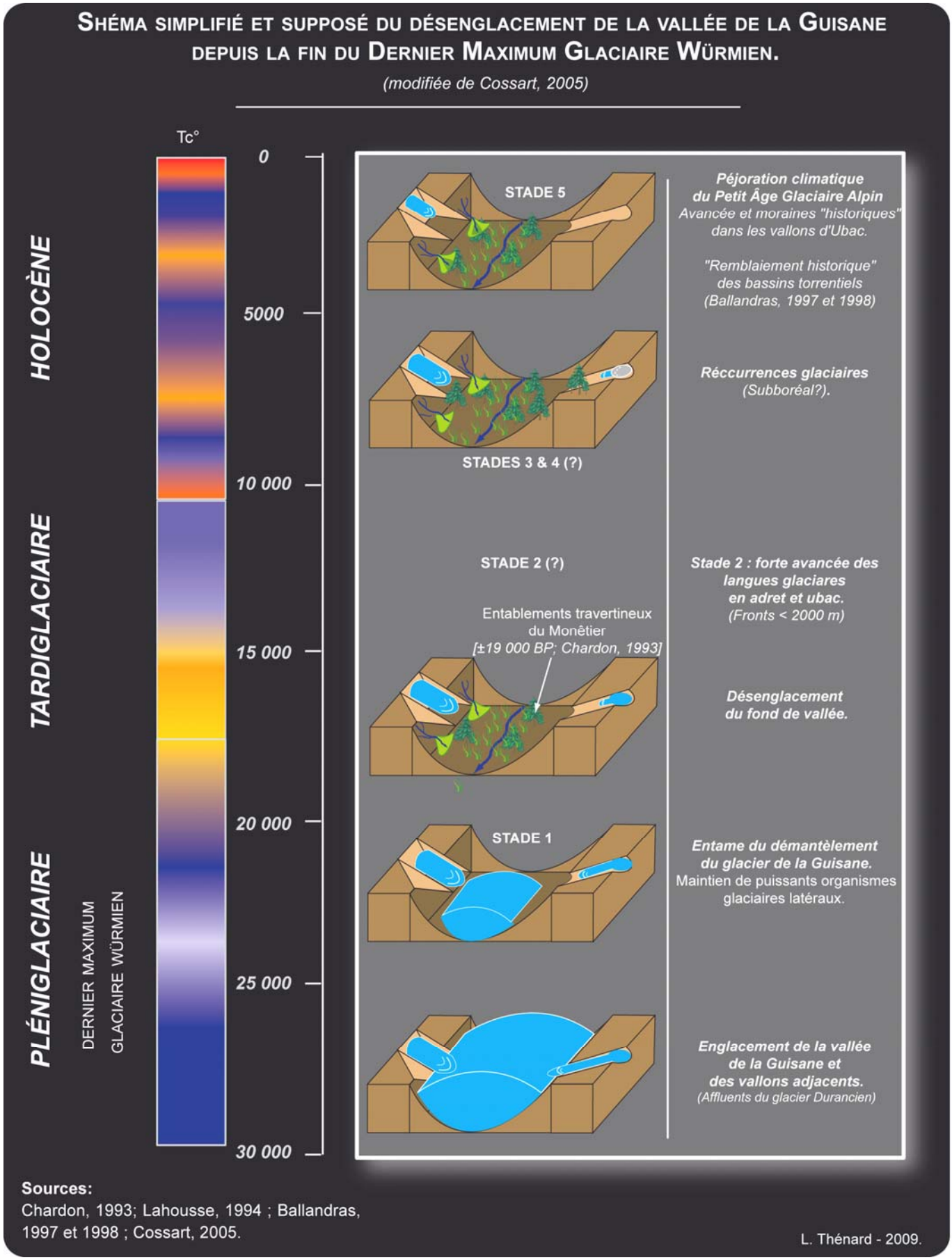


Figure 30 : Schéma simplifié et supposé du désenglacement de la vallée de la Guisane depuis la fin du DMG

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

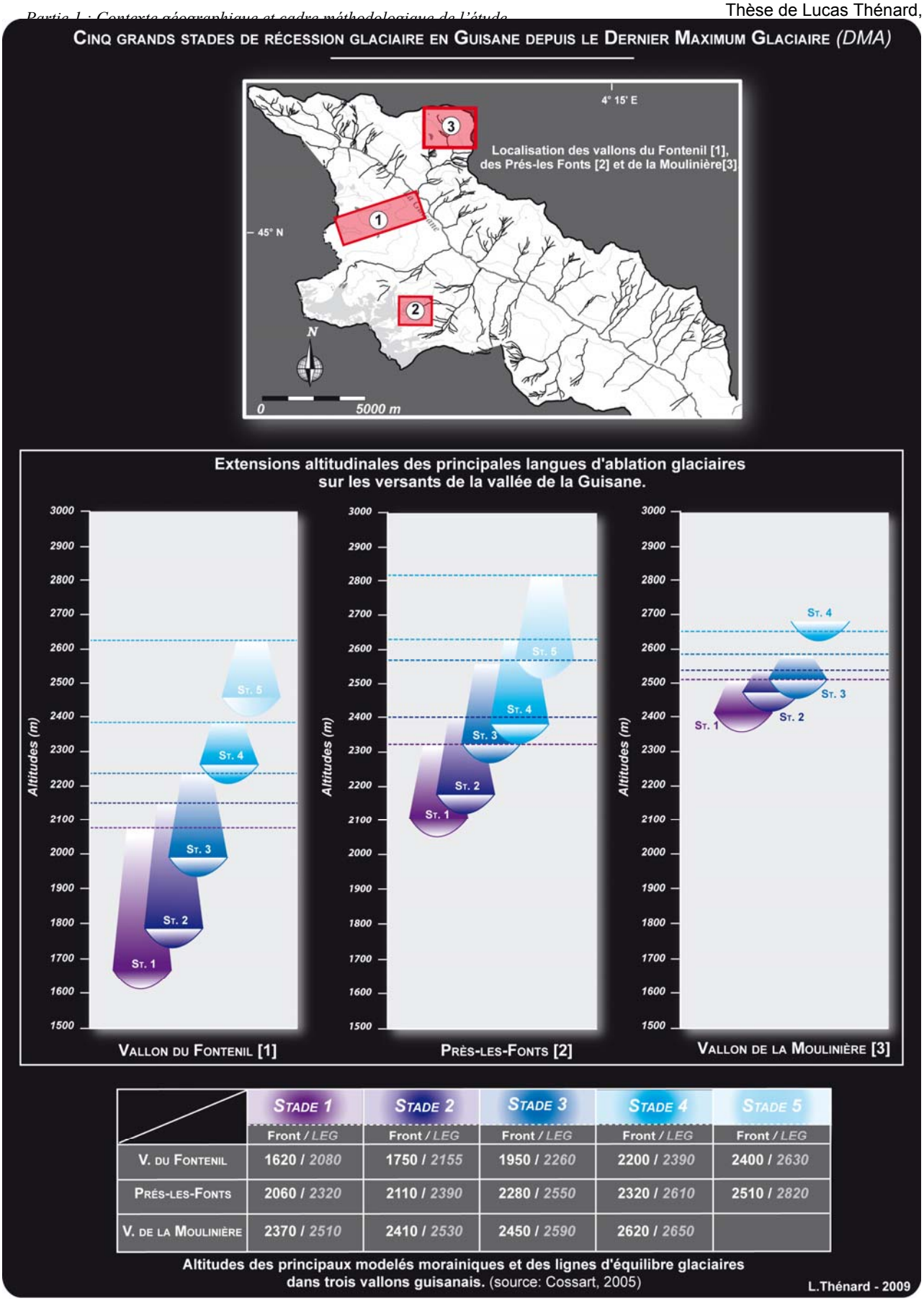
En Guisane et en l'absence de datations absolues suffisamment nombreuses et variées, l'établissement d'une chronologie précise des dispositifs morpho-sédimentaires les plus anciens demeure une entreprise délicate. Néanmoins, les travaux réalisés ces dernières décennies en Guisane ont mis en évidence cinq grands stades de récurrence glaciaire (Francou, 1981 et 1988 ; Lahousse, 1994 ; Cossart, 2005), établis par calage avec à des modèles d'évolution établies dans d'autres vallées alpines **[Cf. Figures 30 & 31]**:

- Le **stade 1** est le plus ancien et fait suite au désenglacement du fond de vallée. Il est probablement contemporain d'une crue glaciaire puis d'une phase de stagnation au plus tard pendant le Dryas ancien *[Dryas I]* (Francou, 1981). Si le fond de vallée était libéré des glaces dès la fin du dernier maximum glaciaire Würmien, de puissants glaciers occupaient encore les actuels vallons latéraux d'ubac ou les cirques adjacents d'adret. Certains atteignaient ou obstruaient même en partie le fond de vallée. L'exemple le plus éloquent est probablement celui du vallon de Fontenil, car il dévoile une remarquable succession de cordons morainiques frontaux dont le plus avancé, et sans nul doute le plus ancien, repousse la rivière principale vers le versant opposé et la contraint à effectuer une large courbe. Abrités des crues les plus fréquentes de la Guisane, les hameaux de Fontenil et de la Boussarde sont d'ailleurs implantés sur ces dépôts fini-würmiens. Lors de ce premier stade et en accord avec d'autres observations faîtes dans cette vallée ou dans les vallée limitrophes (Edouard, 1979), le front glaciaire du Fontenil atteignait 1600 mètres d'altitude. Aussi, la ligne d'équilibre glaciaire *(LEG)* devait probablement s'établir entre 2100 et 2000 mètres (Cossart, 2005). De la même manière, cinq générations morainiques ont été identifiées dans le vallon des Prés-les-Fonts. Cette fois le modelé le plus avancé se localise vers 2100 mètres d'altitude. Une nouvelle fois, le synchronisme temporel avec le stade 1 du Fontenil apparaît difficile à avancer, mais compte tenu de l'altitude moyenne du cirque des Prés-les-Fonts et du front glaciaire *(2050 m)*, cette moraine frontale a probablement été édifiée au plus tard durant le Tardiglaciaire. Sans autre élément, il demeure impossible de préciser la chronologie du retrait glaciaire sur ce secteur. Hormis ces quelques exemples pour lesquelles les stades glaciaires successifs sont remarquablement individualisés, il existe en Guisane bien d'autres empreintes géomorphologiques que nous relions au stade 1 ou au moins au stade ayant directement succédé au désenglacement de la vallée principale. En raison des éléments évoqués précédemment, **cette époque est manifestement antérieure au Tardiglaciaire.** Cette affirmation s'appuie également sur leur localisation à basse altitude, sur leur ampleur, ainsi que sur leur degré de pédogenèse ou d'érosion.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009



	STADE 1	STADE 2	STADE 3	STADE 4	STADE 5
	Front / LEG	Front / LEG	Front / LEG	Front / LEG	Front / LEG
V. DU FONTENIL	1620 / 2080	1750 / 2155	1950 / 2260	2200 / 2390	2400 / 2630
PRÉS-LES-FONTS	2060 / 2320	2110 / 2390	2280 / 2550	2320 / 2610	2510 / 2820
V. DE LA MOULINIÈRE	2370 / 2510	2410 / 2530	2450 / 2590	2620 / 2650	

Figure 31 : 5 grands stades de récession glaciaire en Guisane depuis le DMG (Würm)

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

- En raison de la proximité spatiale avec les cordons morainiques antérieurs, le **deuxième niveau stadiaire** s'est probablement constitué au Tardiglaciaire *(Dryas I ou II ?)*. Il est aisément identifiable dans les vallons des Prés-les-Fonts et du Fontenil puisqu'il s'insère logiquement entre les stades 1 et 3. Sur le site des Prés-les-Fonts, les moraines de stade 2 recouvrent en partie celle du stade 1, témoignant ainsi d'une forte récurrence glaciaire fini-würmienne. A noter que les quatre premiers stades, y compris le second, se retrouvent également dans le **vallon de la Moulinière** *(haut bassin versant du torrent du Rif)*. L'altitude de ses moraines stadiaires, donc des fronts glaciaires est nettement supérieure aux dispositifs morainiques évoqués au préalable. Aussi, l'énergie des modelés est cette fois plus modeste et les cordons morainiques apparaissent spatialement bien plus rapprochés. Cette observation confirme donc que l'efficience de l'érosion glaciaire est directement fonction de la puissance des flux de glace.

Ce qui à l'évidence, dans le vallon de la Moulinière, est à relier aux conditions d'exposition de ce site, indéniablement moins favorables à l'alimentation glaciaire que ces homologues d'ubac. Même s'il faut objecter que la charge sédimentaire transportée puis déposée par les glaciers dépend également du contexte morphostructural dans lequel ils s'inscrivent. Par exemple, les volumes supraglaciaires provenant des parois surplombantes soumises à gélifraction varient fortement en fonction de leur nature et/ou de l'énergie du relief. Pour autant dans le vallon de la Moulinière, l'influence de l'exposition semble peu sujette à caution puisque les lignes d'équilibre glaciaire calculées pour les deux premiers stades, respectivement 2510 et 2530 mètres, apparaissent franchement supérieures à celles estimées en ubac **[Cf. Figure 31]**.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

- Les stades **3**, **4** et **5** semblent cette fois s'être constitués durant l'Holocène, même si pour les deux premiers la chronologie demeure très approximative *(subboréal ?)* et doit encore être déterminée précisément. Dans les vallons latéraux d'ubac, les modelés les plus aisément identifiables sont logiquement les plus récents, ce qui dans cette vallée correspond le plus souvent aux accumulations et édifices morainiques de la péjoration climatique **du Petit Âge Glaciaire Alpin** *(PAG)*, constituant donc **le stade 5**. D'imposants dispositifs morainiques "historiques" se rencontrent quelques centaines de mètres en aval des glaciers actuels, témoignant ainsi des dernières avancées et stagnations de cette période. Empiriquement, ces moraines sont aisément attribuables au PAG en raison de leur ampleur, de leur altitude, de leur excellente conservation, de leur faible degré de pédogenèse et donc de leur piètre végétalisation.

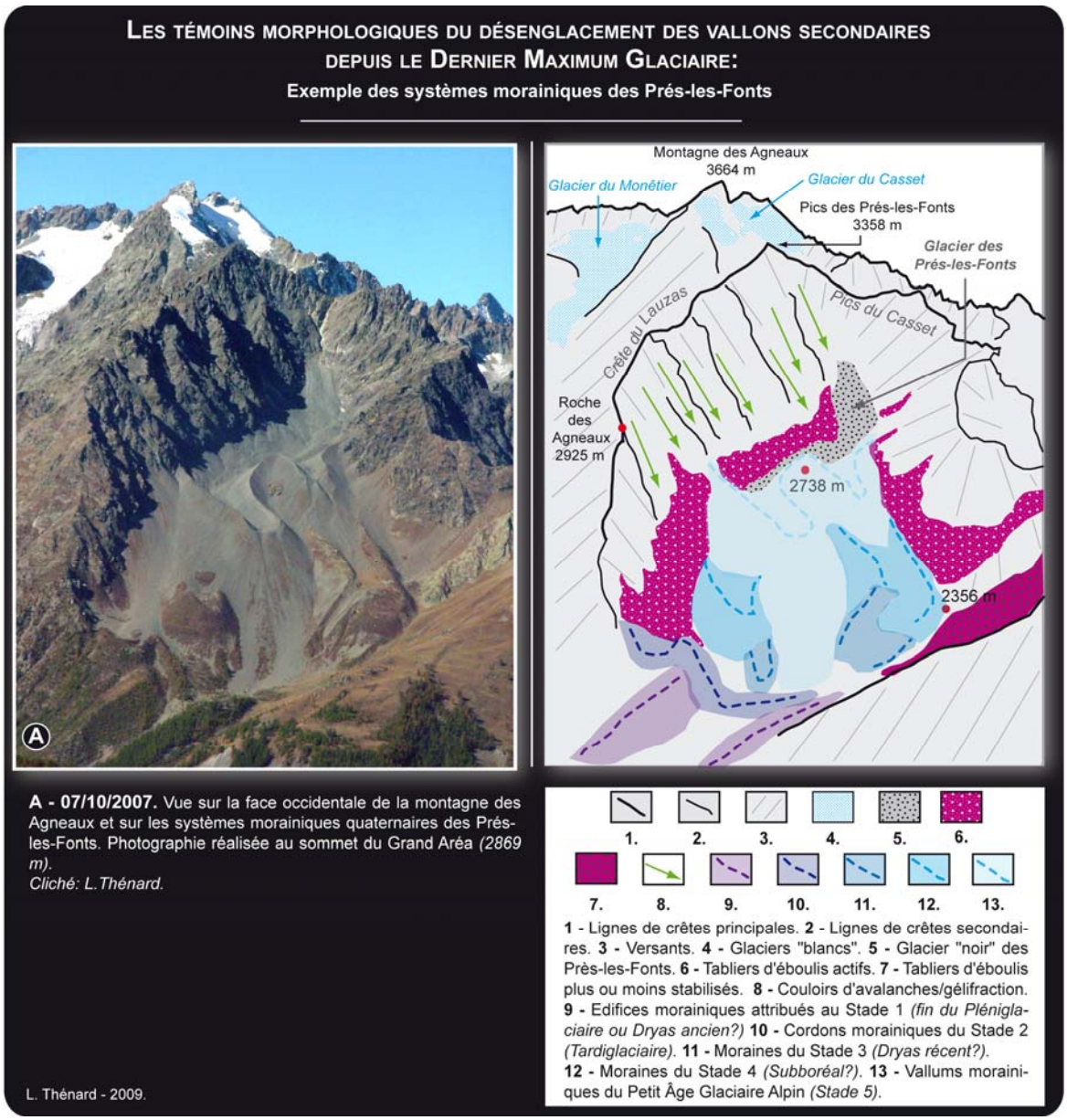


Figure 32 : Témoignages morphologiques du désenglacement des vallons secondaires : Exemple des Prés-les-Fonts.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

1.3.1.3. L'influence des récurrences glaciaires PAG et contemporaines.

Le carcan détritique que forment les moraines juxta et proglaciaire du glacier noir d'Arsine est l'une des empreintes les plus emblématiques des héritages PAG de la vallée, mais aussi des Alpes méridionales. Sa singularité tient tant à l'inhabituelle uniformité de ces modelés qu'à leur étonnante envergure comparativement à la modeste taille de cet organisme **[Cf. Figure 32]**. En effet, avec un commandement compris entre 100 et 150 mètres le vallum frontal d'Arsine est sans doute l'élément le plus original de ce glacier (Vivian, 1975). En outre, le maintien d'un tel édifice morpho-sédimentaire traduit son impuissance contemporaine à déblayer les dépôts glaciaires antéposés [Cf. 2.4.2.3].

De volumineux édifices détritiques latéraux érigés lors du PAG se rencontrent également à plus de 600 mètres du front principal et occidental du glacier du Casset. Aussi et à l'instar d'Arsine ou du Casset, un dispositif morainique historique se dévoile en aval du glacier du Monêtier **[Cf. Figure 34]**, mais il apparaît cette fois un peu plus complexe car plus dégradé. Néanmoins, les moraines PAG de ces deux organismes présentent des spécificités comparables, notamment une dissymétrie marquée des moraines latérales. En effet, les puissants modelés sénestres contrastent, en comparaison, avec une certaine atrophie des moraines de rive droite. Une nouvelle fois dans cette vallée, le rôle de l'exposition apparaît fondamentale dans les morphodynamiques glaciaires et périglaciaires.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

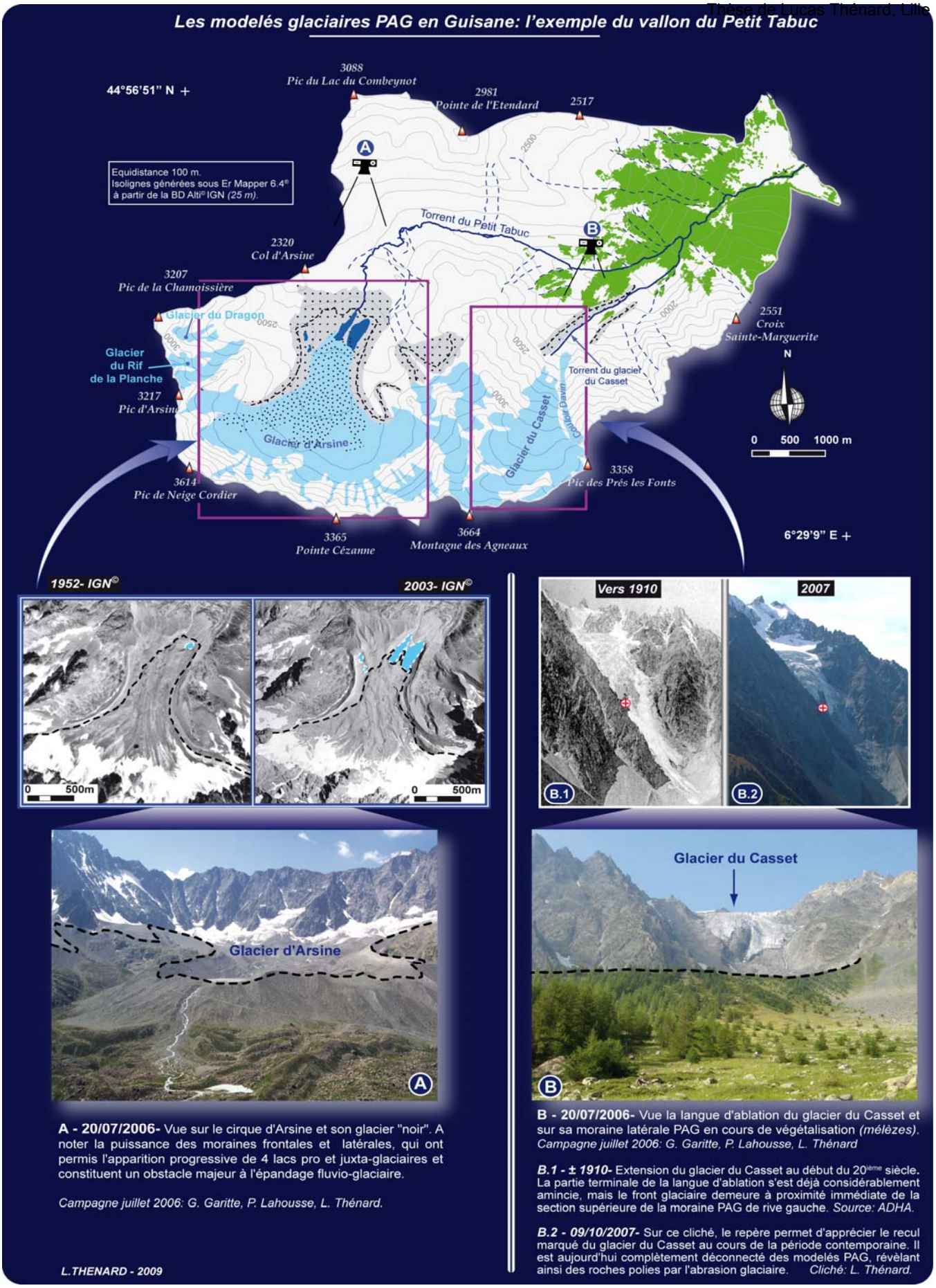


Figure 33 : Les modelés glaciaires PAG en Guisane : exemple du vallon du Petit Tabuc.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Situé sur le versant d'ubac, et confluant avec la Guisane juste à l'amont du Monêtier-les-Bains, le torrent du Grand Tabuc est l'émissaire principal du glacier du Monêtier.

Ce dernier se présente sous la forme d'une calotte glaciaire locale *(au moins pour les parties méridionale et centrale)* enserrée entre les sommets de la montagne des Agneaux *(3664m)* et du Dôme du Monêtier *(3404m)*, et couvre une ancienne pénéplaine anté-triasique (Lahousse, 1994) sur une surface d'environ 190 ha.

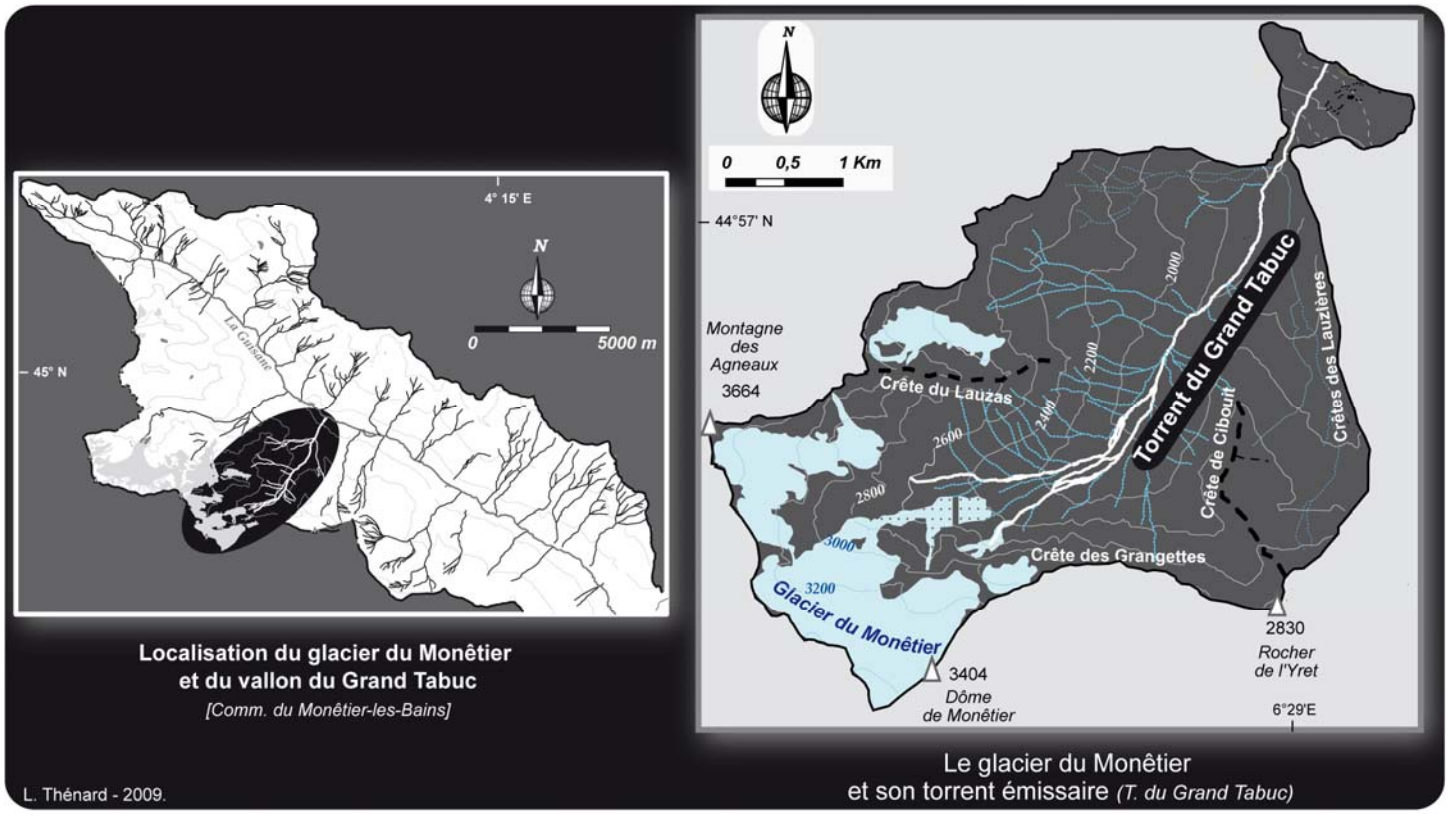


Figure 34 : Localisation du glacier du Monêtier (Torrent du Grand Tabuc).

Ce glacier évolue globalement entre 3600m et 2400m d'altitude, et sa ligne d'équilibre se situe aux environs de 3200m (Cf. 2.4.2.3). Les différents fronts de cette calotte locale sont désormais retranchés sur des ressauts rocheux cristallins tous localisés entre 3200 et 2900m.

En aval du glacier, les eaux de fusion se concentrent au fond du talweg, désormais libéré de l'emprise glaciaire, pour former le torrent émissaire du Grand Tabuc. Comme nous nous le verrons par la suite, les différents chenaux torrentiels se rejoignent rapidement à l'amont du bassin [Cf. 2.4.2.3 et 3.1.3]. D'un point de vue dynamique, la forte compétence acquise précocement par ce torrent lui a permis d'entretenir une large bande active jusque sur son cône de déjection. Mais dès à présent signalons que le torrent du Grand Tabuc a subi d'importantes évolutions morphodynamiques au cours des deux dernières décennies.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

Par ailleurs, ce torrent proglaciaire longe et traverse une série de cordons morainiques quelques centaines de mètre en aval des fronts actuels, c'est à dire globalement entre 2900 et 2300 mètres d'altitude **[Cf. Figure 35]**. Compte tenu de l'étroitesse de l'auge glaciaire sur ce secteur *(entre 250 et 300 m)*, l'emboîtement de modelés de différentes générations apparaît de prime abord relativement complexe. Cette perception initiale d'intrication est d'autant plus renforcée que localement les édifices morainiques sont fortement dégradés ou perturbés par des processus érosifs. Néanmoins, les recherches récentes sur ce site ont permis de fournir et d'avancer quelques éléments de compréhension supplémentaires (Lahousse, 1994 ; Cossart, 2005 ; Cossart et al, 2006 ; Thénard, 2007).

Quelque soit leur énergie ou leur ancienneté, et à l'instar de ce que nous évoquions précédemment, les modelés juxtaglaciaires se caractérisent par une dissymétrie flagrante entre les rives droite et gauche. Par exemple, sur plus de 1000 mètres de long et dans une tranche altitudinale comprise entre 3000 et 2390 mètres d'altitude, une vaste moraine sénestre s'élève de plusieurs dizaines de mètres *(entre 35 et 80 m)*. Entrecoupée par une "apophyse" cristalline vers 2650 mètres, cette moraine est désormais et en grande partie attribuée au PAG et ne trouve pas d'équivalent en rive droite. A la base de la crête des Grangettes, seul un cordon latéro-frontal d'à peine 500 mètres de longueur et bien moins puissant que le précédent souligne la dernière avancée maximale du glacier du Monêtier lors du PAG. Le front de cette moraine a été en grande partie démantelée par le torrent du Grand Tabuc, tout comme son flanc interne est encore actuellement affecté par des processus ravinant.

Immédiatement en amont de ces édifices "historiques", d'autres cordons morainiques s'individualisent et présentent une dissymétrie sensiblement comparable à ceux du PAG. Le plus avancé et le plus imposant d'entre eux est incontestablement celui d'une forte avancée glaciaire que des datations lichénométriques récentes placent au début du 20^{ième} siècle (Cossart, 2005 ; Cossart et al, 2006). Ces mesures s'accordent donc, pour la même période, avec une avancée glaciaire conséquente identifiée pour les glacier du Casset ou d'Arsine (Lahousse et Guen, 1998 ; Garitte et Lahousse, 2000.).

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

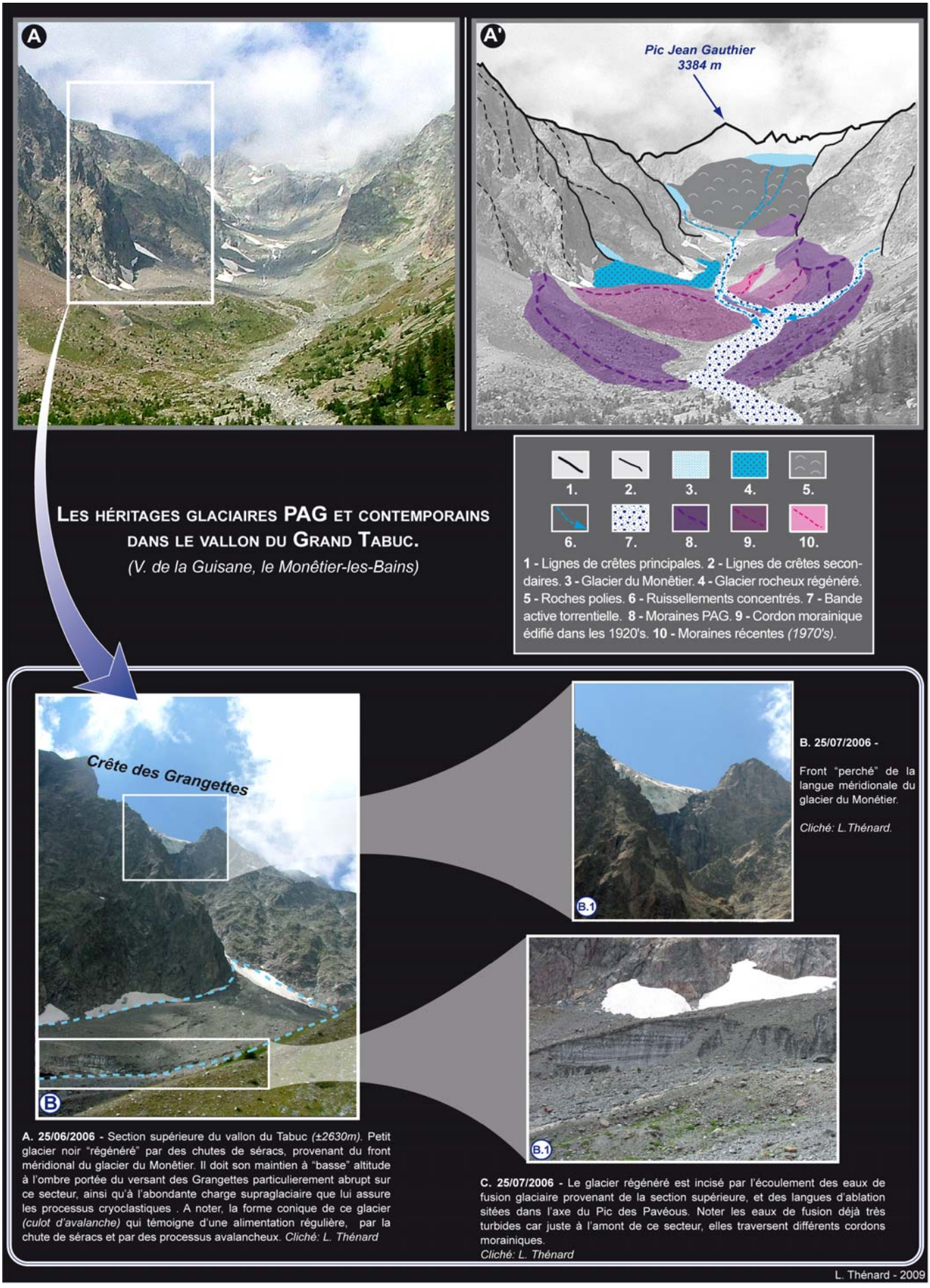


Figure 35 : Héritages glaciaires PAG et contemporains dans le vallon du Grand Tabuc.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009



Figure 36: 25/07/2006 - Traversée des moraines contemporaines (1920's) dans l'actuel vallon du Grand Tabuc.

Cliché : L. Thénard.

La section axiale et frontale de cette accumulation détritique contemporaine est en cours de démantèlement par le torrent du Grand Tabuc **[Cf. Figure 36]**. En effet, l'examen de différentes photographies aériennes IGN® montre que depuis quelques décennies une grande partie des eaux de fusion traverse ce cordon morainique alors que précédemment, la majorité des flux fluvio-glaciaires s'insérait entre cette moraine contemporaine et celle du PAG (rive gauche). Cela résulte vraisemblablement de l'éloignement progressif du glacier du Monêtier, notamment de la langue la plus septentrionale[22], et de l'amincissement d'un glacier noir régénéré situé en rive droite entre le front principal et la moraine "1920". Désormais moins contraint immédiatement en amont, le torrent du Grand Tabuc traverse en ordre dispersé cette moraine frontale, et durant la saison estivale les eaux glaciaires translucides laissent quotidiennement place à des eaux torrentielles particulièrement turbides. Paradoxalement, le maintien actuel de cette moraine contemporaine constitue tout de même un obstacle majeur au transit sédimentaire, en particulier pour les épandages fluvio-glaciaires. Entre autres éléments et associé à l'éloignement progressif des fronts glaciaires principaux, ce "piège à sédiments" naturel est probablement à l'origine de la forte rétraction de la bande active, constatée ces dernières décennies, dans le vallon du Grand Tabuc et sur le cône torrentiel de fond de vallée. C'est en tout cas un élément à prendre évidemment en considération dans l'appréhension des évolutions hydro-géomorphologiques récentes du torrent du Grand Tabuc.

[22] Cette langue glaciaire se situe dans l'axe et en contrebas du Pic Tuckett *(3568m)*.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

Loin d'être un cas isolé en Guisane ou dans le reste du massif des Écrins, cette nouvelle constatation d'un déséquilibre des moraines latérales confirme le rôle essentiel de l'exposition dans les dynamiques glaciaires et les modelés associés. Aussi, et à l'instar du torrent du Grand Tabuc, les dépôts glaciaires peuvent le cas échéant participer aux dynamiques torrentielles soit en influant les modalités de concentration des flux liquides et/ou en participant directement à l'alimentation sédimentaire des torrents. A ce sujet, compte tenu l'importance et de l'ampleur des héritages glaciaires en Guisane, nous verrons qu'ils constituent un facteur essentiel et particulièrement favorable au développement d'une torrentialité marquée dans cette vallée.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

L'empreinte glaciaire PAG en Guisane: l'exemple du glacier du Casset

Orienté plein Nord, le **glacier du Casset** s'étend actuellement sur près de 110 hectares et son altitude moyenne est de l'ordre de 2970 mètres. S'écoulant depuis la face septentrionale du sommet de la Montagne des Agneaux (3664m), plus de 60 % du glacier se situe au-delà des 3000 mètres, dont évidemment l'intégralité du bassin d'accumulation. Cette altitude *(2900 - 3000 m ± 50m)* correspond approximativement à la ligne d'équilibre actuelle. A ce titre et compte tenu des altitudes élevées, le glacier du Casset apparaît, sur la retombée orientale du massif des Écrins, comme le dernier véritable glacier blanc de vallée, alors que celui du Monêtier s'apparente désormais plus à une calotte locale. Retranché à haute altitude, le glacier du Casset doit être également être considéré comme un vestige chétif des puissants organismes glaciaires fini-würmiens qui façonnaient les vallons latéraux de la Guisane.

D'orientation Sud-Ouest/Nord-est, la **moraine de rive gauche** présente un tracé légèrement courbe et se développe sur près de 1300 mètres de longueur dans une tranche altitudinale comprise entre 2350 et 1900 mètres. Cette dernière valeur correspond probablement à l'**extension maximale du front glaciaire lors du PAG.** Affirmation d'autant plus plausible que des datations lichénométriques récentes réalisées sur cette moraine, confirment une mise en place ou plutôt un désenglacement entre 1860 ± 7 AD et 1880 ± 7,5 AD (Cossart, 2005 ; Cossart et Al, 2006). En vis-à-vis, la **moraine de rive droite** apparaît nettement plus modeste tant dans ses dimensions que dans la puissance de l'édifice. S'étirant sur à peine 500 mètres de longueur, cette moraine latérale n'excède pas 10 mètres de hauteur alors que son homologue de rive gauche s'élève de 30 à 40 mètres ! **Cette dissymétrie manifeste entre ces deux édifices détritiques appuie l'hypothèse d'un déséquilibre transversale du flux glaciaire, lié à l'exposition S/SE de la langue d'ablation PAG.** La rive gauche ne bénéficiant pas intégralement et/ou continuellement de l'ombrage des Pics du Casset (Cf. photo B.2, Fig n° ???), la fusion glaciaire ne pouvait être qu'exacerbée par rapport à la rive droite. Cela s'est logiquement traduit par une surabondance de la charge sédimentaire déposée en rive gauche et donc à une disproportion du modelé associé.

Aussi, **trois autres cordons morpho-sédimentaires emboîtés ont été édifiés durant la période contemporaine dans la zone interne de l'écrin morainique PAG.** Bien moins imposantes que les précédentes, ces moraines latéro-frontales constituent autant de bornes géomorphologiques du recul glaciaire post-PAG. Par une approche essentiellement diachronique, les dernières études démontrent que cet organisme glaciaire présente une sensibilité remarquable aux fluctuations climatiques récentes (Garitte et Lahousse, 2000). Il peut donc être légitimement considéré comme un **marqueur morphoclimatique** relativement fiable pour la période contemporaine. Il ressort de ces analyses que le glacier du Casset s'inscrit bien dans une tendance d'un inexorable recul lié au réchauffement climatique global Post-PAG, et que, par ailleurs, celui-ci s'est fortement accentué au cours des deux dernières décennies.

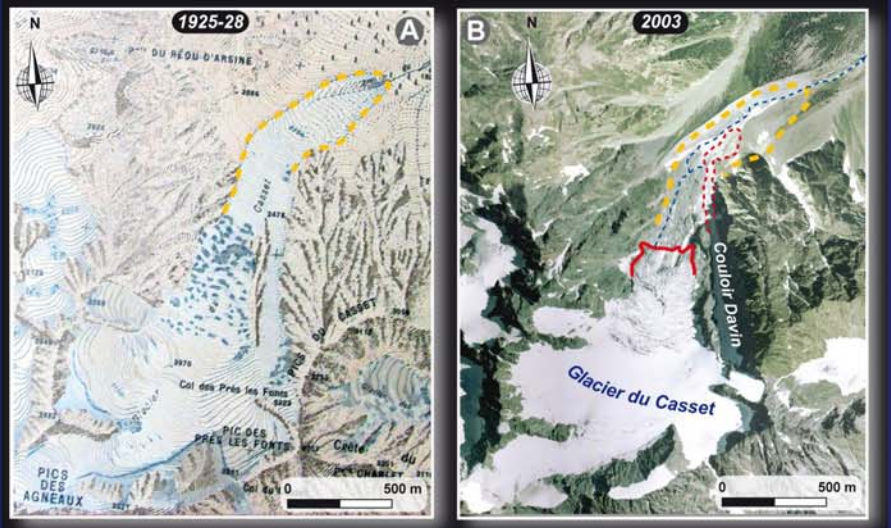
Néanmoins, ce retrait glaciaire est très loin d'avoir été d'une parfaite régularité, car la forte réactivité de ce glacier aux fluctuations climatiques a induit des variations spatiales sensibles du front glaciaire. **Amorcées dès 1860, de "longues" phases de recul du Casset sont ainsi entrecoupées de brèves périodes d'avancée ou au moins de relative stagnation. L'avancée glaciaire la plus significative est vraisemblablement celle du début du 20ième siècle (1915-1920) car il s'agit du plus avancé et du plus imposant renflement morainique de la période contemporaine** (Cf. Fig ?)**.** Depuis la fin de la dernière phase d'avancée et de stagnation vers 1975, le glacier du Casset est à nouveau entré dans un cycle de repli particulièrement intense, qui n'a fait que s'accentuer jusqu'aujourd'hui.

A noter tout de même que **le torrent émissaire du Casset** a développé un vaste cône fluvio-glaciaire *("le Grand Pré")* immédiatement au sortir des moraines PAG. Ce dernier résulte évidemment du dégagement opéré par ce torrent dans les moraines, notamment frontales. Pour autant, le maintien et de degré de préservation de cette accumulation fluvio-glaciaire et des moraines latérales *(PAG et contemporaines)* tendent à indiquer un **défaut de compétence du torrent du Casset**. Malgré la marque de nombreux épandages, la charge sédimentaire semble peiner rapidement dans sa mobilisation et son exportation jusqu'un torrent du Petit Tabuc.

Encadré ii : L'empreinte géomorphologique des avancées glaciaires PAG en Guisane.

Evolution contemporaine du Glacier du Casset [1925-2003]

(Vallée de la Guisane-vallon du Petit Tabuc)



A- Carte topographique du Service Géographique des Armées:
Levés réalisés entre 1925 et 1928.
Source: IGN®.

Redressement géométrique effectué sous Er Mapper 6.4© *(35 amers, RMS ± 4 m)*

1. 2. 3. 4.

1- Front glaciaire principal en 2003. **2-** Front oriental *(Couloir Davin)* en 2003. **3-** Extention de la langue d'ablation du Casset vers 1925. **4-** Torrent émissaire du Casset en 2003.

B- Ortho-photographie 2003.
Source: IGN®

L. Thénard - 2009.

En effet, les divagations torrentielles laissent place à un style chenalisé à peine 800 mètres après leur sortie des cordons PAG, et cela avant même la confluence avec du vallon du Petit Tabuc et son torrent éponyme. Aussi, et alors que les pentes demeurent accusées sur ce secteur *(± 35%)*, la végétalisation récente, spontanée et relativement avancée du cône proglaciaire ne laisse que peu de doute quant à la faiblesse des flux et des apports sédimentaires du torrent du Casset au Petit Tabuc. Outre les spécificités dynamiques et spatio-temporelles du glacier du Casset, **il faut relier la modestie du transit fluvio-glaciaire à l'éloignement progressif du front glaciaire d'importantes sources sédimentaires**, ainsi qu'au probable affaiblissement des processus cryoclastiques aux altitudes considérées.

Aujourd'hui seule la mince branche orientale du glacier du Casset *(couloir Davin)* reste en contact direct avec les parois délabrées des Pics du Casset *(gneiss et granites de la zone dauphinoise orientale)*, qui surplombe le vallum glaciaire sur son flanc oriental de près de 900 mètres *(alt : 3200 et 2100 m)*. Or ces roches fortement soumises aux contraintes tectoniques, se délitent régulièrement à l'affleurement par l'action conjuguée de la gravité et des agents atmosphériques. De puissants couloirs d'avalanches rident ainsi le versant et alimentent de vastes tabliers d'éboulis. A la base du versant, ces derniers ont entièrement comblé l'espace entre la paroi et la moraine PAG de rive droite, la recouvrant même partiellement par endroit. Le retrait contemporain du front glaciaire, sa déconnexion avec ces zones fortement contributrices et le maintien des dispositifs morainiques PAG sont autant d'éléments défavorables à un remaniement fluvio-glaciaire efficient. En complément de ces dernières observations, l'étude du torrent du Petit Tabuc démontrera également que la contrainte structurale est fondamentale dans ce bassin versant [Cf. 2.4.2.3]. **En dehors d'une éventuelle mais catastrophique débâcle glaciaire** *(rupture du vallum morainique d'Arsine)*, **ce torrent présente assez peu de prédispositions à des dynamiques torrentielles intenses et de forte occurrence.**

© 2011 Tous droits réservés.

Thèse L. Thénard, 2009 – Laboratoire TVES ; Université Lille 1- Sciences et Technologies de Lille.
http://pdoc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

1.3.1.4. Le domaine périglaciaire de la Guisane ; une source supplémentaire d'alimentation des lits torrentiels.

Lorsque leur orientation se fait plus méridionale que les vallons cités précédemment, de nombreux versants et cirques d'altitudes portent la marque de processus et de modelés périglaciaires. Si l'érosion périglaciaire est manifestement moins efficiente actuellement que lors de périodes plus froides *(ex : Petit Âge Glaciaire)* et que donc un grand nombre de modelés procède d'héritages, ces versants non englacés de haute altitude demeurent évidemment soumis à la gélivation.

Sur la base des caractéristiques climatiques de la Guisane, de sa situation géographique *(intra-alpine)*, de l'orientation de ses versants et des indicateurs géomorphologiques *(modelés)*, il est possible d'affirmer que le domaine périglaciaire guisanais s'établit dans une ample frange altitudinale, globalement comprise entre 2400 et 3200 mètres d'altitude.

Relativement abrité des perturbations atlantiques par le massif des Écrins-Pelvoux et sous influence méditerranéenne grâce au sillon durancien, le Briançonnais se caractérise effectivement par un climat aux saisons très contrastées et à forte variabilité interannuelle. Associés à la dégradation climatique montagnarde, ces derniers éléments font que la Guisane se singularise par un climat fortement ensoleillé, relativement froid et sec. Actuellement, cela se traduit logiquement par des lignes d'équilibre glaciaire généralement supérieures à 3000 mètres, et donc par une forte amplitude altitudinale du domaine périglaciaire.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

1.3.1.4.1. L'éboulisation des versants périglaciaires et les connexions avec les systèmes torrentiels.

L'éboulisation des versants périglaciaires de la haute vallée de la Guisane *(essentiellement dans la Combe de Laurichard [massif du Combeynot])* a fait l'objet d'un vaste programme de recherche dès la fin des années 1970. Dans ce cadre, des sites expérimentaux ont été sélectionnés afin d'y opérer divers protocoles de quantifications et permettre des raisonnements comparatifs. La synthèse de ces mesures et de leur analyse demeure aujourd'hui une contribution essentielle à la compréhension des systèmes corniches/éboulis et des processus en jeu sur ce site (Francou, 1988 ; Dellion 1986).

Or, la section supérieure de la plupart des torrents de la haute et moyenne vallée de la Guisane appartient partiellement ou intégralement au domaine périglaciaire. Généralement fragilisées par la puissante tectonisation des séries géologiques affleurantes, les parois rocheuses de haute altitude subissent également l'action érosive de processus cryogéniques toujours fonctionnels à l'heure actuelle.

Ainsi, de vastes tabliers d'éboulis se développent fréquemment au pied des escarpements rocheux appartenant au domaine périglaciaire **[Cf. Figure 37]**. Ils s'inscrivent comme autant de modelés de transition entre les parois abruptes et les fonds de vallons ou les cirques d'altitude. A l'instar de ce que nous évoquions précédemment, ces secteurs correspondent généralement aux bassins de réception torrentiels actuels. Lorsque les conditions sont propices *(pentes, proximité, etc.)*, des connexions s'établissent par transfert sédimentaire, entre les modelés périglaciaires actuels et/ou hérités et les lits torrentiels. Ces "relais" sédimentaires sont le plus souvent assurés par les agents classiques de l'érosion périglaciaire de haute altitude : processus gravitaires, cryoclastie, avalanches, coulées de débris et écoulements concentrés, torrents émissaires, gélifluxion, etc.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

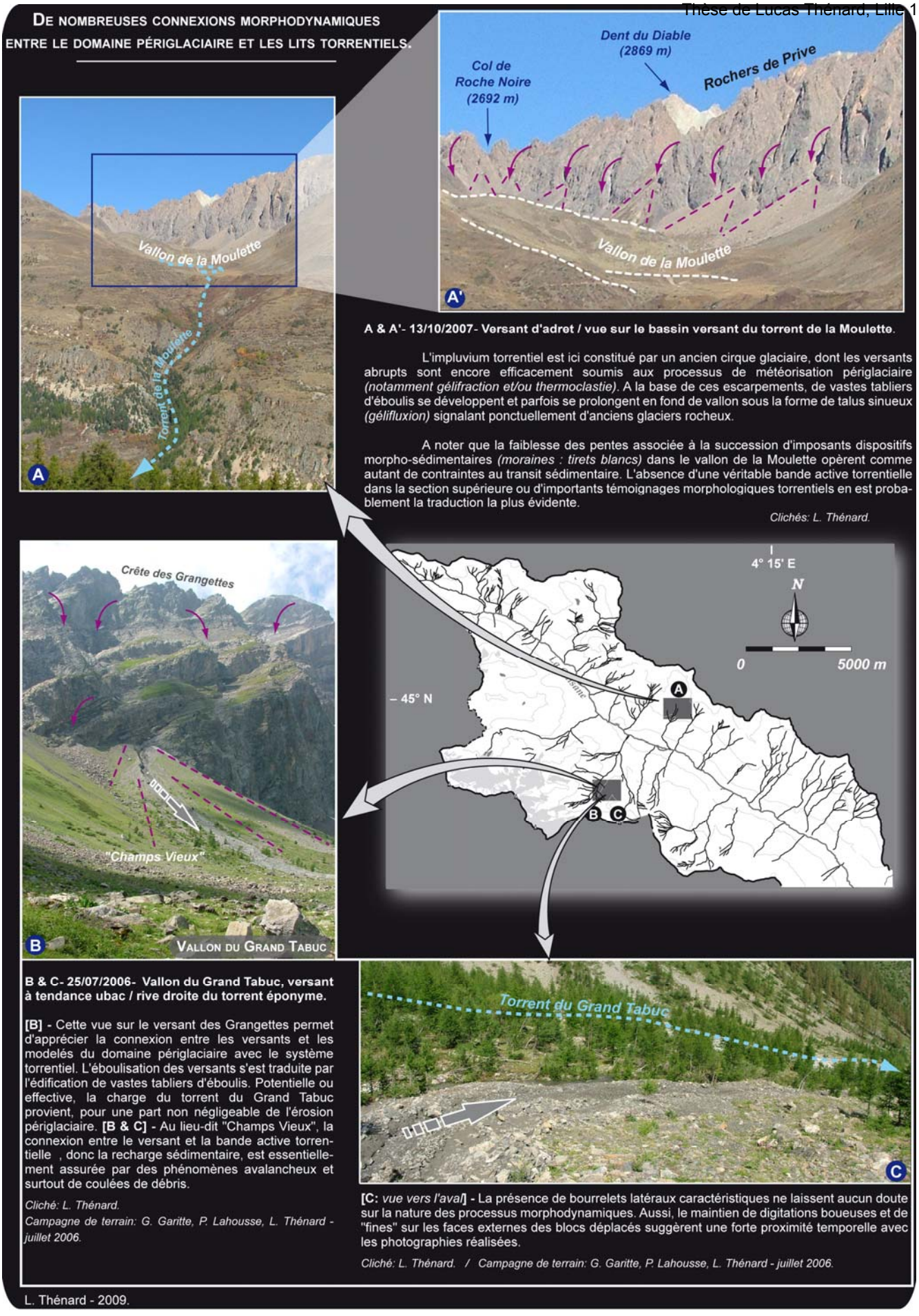


Figure 37 : De nombreuses connexions morphodynamiques entre le domaine périglaciaire et les lits torrentiels.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

De façon potentielle ou effective, les versants soumis à l'érosion périglaciaire et les modelés détritiques associés constituent autant de sources sédimentaires supplémentaires pour nombre de torrents de la Guisane. Ces différentes zones contributrices peuvent en particulier être réactivées à l'occasion d'évènements paroxystiques et ainsi concourir à l'alimentation de crues torrentielles. De même, de nombreux héritages morpho-sédimentaires plus ou moins remaniés *(till, placage morainiques, glaciers rocheux, mouvements de terrain, etc.)* s'établissent sur l'actuel domaine périglaciaire. Par association et interconnexion avec les modelés périglaciaires contemporains, cela peut éventuellement se traduire par d'intarissables sources sédimentaires pour les torrents guisanais.

En effet, lorsque l'essentiel de la charge détritique provient de sources à la fois abondantes et d'origines variées *(héritages glaciaires, périglaciaires ou résultant de leur remaniement)*, cela confère au torrent une certaine mixité dans la nature de sa charge sédimentaire, ainsi que dans les modalités de transfert entre le bassin et le lit torrentiel. Contrairement aux torrents disposant de contextes morphostructuraux relativement homogènes *(ex : "à clappes", marneux, etc.)*, les configurations que l'on peut qualifier de "composites" rendent bien plus délicates toute tentative de modélisation et plus encore de zonage. Dans ce cas de figure, chaque évènement de forte intensité peut relever du cas particulier en raison de l'extrême complexité des interconnexions ou des interactions entre les différentes sources sédimentaires et les lits torrentiels. Ainsi d'une crue à l'autre, les sources sédimentaires mobilisées peuvent considérablement varier, en raison de leur localisation, de leur nature, ou encore de l'intensité du facteur déclenchant *(orage estival, importants cumuls pluviométriques, fonte tardive, etc.)*.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

Recouvrant généralement les bassins de réception des torrents guisanais, le domaine périglaciaire constitue également un étage "charnière" entre les versants englacés de haute altitude et les zones de moyenne montagne. **A court et moyen terme, il s'agit sans nul doute de l'étage géomorphologique le plus réactif et le plus sensible aux évolutions des paramètres bioclimatiques.** Et cela parce que les processus d'érosion actuels dans le domaine périglaciaire demeurent actifs. Réceptacles et vecteurs naturels, les torrents interviennent alors comme les principaux acteurs du transit sédimentaire entre les versants et le fond de vallée.

Concomitant sans pour autant être systématiquement synchrone avec les évolutions directement liées à l'emprise anthropique dans les bassins versants et sur les cônes torrentiels, le réchauffement climatique de la période contemporaine *(post-1850)* a globalement induit une diminution progressive de la charge détritique. A l'échelle séculaire, ces évolutions ont généralement entraîné une ostensible permutation des flux liquides et solides dans les lits torrentiels (Bravard, 1989 ; Liébault, 2003 ; Marston et *al*, 2003). La conséquence la plus perceptible de ces modifications hydro-géomorphologiques est probablement le phénomène de rétraction-incision des lits torrentiels.

Mais quelque soit leur nature ou leur origine, ces modifications ou éventuellement ces bouleversements morphodynamiques résultent en premier lieu d'un tarissement des apports sédimentaires, et notamment ceux provenant de l'étage périglaciaire. L'évolution contemporaine des lits torrentiels s'inscrit dans la lignée des différents "cycles" d'exhaussement et d'incision des lits torrentiels qui se sont succédés au moins depuis le Tardiglaciaire. Suites à différents travaux scientifiques dans les Alpes méridionales essentiellement basés sur des approches chronostratigraphiques, les grandes phases de la torrentialité holocène sont désormais relativement bien individualisées (Ballandras, 1997, 1998, 2002 ; Jorda, 1980, 1985 ; Jorda et Provensal, 1996 ; Flez et Lahousse, 2003). Symbole du transit sédimentaire entre les versants et les fonds de vallée, les cônes de déjections se présentent alors comme des témoins géomorphologiques de premier plan, ayant enregistré depuis des millénaires les fluctuations du bilan sédimentaire de leurs bassins versants respectifs.

Unanimement constatée dans les vallées intra-alpines ou de Piémont, et parfois entamée dès la fin du 19^{ième} siècle, la rétraction de la plupart des bandes actives ou des zones d'emprises torrentielles constitue une réponse des organismes torrentiels aux évolutions des paramètres environnementaux, qu'ils soient d'ordre "naturel" et/ou anthropique. Parfois les actions directes et massives entreprises dans les bassins versants se sont traduites par une véritable "métamorphose" des hydrosystèmes concernés (Bravard, 1989).

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

Dans le Briançonnais, et bien que les torrents soient parfois difficilement comparables[23], force est de constater que le processus de rétraction des bandes actives torrentielles sur les cônes de déjection est généralement très avancé. Dans de nombreux cas et toujours dans ce secteur, la rétraction des lits torrentiels a même abouti à une chenalisation des torrents par incision de leur cône au cours de la période récente (Lahousse et Romelé, 2000 ; Garitte et Thénard, 2005 ; Lahousse et al, 2005). Comme nous le verrons par la suite, on note même une accélération sensible de ce phénomène au cours des dernières décennies pour les torrents dont les principales sources sédimentaires se localisent dans le domaine périglaciaire et n'ayant pas fait l'objet de programme massif de correction torrentielle. A titre d'exemple, nous pourrions citer les torrents du Grand Tabuc en Guisane ou ceux des Acles et des Ruines dans la vallée voisine de la Clarée (Thénard, 2002 ; Garitte, 2006 ; Garitte et al, 2007).

En dehors des torrents ayant été fortement corrigés, les principales causes avancées dans l'explication du tarissement contemporain des sources sédimentaires sont essentiellement le recul des pratiques agro-pastorales et par là même celui de la pression anthropique sur les versants *(ex: végétalisation spontanée)*, ainsi que le réchauffement climatique global. Mais il est également fort probable que les évolutions morphodynamiques constatées au cours de la période récente traduisent l'atténuation de l'influence du Petit Âge Glaciaire dans les systèmes torrentiels. A l'évidence, l'inertie provenant du déstockage sédimentaire post-PAG a souvent permis aux torrents de maintenir leurs bandes actives durant quelques décennies *(première moitié du 20^{ième} siècle)*, même si évidemment le processus de rétraction s'était enclenché dans certains cas dès la fin du 19^{ième} siècle. Même si de nombreux modelés marquent encore visiblement les versants périglaciaires actuels, plus d'un siècle après la sortie de la péjoration climatique du PAG, l'épuisement ou la stabilisation des stocks détritiques directement mobilisables et l'accentuation manifeste du réchauffement climatique récent (IPCC, 2001) provoquent un amenuisement des apports sédimentaires *(ex: pédogenèse en cours et conquête végétale spontanée de certains modelés PAG)*.

Enfin, retenons également qui si la rétraction contemporaine des bandes actives ou des zones d'emprise torrentielles correspond bien à une tendance globale, les évolutions apparaissent très inégales en fonction des torrents considérés et/ou de leur degré d'anthropisation.

[23] En dehors de contextes morphostructuraux parfois très dissemblables, tous les torrents, et loin s'en faut, ne disposent ou n'ont jamais disposé de véritable bande active ou de zone d'emprise !

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

REFLEXIONS SUR L'APPARENTE CONTRADICTION ENTRE L'EVOLUTION CONTEMPORAINE DU DOMAINE PERIGLACIAIRE ET LE MAINTIEN D'UN ALEA TORRENTIEL OMNIPRESENT.

Paradoxalement, la rétraction des bandes actives torrentielles ne renvoie pas nécessairement à un amoindrissement de l'aléa torrentiel, notamment en terme d'intensité. En effet, le maintien de bandes actives ou de zones d'emprise répond à des dynamiques saisonnières et relativement "régulières" en terme de transit sédimentaire, sans lien systématique avec des évènements paroxystiques. Ces derniers ont généralement une faible occurrence mais ils sont de très loin les plus dommageables, et constituent donc un important facteur de risque.

Et cela parce que dans les hauts bassins versants, l'intrication ou la proximité de modelés de différentes natures, et notamment des **héritages morpho-sédimentaires** *(tabliers d'éboulis, moraines, anciens glaciers rocheux, etc.)* susceptibles de participer à l'approvisionnement sédimentaire des torrents constitue l'un des éléments fondamentaux pour la caractérisation de l'aléa et le diagnostic du risque torrentiel. **Parfois intarissable** *(mouvement de terrain massifs; ex : coulée à blocs du Granon)*, **le potentiel sédimentaire mobilisable lors d'évènements paroxystiques devient relativement indépendant des paramètres bioclimatiques actuels ou de leur variation. Or, et nous le verrons, ce cas de figure est particulièrement fréquent en moyenne et basse vallée de la Guisane** *(Torrents de Saint-Joseph, du Merdarel, de la Salle, du Bez, ou encore du Verdarel).*

A l'inverse et comme le prouve leur évolution contemporaine, les dynamiques* régissant saisonnièrement les bandes actives ou les zones d'emprise sont bien plus sensibles aux fluctuations des paramètres environnementaux. Indubitablement, il s'agit d'un facteur supplémentaire de complexité dans l'analyse du système torrentiel et dans les éventuelles solutions proposées.

On mesure alors le poids des héritages géomorphologiques dans ce type d'analyse car une gélivation moins efficiente dans le domaine périglaciaire actuel se traduisant par un transit sédimentaire **global** moins conséquent dans les lits torrentiels *(rétraction des bandes actives)*, ne se corrèle manifestement pas avec une mitigation du risque torrentiel ; et cela sans même considérer l'évolution de la vulnérabilité…

---

* Ce mot est ici employé non pas tant pour évoquer une distinction dans les processus en jeux que dans leur intensité. Par exemple, lors d'un épisode paroxystique de type lave torrentielle, il est courant d'observer durant la phase de décrue des processus de type charriage ou charriage hyperconcentré !

Encadré iii : Réflexions sur le paradoxe de l'ajustement contemporain des processus périglaciaires et le maintien d'aléa torrentiel de forte occurrence.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

1.3.1.4.2. Autres modelés périglaciaires en Guisane : des questions en suspend.

Enfin, il nous faut évoquer les glaciers rocheux ou apparentés, probablement les modelés périglaciaires les plus discernables sur les hauts versants guisanais. Considérant que l'isotherme annuel moyen de -2°C définit la limite inférieure de la frange à pergélisol discontinu potentiel (Haeberli, 1983 et 1985), les modelés de type éboulis fluants ou glaciers rocheux disposent actuellement en Guisane d'une large fourchette altitudinale théorique, comprise entre 2850 et 3200 mètres **[Cf. Figure 38]**. Evidemment, les conditions topostationnelles, climatiques et géomorphologiques locales conditionnent tout autant leur implantation et/ou leurs évolutions.

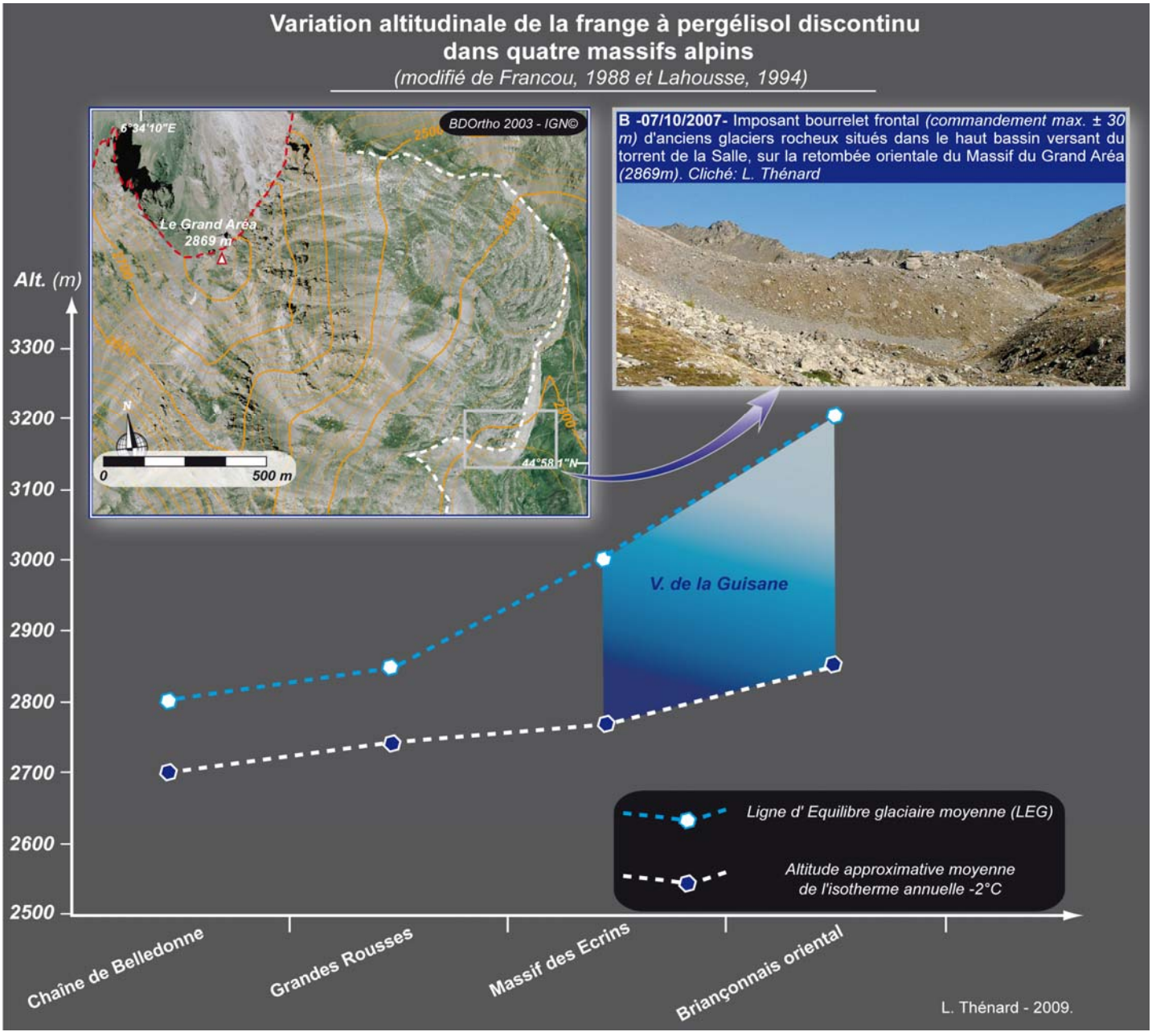


Figure 38 : Variation altitudinale de la frange à pergélisol discontinu dans quatre massifs alpins

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

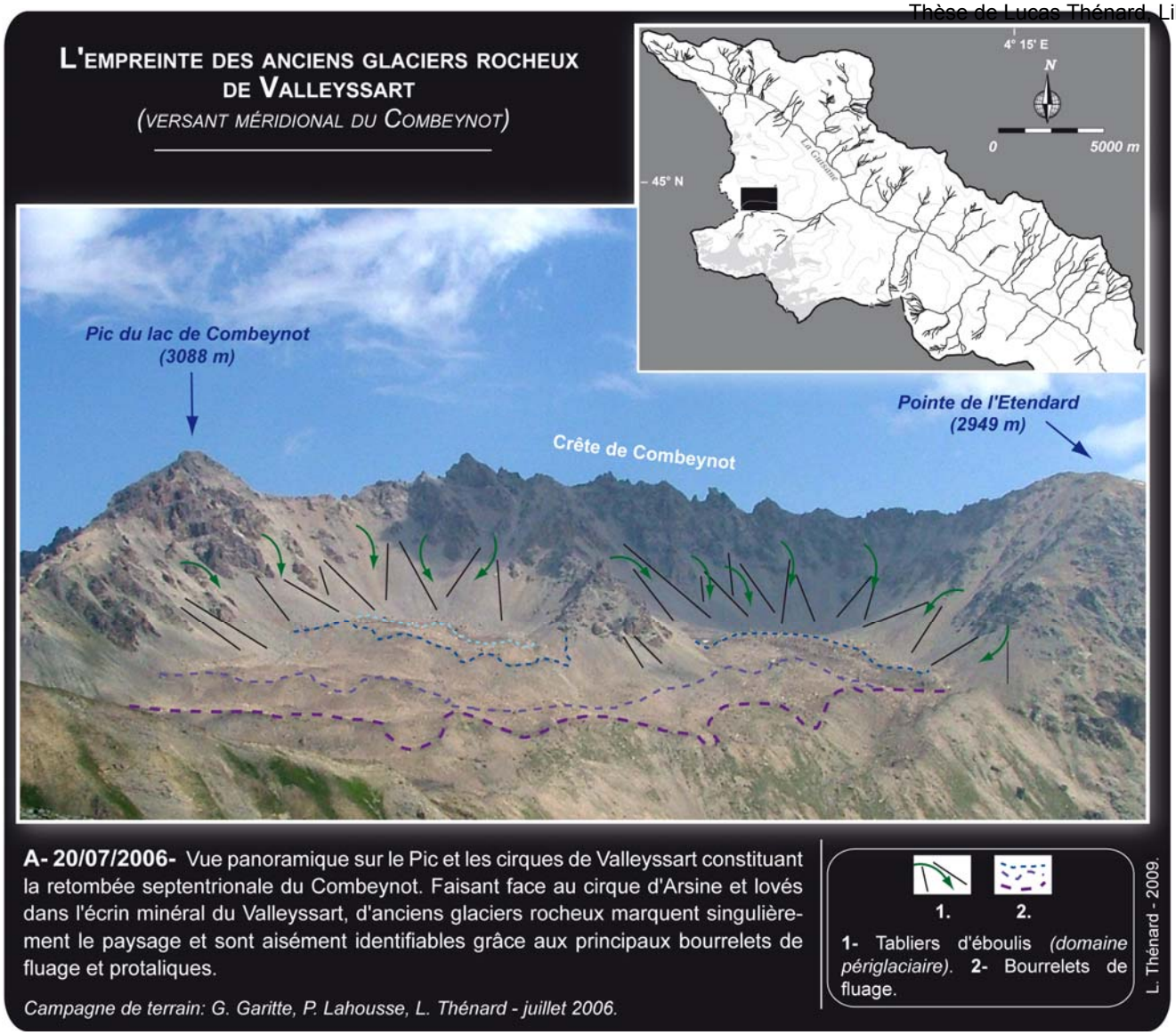


Figure 39 : Les anciens glaciers rocheux de Valleyssart (versant mérodional du Combeynot)

En tout étant de cause, le climat relativement froid et sec du briançonnais oriental constitue un élément très favorable, aboutissant logiquement à une forte présence de ces modelés sur les versants guisanais (Lahousse, 1994). Concrètement, leur empreinte morphologique s'imprime généralement au creux de cirques d'altitude avec plusieurs générations de bourrelets protaliques à l'aspect fluant très caractéristique. En Guisane, il n'existe plus de glaciers rocheux véritablement actifs en dehors du massif de Combeynot (Cf. fig Bodin) et de quelques formes élémentaires très localisées *("moraines de névé")*. Les bourrelets de première génération sont le plus souvent situés entre 2100 et 2350 mètres.

Compte tenu de leur étagement et de leur degré de conservation, on peut affirmer que la grande majorité de ces héritages morpho-sédimentaires s'est formée durant les récurrences froides du Tardiglaciaire et de la première moitié de l'Holocène *(Pré et Subboréal ?)*. Entre autres exemples, les héritages périglaciaires lovés dans l'écrin minéral du Valleyssart sont à ce titre particulièrement représentatifs. En vis-à-vis du cirque d'Arsine et remarquablement préservés, leur structure fluidale est caractéristique des glaciers rocheux de haute altitude **[Cf. Figure 39]**.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Signalons aussi qu'à l'instar des glaciers noirs et pour des raisons assez similaires, les glaciers rocheux ou les bourrelets protaliques sont généralement de mauvais indicateurs morphoclimatiques à court ou moyen terme. L'hypothèse selon laquelle *"le glacier rocheux est une réponse périglaciaire à une récurrence glaciaire"* (Francou, 1988) résume à elle seule les incertitudes et le caractère relativement insidieux de leur emploi pour la reconstitution de chronoséquences morphogéniques. Entre autres éléments, la protection que confère leur importante charge détritique est sans nul doute le facteur principal expliquant l'inertie thermique qui les caractérise. Il a été démontré dans le massif du Combeynot par différentes instrumentations que *"le régime thermique, dès quelques décimètres de profondeur, est fortement influencé par la stagnation d'air froid et dense, induisant un léger écart moyen annuel négatif par rapport à la température immédiatement sous la surface"* (Bodin, 2007). Ainsi, nombre de talus protaliques ou de glaciers rocheux ne peuvent enregistrer que les variations climatiques majeures et durables. Par ailleurs, lorsqu'ils se localisent sur une marge latérale ou frontale de glaciers, la percolation des eaux de fusion glaciaire peut le cas échéant, par des phénomènes de regel, alimenter et entretenir en profondeur des amas de glace hérités *(pergélisol discontinu)*. Dans ce cas, il existe un décalage parfois conséquent entre l'activité de ces modelés périglaciaires avec le contexte morphoclimatique dans lequel ils évoluent.

En Guisane, peu de glaciers rocheux participent activement ou directement à la recharge sédimentaire des torrents. Néanmoins l'accentuation du réchauffement climatique global au cours des dernières décennies semble se manifester actuellement par une dégradation manifeste du pergélisol dans le massif alpin. Compte tenu de l'importance des paramètres environnementaux locaux, de la rareté de mesures régulières et du faible recul temporel face à cette question, les conséquences morphodynamiques restent difficiles à déterminer précisément, et plus encore à projeter pour les prochaines décennies.

Or, et comme en témoigne plusieurs études récentes (Haeberli, 1994 ; Lambiel, 2006 ; Monnier, 2006 ; Bodin, 2007), cette question scientifique est d'importance, car associée aux pentes, la dégradation du pergélisol pourrait entraîner dans certains cas des mouvements de terrain relativement massifs ou des déstockages sédimentaires conséquents sous forme de coulées de débris. Dans les hauts bassins torrentiels, l'évolution de modelés périglaciaire comme les glaciers rocheux, pourrait se traduire par des désordres plus ou moins remarquables. Jusqu'aujourd'hui ces masses sédimentaires fluantes demeuraient relativement déconnectées des dynamiques torrentielles. Mais si le réchauffement climatique global se poursuit et s'accentue au cours des prochaines décades, il ne fait que peu de doute que la disparition d'une grande partie du pergélisol alpin se traduira ponctuellement par la genèse ou l'accentuation d'aléas naturels, potentiellement facteurs de risque.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

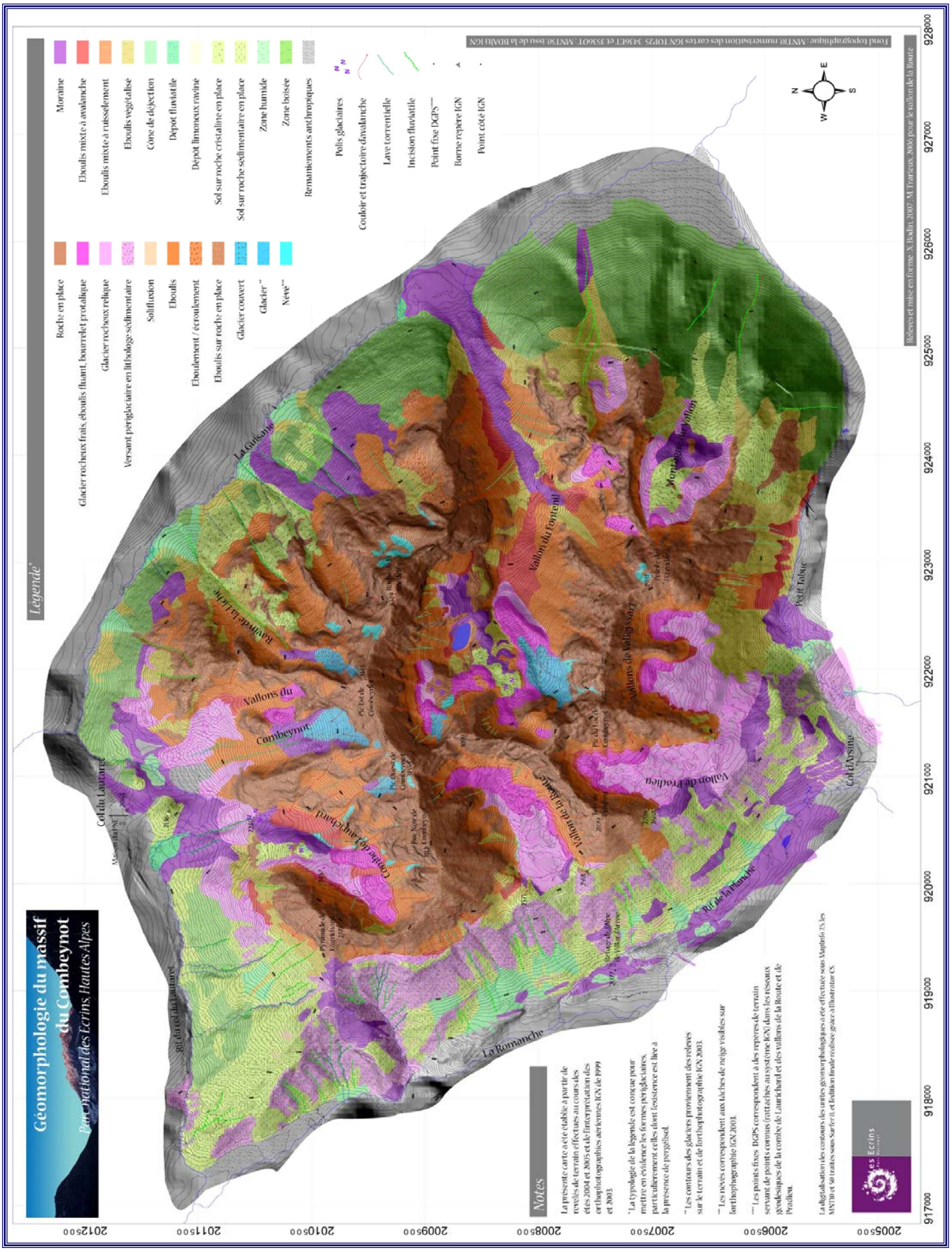


Figure 40 : Géomorphologie du massif du Combeynot (Source : Bodin, 2007)

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

1.3.1.5. L'instabilité chronique des versants guisanais.

Parmi les autres aléas naturels qui affectent régulièrement cette vallée, la Guisane est depuis toujours réputée pour l'instabilité chronique de ses versants. L'ampleur et la diversité des mouvements de terrain sont un des aspects géomorphologiques singuliers de cette vallée. Des mouvements de terrain complexes et massifs *(écroulements, glissements rotationnels, coulées boueuses, fauchages des têtes de banc etc.)* marquent profondément et régulièrement les paysages de la vallée. Ils se sont probablement déclenchés dès la fin du Pléniglaciaire würmien et/ou sont hérités des différentes phases du désenglacement de la vallée. Des glissements-coulées aux glissements rotationnels jusqu'aux masses fluantes de moindre ampleur mais toujours actives actuellement, la vallée de la Guisane se présente une fois de plus comme un secteur particulièrement propice à de puissantes dynamiques de versant et à leur étude. Comme nous le verrons ensuite, cette caractéristique n'est d'ailleurs pas étrangère, tant du point de vue de l'intensité que de l'occurrence, à la prédominance de l'aléa torrentiel à Serre-Chevalier.

1.3.1.5.1. Ampleur et diversité des mouvements de terrain en Guisane.

Actuellement et quelque soit leur nature, les formations quaternaires recouvrent environ 80% de la vallée de la Guisane (Lahousse, 1991 et 1996), soit environ 170 km². Si leur extension spatiale est remarquable, l'épaisseur de ces formations est généralement assez considérable. D'ailleurs des sondages sismiques réalisés dans le haut bassin versant du torrent du Verdarel à la suite de la catastrophique lave torrentielle du 09 juillet 1981, ont localement permis de déterminer que ces formations instables pouvaient localement atteindre plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur (CETE, 1982 ; Colas, 1987 ; Cocheteau et al, 1990). Suite à la crue de septembre 2005, dans le prolongement de celles réalisées récemment avec le suivi morphodynamique de sites "témoins", nos investigations dans ce bassin versant démontrent que cette zone demeure éminemment perturbée **[Cf. Figure 41]**. Ce secteur s'inscrit d'ailleurs dans les complexes de coulées à blocs du Granon, réputés à juste titre comme particulièrement instables.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

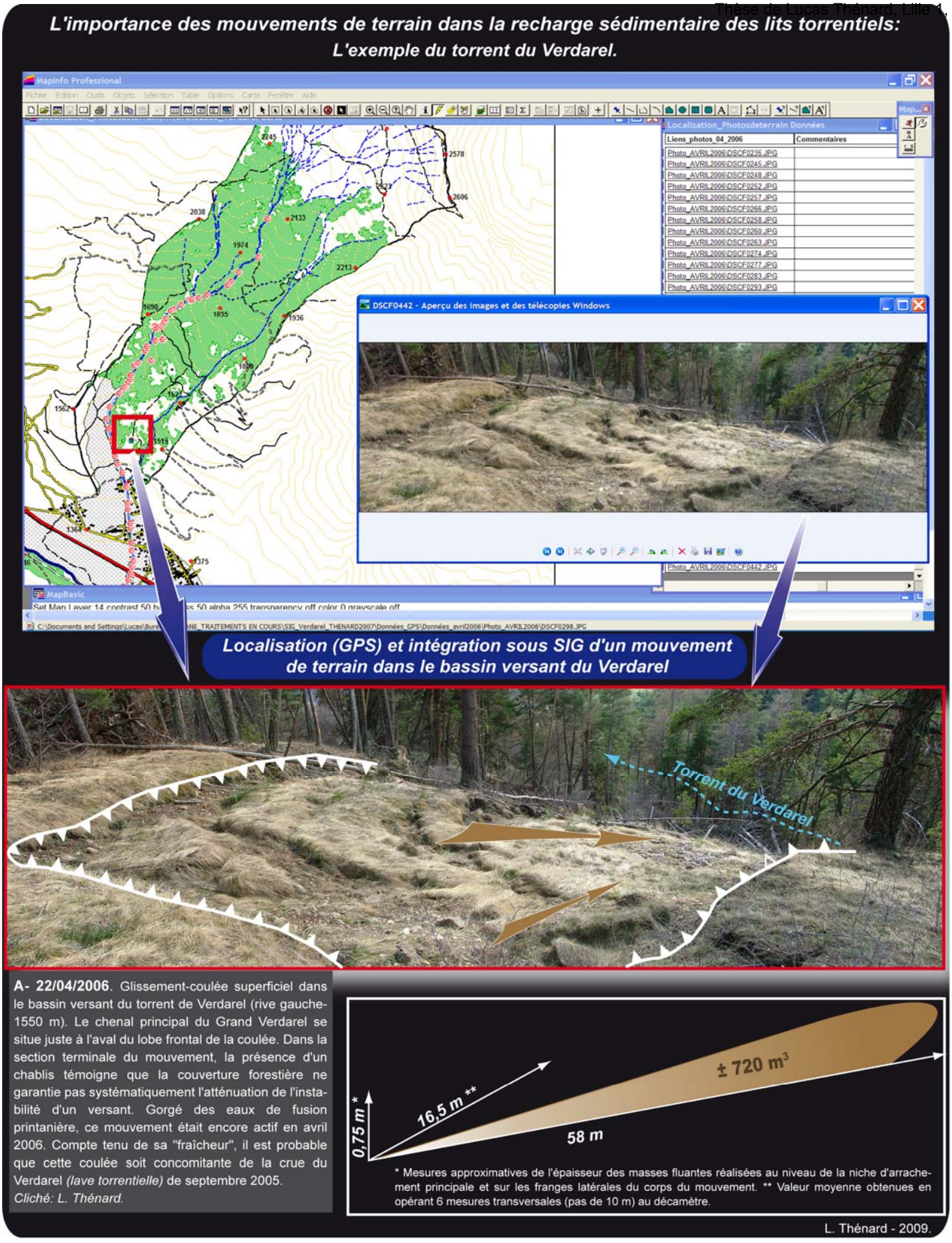


Figure 41 : L'instabilité des formations superficielles au service de la recharge sédimentaire des lits torrentiels.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

En dehors de phénomènes superficiels et ponctuels qui concernent nombre de parois ou de versants *(reptation, éboulisation, etc.)*, les mouvements de terrains toute nature confondue concernent près de 3000 hectares soit 15% de la superficie totale de la vallée (Lahousse, 1998). La retombée méridionale du col de Granon et le flanc septentrional du massif du Prorel regroupent à eux seuls 55% *(1650 ha)* des surfaces perturbées dans la vallée !

Le contexte morphostructural de la vallée que nous avons présenté précédemment s'avère être un élément primordial pour expliquer l'ampleur de ces désordres. Généralement peu cohésifs, ces terrains superficiels reposent bien souvent sur des séries géologiques relativement imperméables et/ou fortement tectonisées des zones briançonnaise et subbriançonnaise *(quartzites, schistes et calschistes, formations du Carbonifère, etc)*. A l'interface, les eaux d'infiltration favorisent le décollement des formations meubles, le plus souvent quaternaires, du substratum rocheux. A la faveur du pendage, ce point de contact *séries géologiques-formations superficielles* fait parfois office de véritable plan de glissement.

A l'évidence la cartographie des principaux mouvements de terrain passés et actuels, laisse apparaître un lien étroit entre la nature du substratum et l'instabilité des formations superficielles sus-jacentes **[Cf. Figure 42]**. Ainsi, il ressort que près de 70% des surfaces mises en mouvement reposent sur les formations du Carbonifère briançonnais, notamment les soubassements du Houiller, qui se caractérisent par un fort degré d'imperméabilité. Ce lien de cause à effet est particulièrement évident en adret, car l'ensemble des masses déplacées ont progressivement remodelé le versant, en adoucissant quelque peu les pentes, lui donnant un aspect à la fois plus massif et plus ramassé que son vis-à-vis d'ubac. Sans nous étendre davantage, signalons également que l'instabilité induite par la présence des séries du Carbonifère a déjà été soulignée dans divers études scientifiques (Feys, 1963 ; Martin-Cocher, 1984). Par ailleurs, les terrains du Carbonifère briançonnais ne constituent pas l'unique source des désordres et mouvements de terrain en Guisane. Pour des raisons sensiblement identiques et à cause de leur caractère particulièrement fissile, les faciès schisteux *(flysch noir et calschistes pour l'essentiel)* de la zone subbriançonnaise apparaissent tout autant enclins au déclenchement et au maintien d'une forte instabilité des formations superficielles qu'ils supportent **[Cf. Figure 42]**.

La grande majorité des mouvements de terrain recensés en Guisane sont aujourd'hui stabilisés ou au moins en situation de relatif équilibre. Même si leur mise en place apparaît souvent polyphasique, leur déclenchement initial renvoie manifestement au désenglacement de la vallée dès la fin du Pléniglaciaire.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

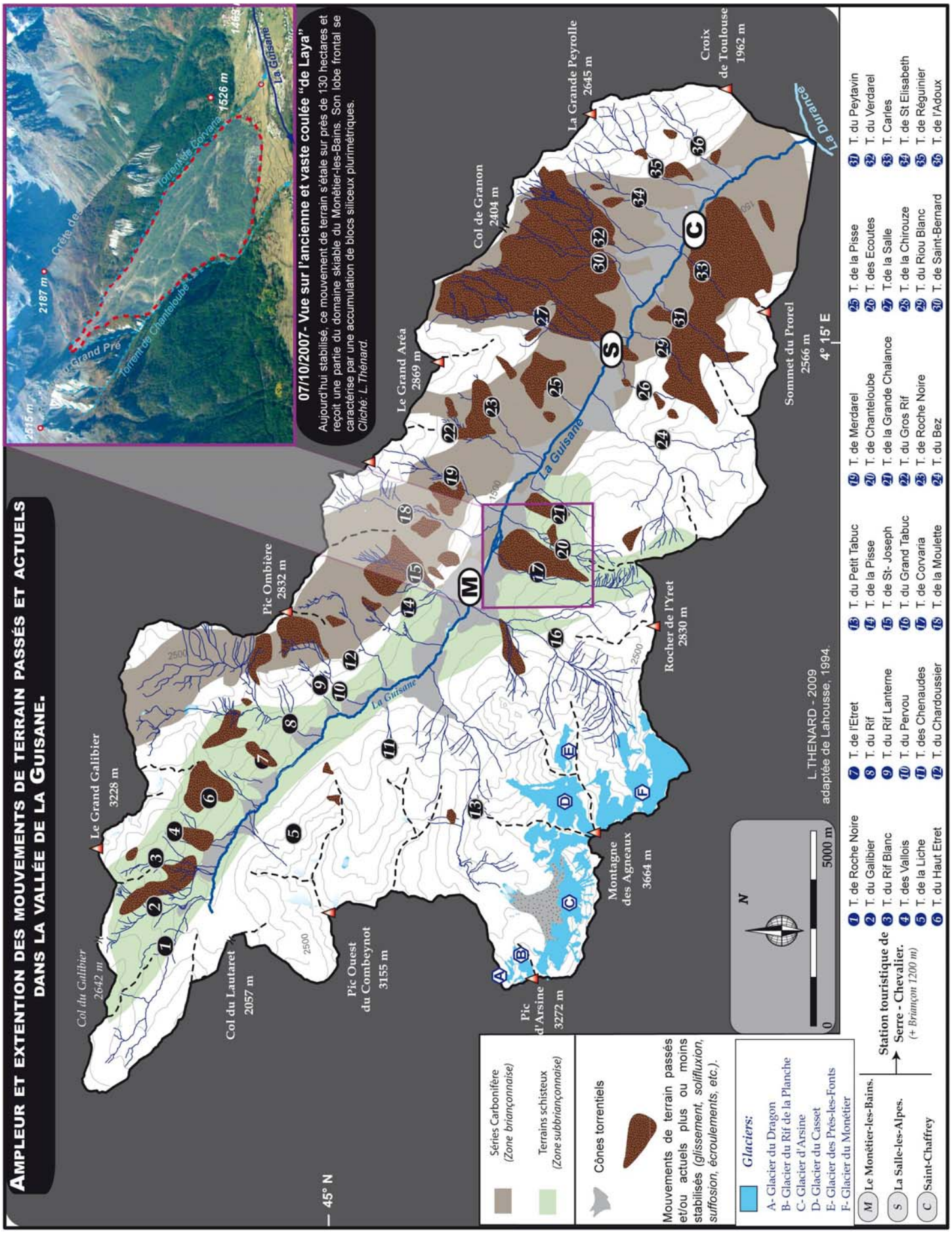


Figure 42 :Ampleur et extension des mouvements de terrain passés et actuels dans la vallée de la Guisane (adaptée de Lahousse, 1994).

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

1.3.1.5.2. Origines et implication de l'instabilité des versants dans les dynamiques torrentielles.

La configuration morphostructurale évoquée précédemment associée aux processus paraglaciaires n'a pas manqué de provoquer des désordres géomorphologiques particulièrement conséquents, tant au niveau des surfaces concernées que des volumes mobilisés. Il a d'ailleurs été démontré que suite au désenglacement, la décompression des versants était à l'origine d'un grand nombre de mouvements de terrain et généralement des plus massifs (Lahousse, 1994 ; Cossart, 2005). Certes, la plupart d'entre eux est stabilisée aujourd'hui mais des reprises ponctuelles et assez régulières *(coulées boueuses, solifluxion, éboulements, etc.)* témoignent d'une instabilité chronique de ces secteurs *(Granon, Prorel, bassin versant du torrent de Saint-Joseph, Chaméant, etc.)*.

Plus localement et parmi bien d'autres exemples, la dissolution des masses gypseuses peut également se révéler propice à différents désordres sur les versants *(écroulement, gouffres de suffosion, glissements, etc.)*. L'échancrure blanchâtre opérée par ce processus de dissolution des gypses dans le Bois des Sagnères *(comm. du Monêtier-les-Bains)* est de ce point de vue particulièrement éloquent **[Cf. Figure 43]**.

D'autre part, les spécificités climatiques du Briançonnais favorisent le déclenchement et/ou la réactivation de mouvements de terrain. L'explication ne réside pas tant dans les cumuls des précipitations annuelles [1950-2003 Briançon : 784 mm ; Monêtier-les-Bains : 937 mm ; *Source : Météo France*] que leur distribution annuelle et saisonnière. En effet, même dégradée l'influence méditerranéenne tend à concentrer l'essentiel des eaux précipitées durant le printemps et l'automne. Aussi, les précipitations de la période estivale s'effectuent le plus souvent sous forme d'averses orageuses, parfois extrêmement intenses. Et ceci constitue une spécificité climatique fondamentale du Briançonnais expliquant la sensibilité de ses vallées aux mouvements de terrain et surtout aux dynamiques torrentielles.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

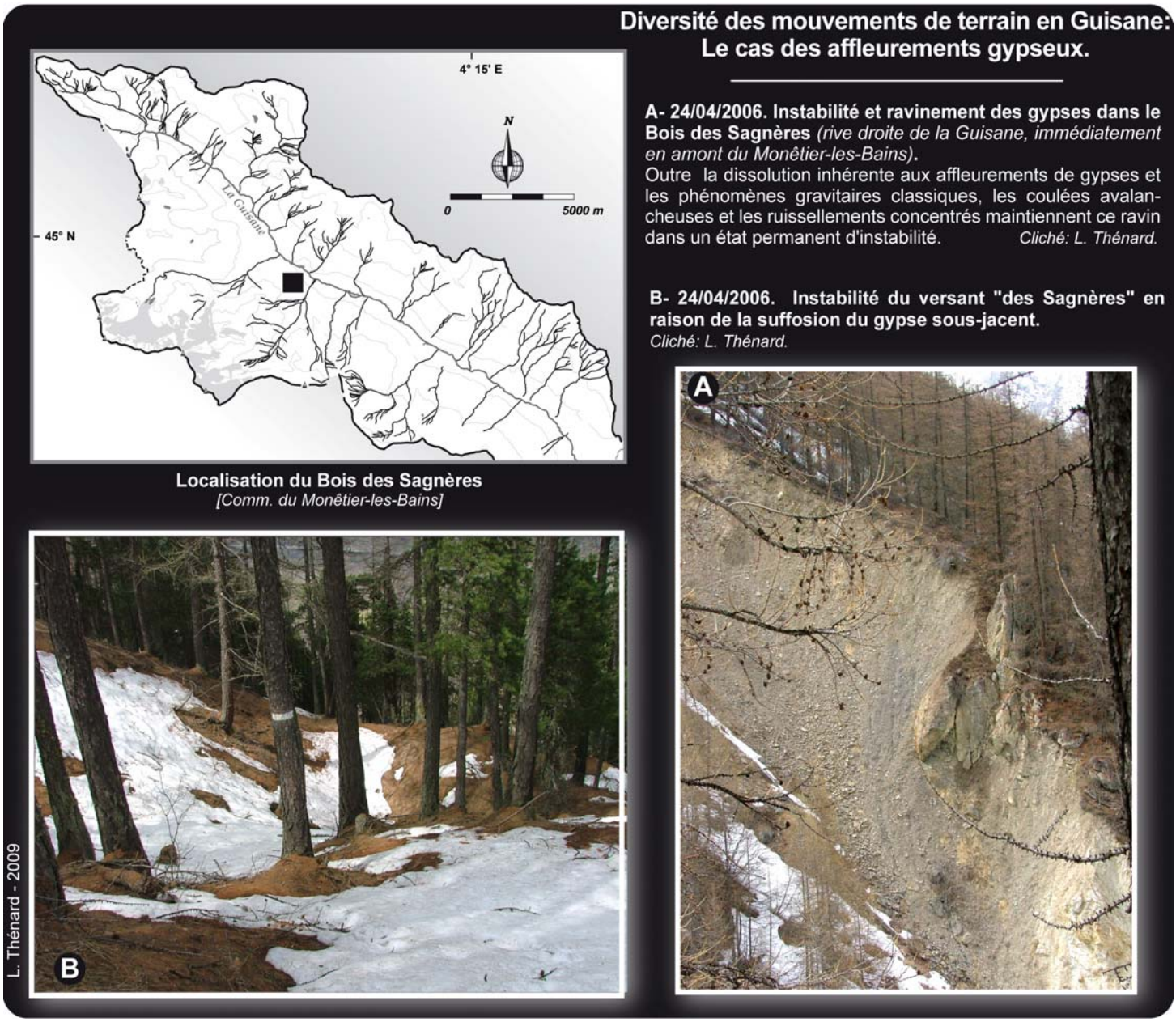


Figure 43: Diversité des mouvements de terrain en Guisane.

Pour ne prendre que l'exemple de la station de Briançon, les mois de mai et juin rassemblent près de 17% *(129,1 mm)* des précipitations annuelles moyennes, et toujours en moyenne, environ 33% de celles tombées entre mai et octobre *(393mm)*. Ainsi au printemps, en Guisane comme dans le reste du Briançonnais, la fonte des neiges coïncide avec un allongement sensible des séquences pluvieuses (Lahousse, 1996). Or certaines années, ces précipitations s'abattent sur des sols déjà gorgés d'eau de fusion, et donc localement sur des formations en équilibre précaire.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

En Guisane, les exemples de déclenchement ou de réactivation de mouvements de terrain lors des périodes printanières ou automnales sont particulièrement nombreux. Par exemple, une coulée boueuse s'est déclenchée dans le bassin versant du torrent de Saint-Joseph le 28 octobre 2004, mobilisant à cette occasion plusieurs milliers de m^3. Malgré le reboisement RTM plus que centenaire, la coulée boueuse a créé un large sillon de 10 à 20 mètres de large et sur plus de 400 mètres. Le lobe frontal de la coulée s'est stabilisé à l'apex du cône torrentiel *(Alt. : 1630 m)*, rappelant sans autres dommages aux riverains l'extrême sensibilité de ce secteur aux mouvements de terrain et leur proximité avec un système torrentiel encore redouté de nos jours.

Les interconnexions entre les torrents et les mouvements de terrain sont extrêmement nombreuses et variées dans toute la vallée, notamment dans ses sections médiane et aval. En effet, en complément de contextes climatiques et morphostructuraux particulièrement propices à l'instabilité des versants, l'incision torrentielle apparaît comme un des facteurs principaux pour le maintien et la réactivation des mouvements de terrains. En retour, ces derniers participent parfois activement à la recharge sédimentaire des lits torrentiels ou à l'alimentation de dynamiques particulièrement morphogènes et éventuellement dommageables, comme les laves torrentielles. L'association de l'instabilité des versants avec l'efficacité de l'érosion torrentielle explique probablement l'intensité des crues torrentielles dans cette vallée alors que la grande majorité des bassins torrentiels n'excèdent pas 5 km² de superficie [Cf. 2.2.2.1].

Particulièrement fréquente, cette interaction entre les mouvements de terrain et les chenaux torrentiels s'applique à des degrés divers dans presque tous les bassins versants de la moyenne et basse vallée de la Guisane. Si l'exemple déjà mentionné du torrent de Saint-Joseph est caractéristique, celui du torrent de Merdarel est tout aussi éloquent **[Cf. Figure 44]**.

Avec moins de 3 km² de superficie *(2,87 km²)*, les caractéristiques morphométriques de ce torrent le présente comme l'archétype des organismes torrentiels exposé dans les ouvrages universitaires. En effet, son bassin de réception s'établie entre 2922 mètres *(Tête Noire)* et 2160 mètres environ prenant l'aspect d'un vaste amphithéâtre minéral, réceptacle naturel optimisant la réception et la concentration des eaux précipitées. Aussi son bassin s'organise selon une multitude de ravines ou de chenaux élémentaires, ce qui est probablement lié au fait que les assises géologiques de l'impluvium du Merdarel sont essentiellement composées de brèches jurassiques et des séries du Houiller Briançonnais. L'ensemble du réseau hydrographique de la section supérieure s'unifie vers 2160 mètres d'altitude pour former un chenal torrentiel unique, fortement encaissé dans les formations quaternaires instables. Si l'on y intègre les masses en mouvement *(passées et récentes)*, les formations superficielles recouvrent d'ailleurs plus de 70% de la surface du bassin versant.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

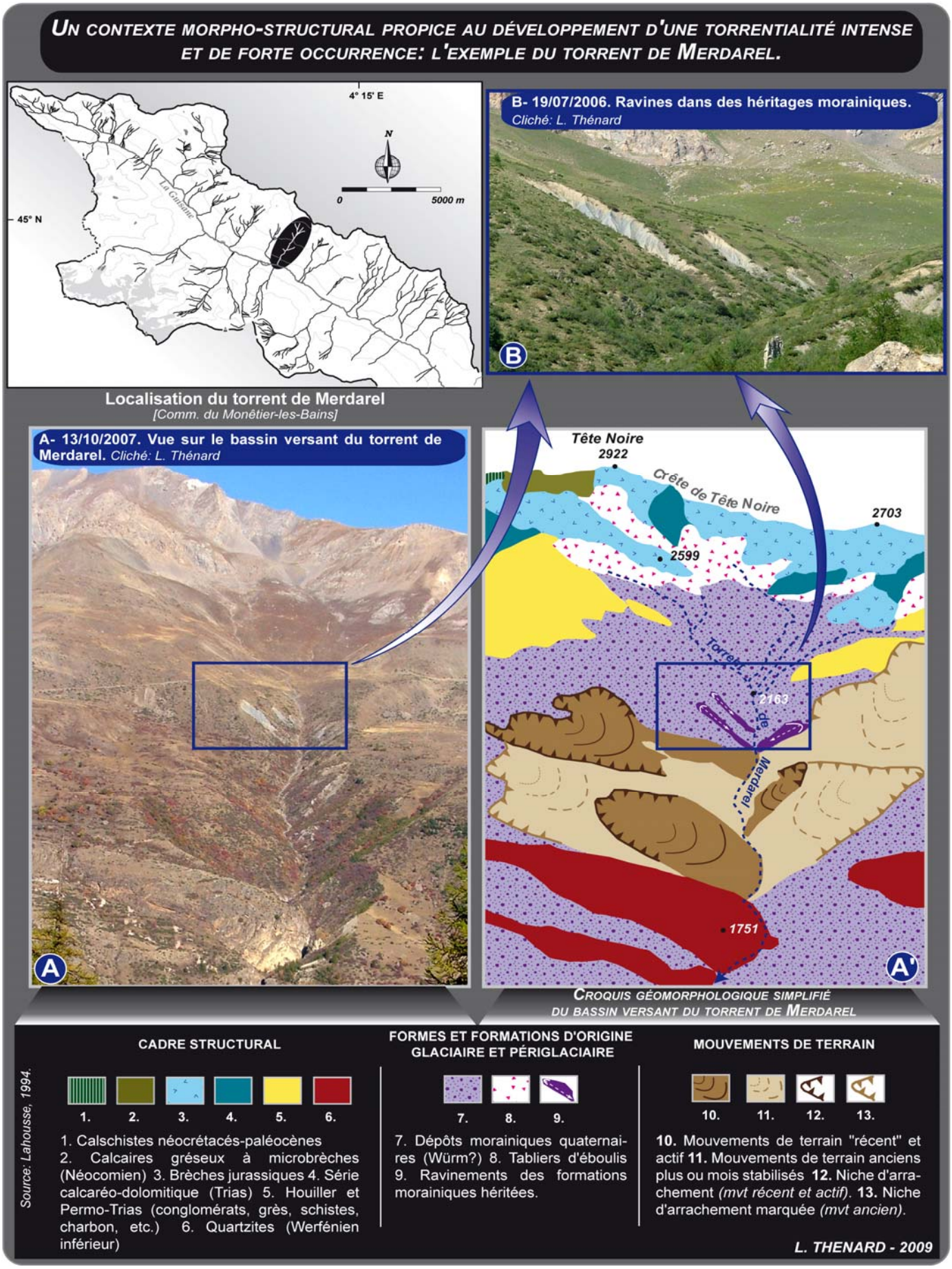


Figure 44: Un contexte morphostructural propice au développement d'une torrentialité marquée et de forte occurrence (exemple du torrent du Merdarel).

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

A la faveur d'un ressaut structural quartzitique, le chenal principal du Merdarel s'engouffre dans un passage en gorge *(ancien gradin de confluence glaciaire)* vers 1750 mètres, puis débouche et s'encaisse sur un vaste cône de déjection de 27 hectares, soit environ 1/10^{ième} de la surface totale du torrent. Le torrent du Merdarel présente ainsi un triptyque *impluvium-chenal principal-cône de déjection* bien équilibré, correspondant parfaitement aux standards théoriques.

Si l'enquête historique n'a révélé que 5 crues depuis le 15^{ième} siècle, ce torrent compte néanmoins parmi les plus redoutés de la vallée. La défiance légitime des autochtones vis-à-vis du Merdarel tient à son impétuosité et à la puissance de ces débordements. Manifestement, le recensement historique ne reflète absolument pas l'activité réelle de ce torrent. Cela résulte probablement de son relatif éloignement des principaux noyaux villageois et au fait que son cône de déjection est un des rares à avoir échappé à l'urbanisation de masse dans cette partie de la vallée. Si ses crues peuvent être particulièrement intenses, leur caractère peu dommageable ne justifiait probablement pas leur recensement. D'ailleurs sur les cinq crues répertoriées, deux l'ont été au cours des 25 dernières années à 4 ans d'intervalle ; respectivement le 13 juillet 1987 et le 12 juillet 1991. Ces deux évènements font état de laves torrentielles particulièrement denses, mobilisant des masses sédimentaires de plusieurs milliers de mètres cubes.

Avec plus de 30 000 m^3 déposés sur le cône et un engravement de la route nationale 91 de 1 à 2 mètres sur près de 100 mètres de large, la lave torrentielle de juillet 1991 a été de loin la plus importante. Le principal enseignement de cet évènement est quatre ans après une première lave torrentielle, le potentiel sédimentaire que le torrent de Merdarel était capable de mobiliser était loin d'être épuisé. L'approche géomorphologique du bassin versant confirme l'extrême dangerosité de ce torrent car il se développe dans un secteur particulièrement instable. D'ailleurs, l'érosion torrentielle est en grande partie à l'origine de la mouvance des formations superficielles, constituant l'essentiel de sa charge sédimentaire.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

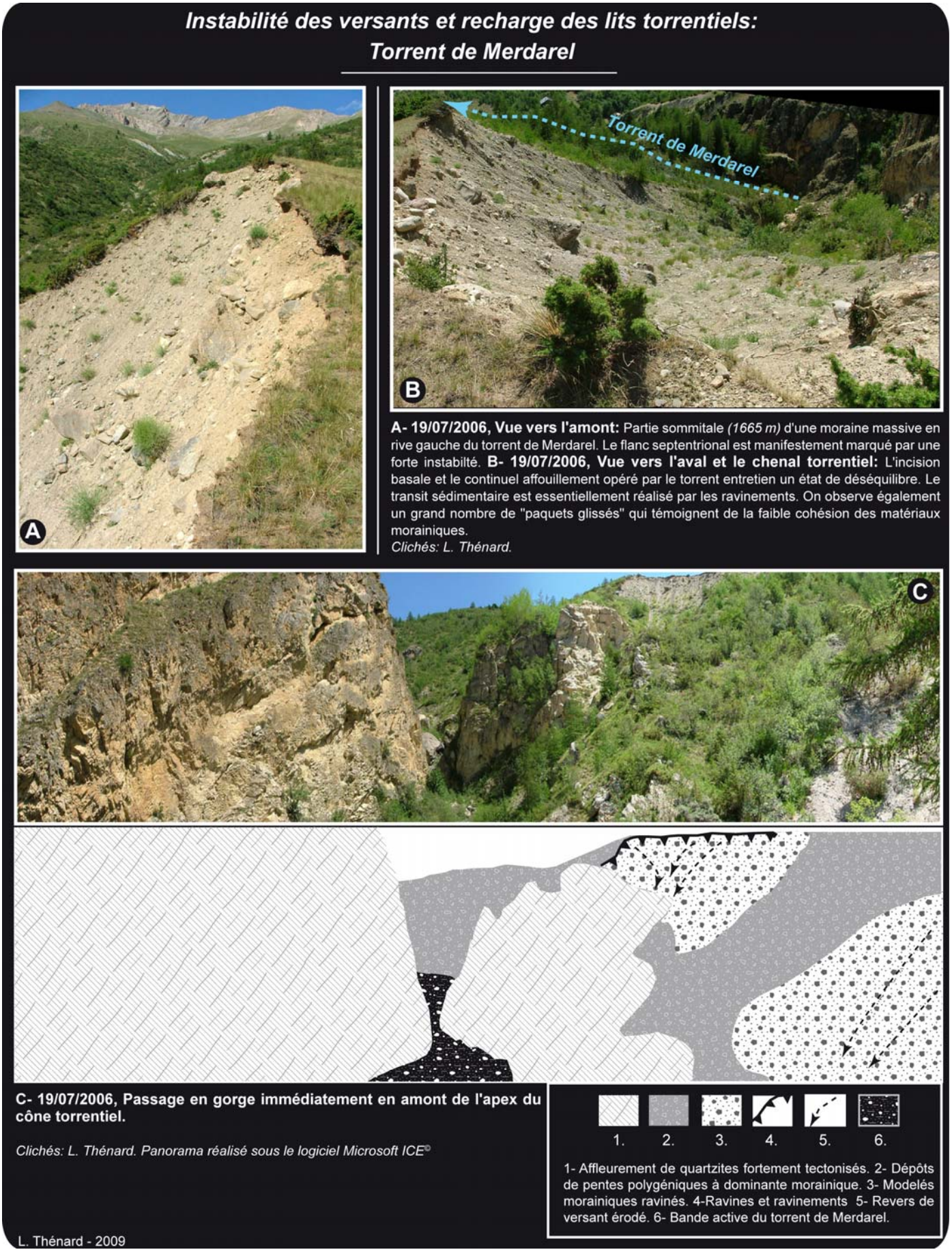


Figure 45: Instabilité des versants et recharge des lits torrentiels (exemple du torrent du Merdarel).

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Depuis la crête de Tête Noire, les eaux de ruissellement cheminent à travers de vastes tabliers d'éboulis périglaciaires puis rapidement se concentrent et acquièrent une forte capacité d'incision. Par suite, elles exercent franchement cette capacité érosive en traversant les formations quaternaires du bassin versant. A proximité immédiate du chenal principal, ces dernières présentent les stigmates caractéristiques d'une instabilité chronique et toujours d'actualité *(ravinements, glissements, etc.)* **[Cf. Figure 45]**. Concernant les différents mouvements de terrain, les niches d'arrachement sont d'autant mieux soulignées que la couverture arborée est particulièrement faible dans ce bassin versant. Les surfaces boisées couvrent effectivement moins de 3% du bassin versant *(8,5 ha)*. Les raisons de cette quasi absence de couverture forestière sont essentiellement anthropiques, car les gisements Houillers aisément accessibles du haut bassin versant ont engendré des défrichements massifs. Infailliblement, cela constitue un facteur favorable supplémentaire à l'instabilité des formations superficielles.

A l'instar de bien d'autres torrents de la vallée, on mesure ici l'importance des héritages géomorphologiques dans le diagnostic de l'aléa torrentiel. Chaque crue torrentielle est susceptible de provoquer des réactivations de mouvements de terrain et parallèlement ces derniers constituent l'essentiel de la recharge détritique du torrent et/ou participent directement à l'alimentation des laves torrentielles. Les ravinements vifs dans les placages morainiques impliquent une prise en charge rapide de ces dépôts, généralement diamictiques, et donc la possibilité d'une forte montée en compétence du torrent lors d'averses orageuses. Ce scénario s'est d'ailleurs vérifié lors des deux crues récentes préalablement citées. En tout état de cause, nos investigations de terrain *(mesures tachéométriques)* permettent d'estimer que les masses en mouvement susceptibles d'être exploitées par le torrent sont de l'ordre d'environ 250 000 à 300 000 m^3. Ce qui correspond aux mouvements les plus "récents" dont les lobes frontaux sont en contact direct avec le chenal principal.

Il est tout de même difficilement concevable que de tels volumes puissent être mobilisés au cours d'un seul évènement. Toutefois, l'instabilité des héritages quaternaires assure au torrent de Merdarel d'intarissables sources sédimentaires. Ces commentaires s'appliquent également à d'autres torrents de la vallée, et dans des proportions tout aussi considérables. Les torrents de Saint-Joseph, de la Salle, de la Chirouze, du Bez, du Verdarel ou encore du Sainte-Elisabeth disposent d'une configuration géomorphologique sensiblement comparable.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

LA RETOMBEE MERIDIONALE DU GRANON.

Outre le caractère assez meuble et imperméable du substrat *(conglomérats, grès, schistes, etc.)*, ces désordres trouvent en grande partie leur origine dans les glaciations quaternaires et les phases de décompressions paraglaciaires consécutives. Ce versant a d'ailleurs fait l'objet d'études relativement récentes auxquelles nous nous référons largement pour la présentation et l'appréhension globale du secteur (Lahousse, 1989 ; 1991 ; 1994 ; 1996). En tête de versant[1], s'individualise *le complexe de coulées à blocs du Granon*, c'est-à-dire le principal mouvement de terrain et sans doute le plus ancien. La zone de départ du mouvement se caractérise par un décrochement topographique marqué et son tracé apparaît assez festonné, notamment dans sa portion orientale. Ce mouvement couvre globalement les bassins de réception des torrents de la Salle, de la Chirouze, de Saint-Bernard et du Verdarel et traduit une déformation lente et multicyclique du versant. Aujourd'hui, il apparaît dans l'ensemble stabilisé n'étant plus affecté que par des réactivations superficielles et localisées. Néanmoins, le haut bassin versant du Verdarel reste à l'heure actuelle une zone d'instabilité chronique avec de fréquentes réactivations. En effet, ce sont essentiellement les torrents qui opèrent les retouches les plus sensibles, en effectuant depuis des millénaires de multiples incisions et affouillements. En conséquence, ce secteur constitue une source sédimentaire inépuisable pour ces torrents dont la partie supérieure des bassins versants s'inscrit et s'organise à la surface de la *coulée du Granon,* ce qui favorise le cas échéant le développement d'importantes laves torrentielles. Parmi eux les torrents de la Salle, de la Chirouze et du Verdarel sont considérés à juste titre comme particulièrement redoutables. Ce qui n'a pas pour autant réfréner la fièvre immobilière sur leur cône de déjection au cours des dernières décennies…

* Schématiquement de la Porte de Cristol *(2531 m)* au col des Barteaux *(2382 m)*, en passant par le col de Granon *(2404 m)*.

Encadré iv : La retombée méridionale du Granon.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

1.4. LE CADRE METHODOLOGIQUE.

> "Un concept est une invention à laquelle rien ne correspond exactement, mais à laquelle nombre de choses ressemblent."
>
> Friedrich Nietzsche – Posthumes

Poser le cadre méthodologique d'une étude est avant toute chose déterminer l'axe scientifique choisi et surtout en définir les limites. La justification des choix opérés ainsi que la présentation de la méthodologie d'une analyse confèrent aux résultats un fondement légitime (Gumuchian *et al.*, 2000). Cela permet également d'inscrire le travail dans un courant de recherche spécifique, et donc de s'offrir à la critique objective de son champs disciplinaire.

Or, à l'instar de toutes les disciplines scientifiques, les géographes disposent aujourd'hui d'une palette de méthodes et donc d'outils très étendue et très diversifiée. Et ceci est le résultat d'une évolution globale mais très sensible dans les sciences environnementales. Les thématiques traitées étant de plus en plus resserrées et diversifiés, les spécialisations disciplinaires se sont multipliées et l'impérieuse nécessité de quantification s'est imposée. Cette volonté d'étayer une analyse sur des données chiffrées tend intrinsèquement à une plus grande rigueur méthodologique afin de crédibiliser les résultats obtenus ou les hypothèses avancées. Notre approche géographique du risque s'inscrit dans cette démarche scientifique et le caractère transversal de cette thématique doit conduire à l'établissement d'interconnexions toujours plus élargies avec d'autres sphères disciplinaires.

Si notre étude est évidemment géographique par son approche du risque, elle est plus spécifiquement géomorphologique par l'expertise de l'aléa torrentiel. Or, pour le géomorphologue, le terrain et sa "lecture" reste un élément fondamental de son expertise. Le terrain est à la fois base, référence, et cadre de son raisonnement. Raoul Blanchard, illustre géographe français de la première moitié du 20^{ième} siècle, n'affirmait-il pas ─ non sans ironie ─ que *"la géographie s'apprend d'abord par les pieds"*. Gageons que ce célèbre adage se soit effectivement vérifié par l'expérience et les enseignements acquis au cours des centaines de kilomètres parcourus dans les torrents de la Guisane, mais aussi dans les torrents les plus actifs de la Haute-Durance ou du Piémont lombard. L'utilisation de divers outils est indispensable dans le cadre de notre analyse, mais elle ne saurait se substituer ou se passer de l'approche tant naturaliste que quantitative du terrain. Tout au long de ces années de recherche, le "terrain", si cher aux géographes, a toujours été l'élément référent de notre réflexion.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

Nous passerons donc successivement en revue, l'origine et la nature des principales données utilisées, les outils choisis et employés pour le traitement de ces dernières ; et enfin, après un paragraphe consacré à l'acquisition et au traitement des données géomorphologiques de terrain, nous présenterons le modèle conceptuel du "SIRTOS" *(Système d'Informations sur le Risque Torrentiel à Serre-Chevalier)*, conçu pour cette étude.

1.4.1. Les données employées et les principaux outils de leur traitement.

Étudier le risque torrentiel à l'échelle d'une vallée comme celle de la Guisane, suppose de coupler les connaissances sur les aléas et sur la vulnérabilité *(donc sur les enjeux)*. Cette approche impose nécessairement des emboîtements spatio-temporels, et par voie de conséquence, l'étude d'interactions souvent d'une grande complexité.

En conséquence, il a fallu regrouper, trier, traiter et interpréter un grand nombre de données *(qualitatives et quantitatives)*. L'approche transversale que suppose l'étude des risques "naturels" implique un certain éclectisme des données employées et la multiplicité des sources (Cf. tableau II). A noter que les données de terrain feront l'objet d'une présentation distincte de celles développées ci- dessous.

Globalement et malgré cette diversité, cette masse de données peut se subdiviser en quatre grands types :

- les données historiques.
- Les données administratives
- les données issues de la télédétection.
- les données de terrain.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Type de données	Détails	Sources
Cartes anciennes	**Carte de Cassini, cadastres, carte d'Etat-major n° 189 de 1853, cartes topographiques ante-1950**	**IGN, Service Géographique des Armées, Mairies, RTM 05, Archives Départementales des Hautes-Alpes *(ADHA).***
Cartes topographiques, géologiques et géomorphologiques	**Cartes topographiques I.G.N 1/25 000 & 1/100 000ième ;** **Cartes BRGM au 1/50 000 n° 798** (La Grave)**, n° 822** (St-Christophe-en-Oisans)**, n° 823** (Briançon)**. Cartographie géomorphologique au 1/10 000ième de la vallée de la Guisane.**	**I.G.N, BRGM, Thèse de P. Lahousse.**
Cartes réglementaires	**Atlas des zones inondables, carte des bassins versants périmétrés RTM, carte des ZNIEFF** (Zones Naturelles d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique) ; etc.	**I.G.N ; DIREN ; RTM; IFN; DDE; CRIGE-PACA**
Archives photographiques	**Photographies anciennes ; photographies aériennes obliques ; photographies de crues torrentielles ou des dommages ; cartes postales anciennes ; photographies des ouvrages de correction torrentielle, actifs ou passifs ; Aquarelles militaires ;**	**Fond RTM 05, DDE 05, Mairies, ADHA, Médiathèque Nationale de l'Architecture et du Patrimoine (MNAP), scientifiques divers, associations locales (SGMB-*Société géologique et Minière du Briançonnais / Le Quadrille du Tabuc/Vallouimages),* PGHM collectionneurs de cartes postales anciennes, particuliers riverains et/ou sinistrés, littérature régionale.**
Données de terrains	**Photographies de terrain ; données topométriques & GPS ; données dendrochronologiqes ; datations Radiocarbone (C14) ; granulométrie ; cartographie géomorphologique.**	**Lucas Thénard – Labo CNRS Lyon – SGMB – P. Lahousse.**
Photographies aériennes I.G.N.	***Séries de 1939 à 2003 :*** - 1939 : *F 3536* - 1952 : *F 3535- F 3536 – F 3438* - 1961 : *F 3536 – 3636* - 1971 : *FR 2116* - 1981 : *IFN 05P* - 1993 : *FD 05* - 1999 : *BD Ortho IGN V1* - 2003 : *BD Ortho IGN V2*	**I.G.N**
Bases de données numérisées & géoréférencées	**BD Topo IGN sur la Guisane.**	**I.G.N**
Données climatiques	**Séries journalières de précipitations et températures sur les stations de Briançon**	**Météo-France / CEMBREU**
Données administratives	**PZERN ; POS ; PLU ; arrêtés de catastrophe naturelle ; atlas du Parc National des Écrins ; Projets de PPR ; cadastres (registres) ; procédures d'indemnisation,**	**Mairies, RTM 05, D.D.E 05, D.D.A.F 05, DIREN PACA, Préfecture des Hautes-Alpes, ADHA, INSEE, Assurances, Comité Départemental du Tourisme des Hautes-Alpes, Parc National des Écrins.**

TABLEAU II PRINCIPALES DONNEES EMPLOYEES DANS L'ANALYSE.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

1.4.1.1. Les données historiques.

Ce premier type de données est essentiellement issu du traitement et de l'analyse de documents manuscrits, cartographiques ou iconographiques. Ce travail a été réalisé auprès d'instances parfois très différentes : *archives municipales, bibliothèques municipales de Grenoble et de Briançon, Archives Départementales des Hautes-Alpes (ADHA), Archives du service RTM de Gap*[24]*, Médiathèque Nationale de l'Architecture et du Patrimoine* [25]*, Archive du 159*^{ième} *Régiment de la Montagne de Briançon, bibliothèques universitaires, bibliothèque nationale de France, etc.).*

Entre autre utilité, les données historiques informent plus ou moins directement de l'évolution de la torrentialité et de sa perception au cours des siècles passés. Elles replacent l'aléa et le risque torrentiel dans un cadre historique élargi, étendant ainsi notre vision, forcément actuelle des torrents. Les illustrations, les photographies, les descriptions écrites sont souvent riches d'enseignements de ce point de vue car elles témoignent d'une pratique et d'une vision de la montagne *(et de ses aléas)* à une époque donnée. Ces références historiques inscrivent la relation "torrent-société" comme un fait ancestral et permettent d'en apprécier l'évolution jusqu'à la notion récente de risque torrentiel (Piégay et Bravard, 2000). Par exemple, le recensement des crues torrentielles [Cf. 3.2], qui jadis était très ponctuel, est quasi-exhaustif pour la période récente.

D'autre part, il est parfois possible d'extraire des indications ou des données brutes sur l'évolution du contexte environnemental des torrents (Garitte, 2006). A partir de ces informations, il est éventuellement envisageable de reconstituer grossièrement le paléo-environnement de certains organismes torrentiels à une échelle d'ordre séculaire. Par exemple, les données recueillies peuvent renseigner sur la végétalisation des versants, ou des activités agro-pastorales ou minières *(fréquentes dans les formations du Houiller en Guisane)* influençant directement l'activité érosive du bassin versant.

Aussi et surtout, les données historiques dévoilent les caractéristiques des crues *(causes et manifestations)*, même si toutes les crues morphogènes n'ont pas systématiquement fait l'objet d'une note en archive et loin s'en faut.

[24] Une convention RTM

[25] Ministère de la culture.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

1.4.1.1.1. L'inventaire des évènements torrentiels.

Pour le volet méthodologique, il importe de préciser la distinction entre référence et évènement, car cette confusion peut-être source d'une sous ou, à l'inverse, d'une surreprésentation statistique. En effet, une référence en archive peut renvoyer à plusieurs crues torrentielles concomitantes; inversement, plusieurs références archivistiques peuvent ne concerner qu'un seul évènement torrentiel *(ex : crues de 1856)*.

Aussi, ces données sont empreintes d'une relative subjectivité, devant amener à la plus grande prudence quant aux traitements statistiques et à l'interprétation qui en est faite. Une crue morphogène mais non dommageable à toutes les chances d'échapper au recensement *(ex : atterrissement d'une lave torrentielle dans le chenal d'écoulement, sans traces visibles sur le cône de déjection[26])*. Ceci est d'autant plus plausible pour les torrents non-périmétrés RTM ou non corrigés, pour les torrents situés à distance respectable de toute activité ou implantation humaine et pour les références anciennes *(du 14^{ième} au 19^{ième} siècle)*. Cette réflexion critique sur l'exhaustivité du recensement se fait l'écho d'autres recherches portant sur la dynamique torrentielle dans le massif alpin, dont les auteurs signalent cette incertitude qualitative (Lahousse, 1997 ; Antoine et Desailly, 1998; Veyrat-Charvillon, 2005). Mais lorsque la qualité du recensement est avérée et à l'échelle d'une vallée comme celle de la Guisane, cette approche géo-historique contribue à faire ressortir les organismes torrentiels les plus actifs, ou plus exactement, les plus problématiques *(gènes, dégâts, victimes*) du PAG ou de la période contemporaine. **L'évaluation de la dangerosité d'un torrent et la gestion du risque ne peuvent faire abstraction d'une enquête historique.**

Au cours des vingt dernières années, plusieurs études se sont attachées à recueillir un maximum de références historiques sur les aléas naturels dans le département des Hautes-Alpes (Fanthou, 1994; Lahousse, 1994 et 1997; Baraille, 2001 ; Blanchard *et al*, 2006). En fonction des thématiques traitées, ces inventaires archivistiques ont été réalisés à des échelles spatiales et temporelles variables. Ces analyses on été actualisées par nos recherches personnelles en Guisane.

[26] Torrent du Verdarel : « petite » lave torrentielle en 1999 affectant la section supérieure du Grand Verdarel (Lahousse et Salvador, 2002), non recensée dans la BD RTM ni dans les autres archives.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

1.4.1.1.2. Les autres données historiques.

Pour réaliser notre analyse diachronique des bassins torrentiels et l'évolution de la vulnérabilité sur les cônes de déjection, d'autres données historiques ont été exploitées. En particulier, des documents renvoyant à une évolution spatiale : *plans, cartes anciennes, aquarelles militaires, cartes postales anciennes, photographies obliques*[27]*, etc*. Ces données sont généralement employées dans le cadre d'une analyse diachronique. Par exemple, elles constituent les éléments de base pour déterminer les changements de l'occupation des "sols", les variations surfaciques des bandes actives, l'ampleur de la correction torrentielle ou l'évolution de l'urbanisation sur les cônes de déjection, etc.

En dehors des institutions "sources" déjà mentionnées *(communes, RTM, ADHA, etc.)*, il nous faut noter que les associations régionales et locales *(SGMB, Vallouimages, Quadrille du Tabuc, etc.)*, les archives militaires du Centre National d'Aguerrissement en Montagne de Briançon[28] *(CNAM)*, ou encore les riverains victimes ou témoins de crues torrentielles ont été d'un concours précieux dans nos investigations. Concernant l'évolution du contexte environnemental des bassins torrentiels, les documents iconographiques et photographiques apportent une référence de choix pour apprécier, et le cas échéant quantifier, les évolutions paysagères. Et bien souvent, en moyenne et basse vallée de la Guisane, le contraste est saisissant entre les situations d'hier et d'aujourd'hui.

Dans le cadre de notre analyse, un tri conséquent a été réalisé parmi la grande quantité de documents récoltés. Par exemple, un grand nombre de documents ne disposent pas de références géographiques *(localisation)*. Il ne s'agit pas d'une réelle difficulté pour une photographie oblique de la vallée ou d'un versant, mais cela devient bien plus problématique lorsqu'il faut localiser des ouvrages de correction ou de protection, aujourd'hui disparus.

L'apport des données historiques est donc indéniable dans l'étude des évolutions environnementales contemporaines. Mais le recueil et l'exploitation de ces documents doivent faire l'objet de la plus grande attention en raison des incertitudes liées à la diversité et à la qualité des documents, ainsi que des échelles spatio-temporelles considérées.

---

[27] Nous excluons ici volontairement et arbitrairement les photographies aériennes de l'IGN, même si les photographies IGN les plus anciennes pourraient avoir toute leur place dans les données dites historiques. Leur mode d'acquisition, les traitements réalisés et l'exploitation qui en est faîte, nous ont conduit à les intégrer dans la gamme des données issues de la télédétection.

[28] Le Centre National d'Aguerrissement en Montagne est basé dans l'enceinte de l'ancien 159ième Régiment d'Infanterie de Briançon. L'accès aux archives militaires nous a été aimablement accordé en 2003 par le capitaine Nagel. Des aquarelles militaires datant de la fin du XIXième siècle *(1895)* ont notamment pu être photographiées.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr
Thèse L. Thénard, 2009 – Laboratoire TVES ; Université Lille 1- Sciences et Technologies de Lille.

1.4.1.2. Les données issues des techniques de télédétection.

Par définition, ce sont des données indirectes, acquises à distance (Minvielle et Souiah, 2003), issues le plus souvent de documents de type "image" *(raster)*, offrant une vue "zénithale" de la région ou du secteur étudié. Avec celles de terrain, ces images *(au sens large)* constituent les données parmi les plus exploitées dans notre analyse.

Elles appartiennent à deux grandes catégories: les photographies aériennes *(IGN®)* et les enregistrements satellitaires.

1.4.1.2.1. Les photographies aériennes.

Les photographies aériennes sont des données "brutes" représentant un instantané du réel. Ces clichés offrent également une vision verticale d'une remarquable précision *(plurimétrique pour les plus anciennes à sub-métrique pour les orthophographies les plus récentes)* et donc parfaitement adaptées aux analyses spatiales à grande échelle (1/5 000 – 1/30 000^{ième}). En charge de leur réalisation sur l'ensemble du territoire, l'IGN® dispose et propose à la vente des clichés de missions régulièrement renouvelées[36], de la première moitié du 20^{ième} siècle *(à partir de 1921)* jusqu'aux orthophotographies numériques actuelles.

Quoi qu'il en soit, cette qualité de l'information spatiale sur un laps de temps relativement long à l'échelle contemporaine constitue un atout essentiel pour une analyse diachronique multiscalaire. Les évolutions des dynamiques naturelles et leurs interactions avec les activités et/ou les infrastructures anthropiques peuvent alors s'apprécier de manière détaillée et précise.

D'un point de vue géomorphologique, les photographies aériennes complètent idéalement le travail de terrain *(cartographie géomorphologique – mesures surfaciques diverses)*, que ce soit sur des aspects structuraux ou dynamiques. L'apport le plus évident est qu'elles offrent une vision verticale et globale d'un secteur donné comparativement à la vision généralement oblique et réduite du terrain. Les photographies aériennes offrent ainsi la possibilité de confirmer, d'infirmer ou de compléter une observation réalisée *in situ*.

Depuis quelques années, les progrès accomplis dans les techniques de photo-interprétation et les traitements qui en découlent, permettent d'en extraire de très nombreuses

[36] En moyenne une série par décennie jusqu'aux années 1980, puis les missions ont été renouvelées selon un objectif quinquennal sur le territoire métropolitain *(en moyenne tous les six ans)*.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

données chiffrées et géoréférencées (Cf. 1.3.2). Evidemment et quel que soit le degré de précision, le travail de photo-interprétation ne se substitue pas au travail de terrain !

Pour notre étude en Guisane, 70 clichés noirs et blancs *(N&B)* ont été utilisés pour l'analyse diachronique des morphodynamiques torrentielles contemporaines et de la vulnérabilité en fond de vallée.

Selon les séries, les échelles varient du 1/15 000 au 1/25 000^{ième} et embrassent entre 9 et 25 km² par cliché. Aussi, une série d'orthophotographies *(BDOrtho V2©)* de 2003 couvrant la vallée de la Guisane a été utilisée comme donnée de référence pour le traitement des clichés plus anciens [Cf. 1.3.2]. Elles ont également été employées comme base pour la cartographie à grande échelle et pour l'extraction de données géographiques *(qualitatives et quantitatives)* intégrées sous SIG.

Au final et sur les sites choisis pour notre étude, les missions les plus couramment retenues sont celles de 1939, 1952, 1961, 1971, 1981, 1986, 1993, 1999, et enfin 2003. Ce qui correspond à une période d'observation non linéaire de soixante quatre années. En fonction des missions, notamment les plus anciennes, la couverture de la vallée de la Guisane n'est pas complète. Cela implique des disparités, et donc des choix dans les dates d'observation selon les bassins torrentiels étudiés.

Les photographies aériennes ont été exploitées selon différentes modalités en fonction des objectifs recherchés :

Pour commencer, deux niveaux d'échelles ont été retenus : celle des bassins versants torrentiels et celle des cônes de déjection *(variations des zones d'emprise torrentielle, urbanisation, etc.)* ou éventuellement de secteurs très localisés dans le bassin versant, présentant un intérêt d'étude spécifique.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

➢ *Analyse par photo-interprétation des bassins versants torrentiels* :

A l'échelle des bassins versants, la BD Ortho*V2*© de 2003 *(IGN®)* a été employée comme document de base et de référence pour toutes les analyses spatiales. En effet, à l'échelle du 1/ 25 000ième, ces dalles orthorectifiées offrent une résolution spatiale de 0,5m d'une grande précision *(résolution = 0,5m * 0,5 m ; soit 2,5m²/pixel)*. Même si évidemment l'énergie très prononcée du relief peut parfois avoir raison de la qualité de l'orthorectification. Néanmoins, la qualité de l'information spatiale fournit par les orthophotographies permet de réduire sensiblement les marges d'erreurs ou les approximations en terme d'interprétation.

En complément d'autres sources d'informations *(relevés de terrain, cartes topographiques IGN® au 1/25 000ième, cartes et photographies anciennes, etc.)* ces orthophotographies nous ont, entre autre, permis d'actualiser la cartographie géomorphologique de certains bassins versants (Lahousse,1994/1998a), et de réaliser la plupart des fonds cartographiques de notre analyse *(délimitation des bassins versants, des réseaux hydrographiques, des surfaces végétalisées, des infrastructures anthropiques, etc.)*. Les clichés N&B antérieurs ont été interprétés[37] dans le cadre d'une analyse diachronique des bassins torrentiels guisanais faisant l'objet d'une étude individualisée.

➢ *Etudes grande échelle :*

A plus grande échelle, par exemple dans l'étude et la mesure des bandes actives ou des chenaux torrentiels sur les cônes de déjection, le souci de précision et la méticulosité adjointe aux mesures de largeur ou de surface devient fondamental.

Pour l'étude des cônes torrentiels, des extraits de photographies aériennes ont été scannés à haute résolution *(900 dpi[38])*. A cette échelle, le niveau de résolution a été arbitrairement déterminé suite à différents tests issus de mesures de surface de bandes actives sur des extraits de clichés numérisés entre 500 et 1200 dpi, et comparées avec des mesures de terrain. Les résultats obtenus démontrent qu'avec une résolution comprise entre 800 et 1000 dpi les valeurs de longueur et de surface sont très proches. Alors que ces valeurs augmentent sensiblement avec une résolution inférieure, et à l'inverse se réduisent pour une définition supérieure à 1000 dpi. La valeur 900 dpi a donc été choisie sur la base du meilleur compromis entre la précision recherchée et le poids des fichiers à traiter. Ces tests et résultats effectués sur des extraits photographiques dans l'optique de quantifier les variations contemporaines des bandes actives confirment ceux réalisés récemment dans le Diois (Liébault, 2003).

[37] L'examen et l'interprétation des clichés aériens se sont généralement réalisés à l'aide de lunettes stéréoscopiques et/ou après numérisation à haute résolution *(650 dpi)*.

[38] Dpi : "Dots Per Inch" ou PPP (en français) c'est à dire"Points Par Pouce". Le pouce est une unité de longueur anglo-saxonne. Par convention, l'équivalence d'un pouce dans le système métrique est de 2,54 cm. En fonction de la résolution choisie et de l'échelle des photographies aériennes, il est alors relativement aisé de déduire les valeurs de distance et de surface.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Cette valeur reste tout de même assez arbitraire car théoriquement il faudrait réaliser ces tests à chaque photographie numérisée, et adapter ainsi la résolution en fonction de l'échelle et surtout de la qualité du cliché d'origine.

D'autre part, pour pallier les distorsions inhérentes à la photographie aérienne *(accentuées par l'effet de pente en milieu montagnard)* nous avons fait le choix pour ces études à très grande échelle d'opérer un redressement géométrique[39] **[Cf. Figure 47]** des photographies aériennes, afin de minimiser les déformations, de géoréférencer les extraits, d'appliquer une échelle commune et surtout d'évaluer la marge d'erreur.

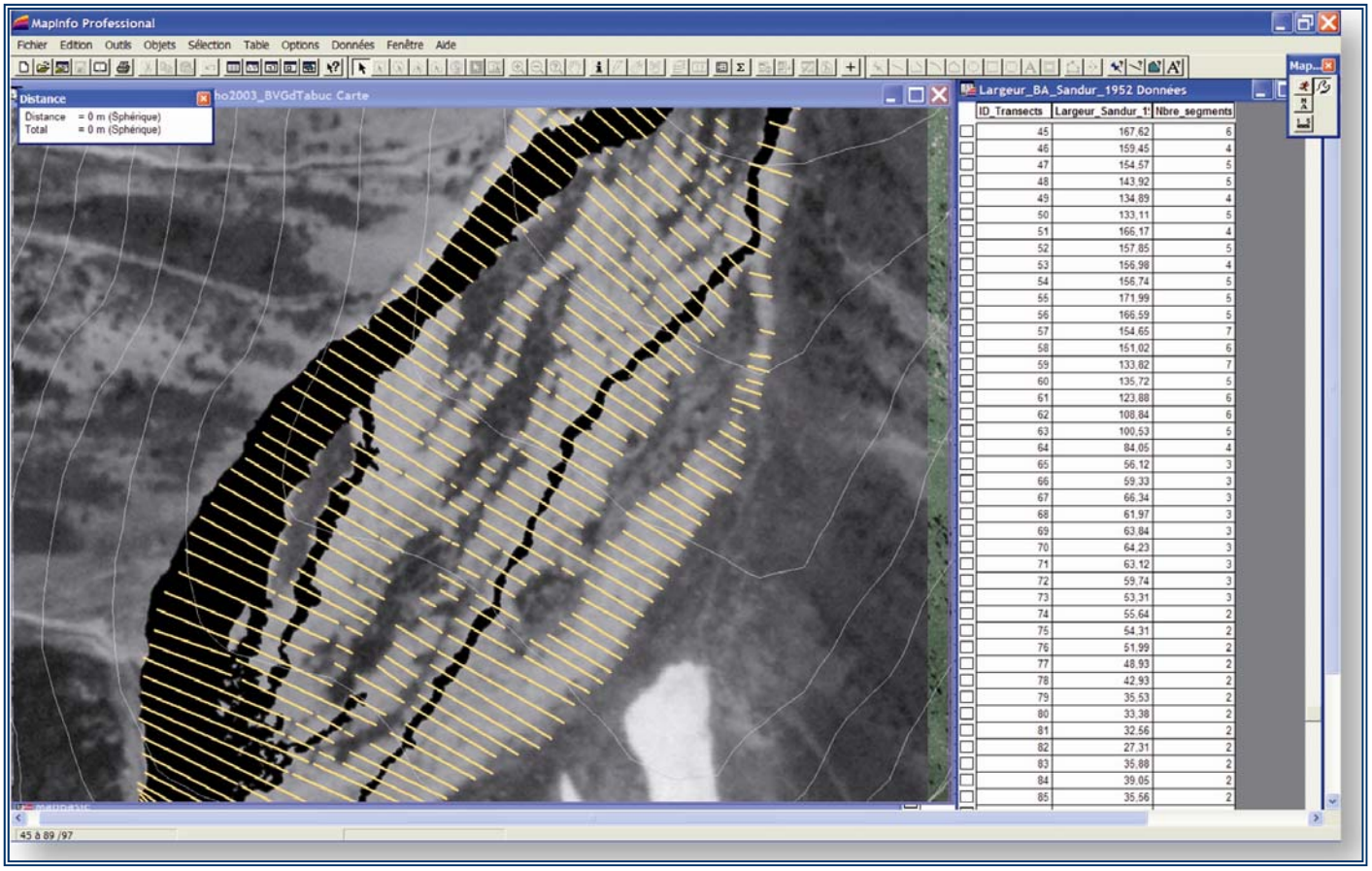


Figure 46: Exemple de transects mesurés sous SIG après la géolocalisation et le redressement géométrique du cliché de 1952. En blanc, la bande active du Grand Tabuc en 1952, en noir celle de 2003.

[39] Réalisé dans des secteurs à faible pente *(<12°)* comme par exemple les cônes torrentiels. Dans la comparaison de clichés, les distorsions et les effets d'optiques liés aux différences de matériel ou d'angles de prise de vue *(donc échelles et d'orientation)* sont exacerbés par l'énergie des pentes. D'autre part, le redressement géométrique n'est pertinent que dans la mesure où les pentes sont peu marquées *(redressement en X,Y et non en X,Y,Z, ce qui devient alors de l'orthorectification)* [Cf. 1.4.2].

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Le géoréférencement des extraits photographiques redressés permet ensuite de les intégrer et de réaliser l'ensemble des mesures de distances et de surfaces sous S.I.G *(MapInfo® 7.5)* **[Cf. Figure 46]** ; une base de données spatialisée peut alors être générée, exploitée et complétée. Outre la rigueur et la méticulosité appliquée aux différents traitements des photographies aériennes, les parades les plus efficaces pour réduire la marge d'erreurs sont sans conteste, l'expérience de la photo-interprétation, une bonne connaissance des dynamiques étudiées et de la configuration du terrain, et enfin dans la mesure du possible une validation des résultats *in situ*. Ce qu'aucun logiciel, aussi performant soit-il, ne saurait réaliser.

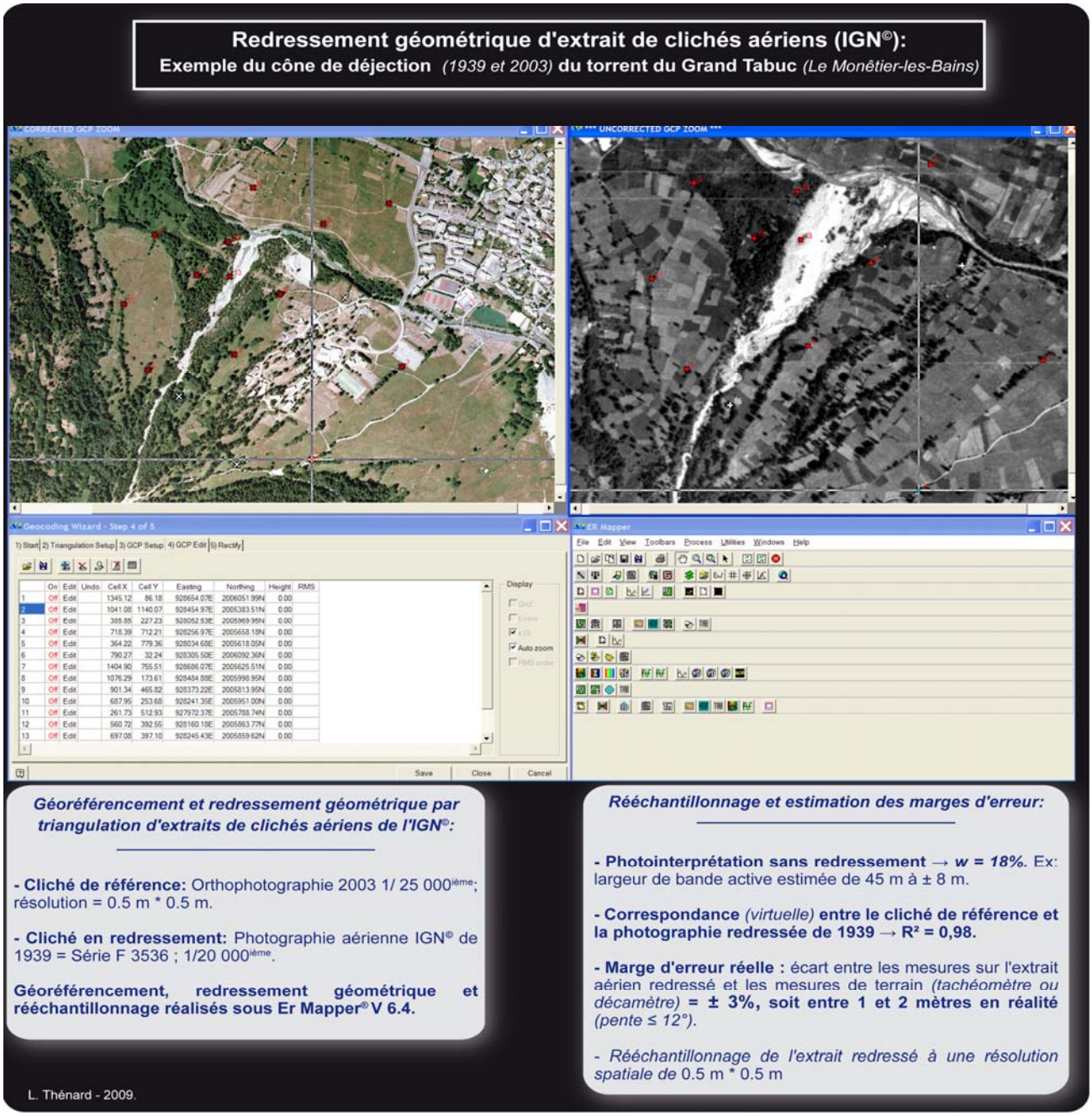


Figure 47: Redressement géométrique d'extrait de cliché aérien (IGN©)

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

1.4.1.2.2. *Les images satellites et les autres référentiels spatiaux.*

Si les applications thématiques et les perspectives d'utilisation des enregistrements satellitaires sont désormais nombreuses, leur usage est resté relativement limité dans le cadre de notre étude. Deux raisons principales ont motivé ce choix: une résolution spatiale trop faible, et un recul temporel insuffisant.

C'est-à-dire finalement une inadaptation spatio-temporelle des images satellites dans le cadre d'une étude à l'échelle des bassins torrentiels. Cet écueil a d'ailleurs été signalé dans d'autres analyses à grande échelle (Congalton *et al*, 2002; Berthier, 2005; Dufour, 2005 ; Fourniadis *et al*, 2007). Les résolutions proposées sont pour les plus courantes[40], souvent trop basses *(de 1000 à 10m)* pour l'analyse fine des torrents. D'autre part, sur notre secteur, les images satellites les plus anciennes de type Landsat *(1-2-3)* datent de 1975. Leur acquisition étaient assurée par des capteurs première génération de type MSS *(Multi Spectral Scanner)* d'une résolution au sol de 80 m *(du visible au proche infrarouge)* à 250 m dans l'infrarouge (Minvielle et Souiah, 2003). Actuellement, les images Landsat 7 les plus récentes offrent une définition spatiale de l'ordre de 5 à 10 mètres en mode panchromatique. Un tel écart de résolution pose le problème d'une marge d'erreur conséquente en terme de comparaison pour des analyses à grande échelle.

Aussi, un recul temporel d'une trentaine d'année paraît nettement insuffisant pour une approche diachronique.

En revanche, dans le cadre d'une approche multiscalaire, les enregistrements satellites offrent une vision globale et complètent l'analyse spatiale préliminaire de la vallée, notamment à propos de l'occupation du sol en Guisane. Ces données ont été traitées et exploitées sous deux logiciels dédiés à la télédétection spatiale, à savoir ENVI 4.0© RSI[41] & Er Mapper 6.4© *Earth Ressource Mapping Ltd*, puis intégrées sous S.I.G.

Sur les aspects généraux, les images satellites ont essentiellement servi comme supports et fonds cartographiques. A l'échelle du département, de la Haute-Durance et de la vallée de la Guisane, elles ont, par exemple, contribué à la délimitation du bassin versant de la Guisane, des domaines glaciaires et périglaciaires, des surfaces boisées, des concentrations urbaines en fond de vallée, etc.

[40] A l'exception des images les plus récentes, issues des satellites Ikonos et Quickbird *(lancés respectivement en septembre 1999 et octobre 2001)* qui ont ouvert une nouvelle ère de la télédétection satellitaire, les images proposées atteignent de très hautes définitions en mode panchromatique (1m à 0,6m)! Si ces dernières sont parfaitement adaptées comme support, elles restent trop récentes pour permettre une analyse diachronique.

[41] Research Systems Inc.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Pour le volet topographique *(altitudes et pentes)* et toujours à l'échelle du département ou de la Haute-Durance, les données de type SRTM[42] ont permis de générer un Modèle Numérique de Terrain (MNT) avec un maillage de 90 m de résolution, soit 3 arc-seconde.. Les aberrations *(altitudes)* ou les vides sont relativement fréquents et les marges d'erreurs moyennes conséquentes ; de l'ordre de 20m en X, Y et de 15 à mètres en altitude (Z) *(source : NASA)*. Ce référentiel nous a permis de réaliser des cartes de pentes **[Cf. Figure 48]** à l'échelle de la Haute-Durance, et d'interpoler des courbes de niveaux à différents degrés d'équidistance *(500, 200 ou 100m)*. Les données de type Landsat ou SRTM sont officiellement et gracieusement distribuées par l'USGS[43] *(United States Geological Survey)*, organisme gouvernemental états-unien spécialisé dans les Sciences de la Terre, et notamment dans la surveillance sismique du territoire américain.

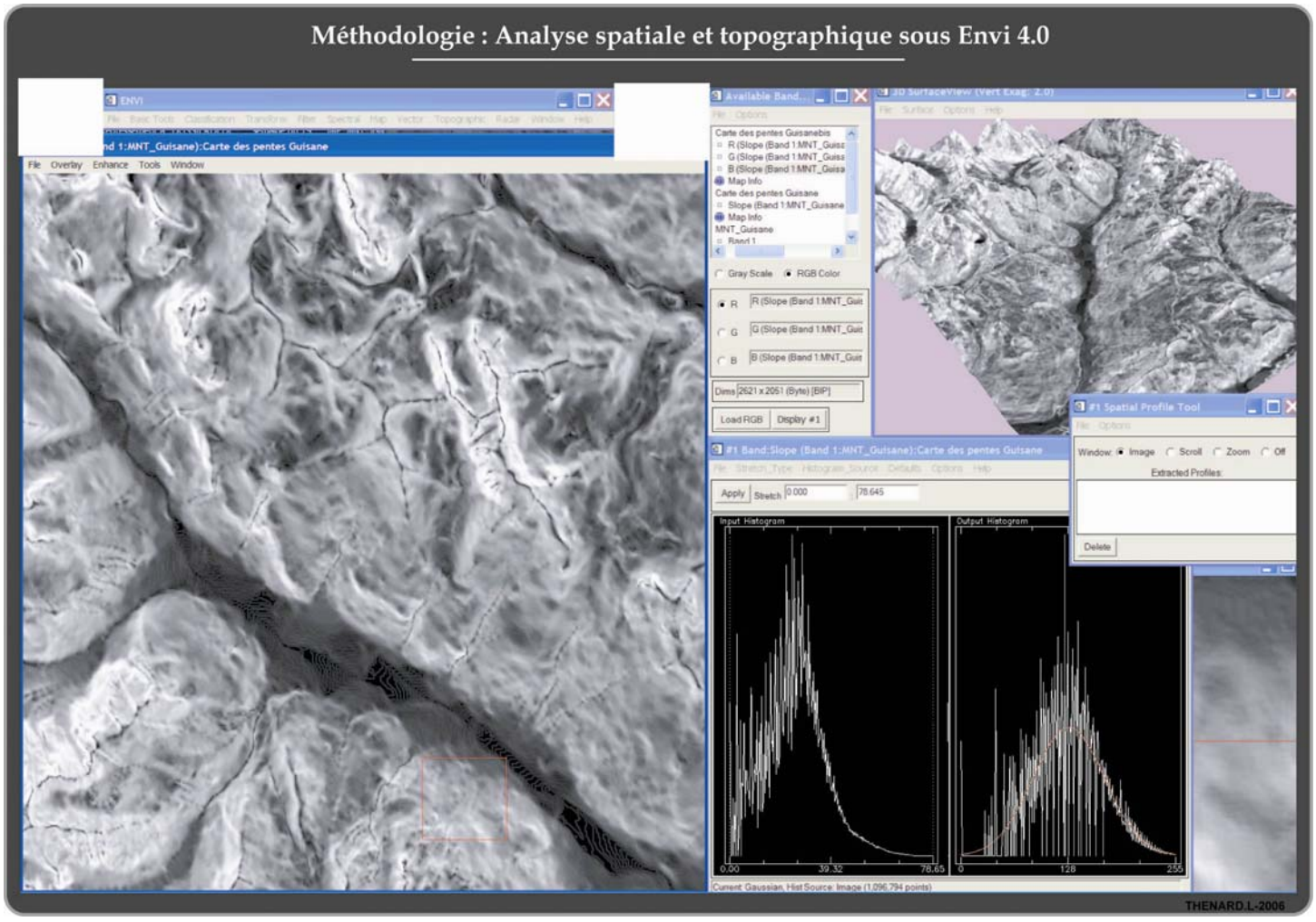


Figure 48: Analyse spatiale et topographique sous Envi 4.0.

[42] SRTM : *Shuttle Radar Topography Mission.* Acquisition de données topographiques à l'échelle du globe, reposant sur l'interférométrie radar. http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/index.html ou http://srtm.usgs.gov/

[43] Enregistrements satellites gratuits en téléchargement sur http://eros.usgs.gov/index.html), et dans une certaine limite en fonction des surfaces couvertes et/ou de la nature des données disponibles au transfert.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

A l'échelle de la vallée de la Guisane ou éventuellement pour les bassins versants torrentiels, nous avons plutôt opté en faveur de la BDAlti© de l'IGN –référentiel du relief sur la France *(MNT)* – car le pas proposé est de 50 mètres, et les données tant planimétriques qu'altitudinales ont été vérifiées et calibrées. La précision des données extraites ou extrapolées est nettement supérieure à celle des données SRTM de la NASA. A partir de cette base de données, ont pu être générés des Modèles Numériques de Terrain *(MNT)*, courbes de niveau *(de 5 à 50 m d'équidistance)* des profils longitudinaux et transversaux, des courbes hypsométriques, etc.

Deux grandes bases de données issues des techniques de télédétection ont également été mises à profit en Guisane. Tout d'abord à partir de la base *Corine Land Cover* 1999, l'IFEN[44] et la DIREN-PACA[45] ont élaboré une base *"occupation du sol"* en Provence-Alpes-Côte d'Azur qui autorise une vision d'ensemble de l'utilisation du territoire à l'échelle de la vallée. Les images employées, traitées et interprétées proviennent en majorité du satellite américain Landsat 7 ETM+, et dans une moindre mesure du satellite indien IRS-1d pour une résolution spatiale variant de 10 à 30 mètres. Cette base permet dès aujourd'hui de dresser les grands traits de l'occupation du sol en Guisane **[Cf. Figure 49]** et permettra à l'avenir de suivre et de mettre à jour régulièrement les informations liées à l'utilisation du territoire.

Au final, les données issues de la télédétection ont été souvent employées comme "toile de fond" de notre analyse. Soit pour l'aspect cartographique, soit pour l'extraction de données chiffrées portant le plus souvent sur des aspects généraux. Par ailleurs, ces données sont par définition géoréférencées et à ce titre elles ont été intégrées au système d'informations sur le risque torrentiel à Serre-Chevalier *(SIRTOS)*.

[44] IFEN : L'Institut Français de l'Environnement est le service statistique du Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement Durable. Il est notamment chargé d'assurer la production et la diffusion de données portant sur l'environnement en France. Site Internet : http://www.ifen.fr/

[45] DIREN

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

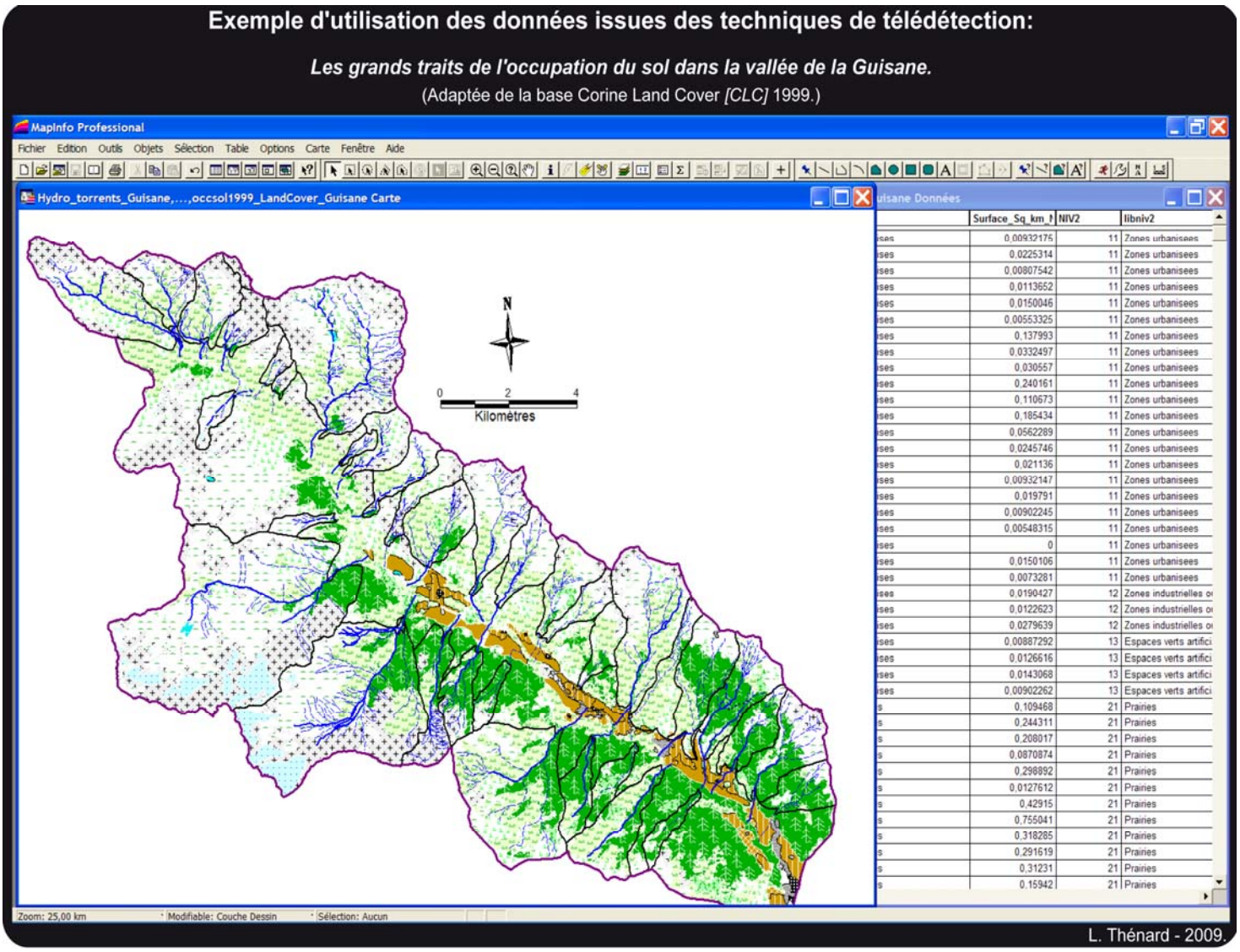


Figure 49: Exemple d'utilisation des données issues des tecniques de télédétection (CLC, 1999)

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

1.4.1.3. Les données administratives.

L'objectif est ici de présenter les grandes sources d'informations de notre analyse même si nous ne pourrons dresser un inventaire tout à fait exhaustif en raison de la diversité de ce type de données. La grande segmentation des domaines de compétence, donc des stratégies institutionnelles, engendre mécaniquement une forte dispersion des données. Ces dernières couvrent tout le champ de notre expertise, de l'étude de l'aléa torrentiel à l'analyse de la vulnérabilité dans les communes de Serre-Chevalier, et donc du risque. Elles proviennent de divers acteurs mais le plus souvent ces données ont été recueillies auprès d'organismes publics, territoriaux ou étatiques.

Par exemple les documents consultés en mairie comme les cadastres récents, le Plan d'occupation du Sol *(P.O.S)* ou son successeur le Plan local d'Urbanisme[46] *(P.L.U)* ou encore les PZERN *(Plans des Zones exposées aux Risques Naturels ; abrogés par loi de février 1995 établissant les Plans de Prévention des Risques)* et les P.E.R *(Plans d'exposition aux Risques)* ont, entre autre, permis d'éclairer notre étude sur la nature et l'évolution de l'urbanisation des cônes de déjection torrentiels *(infrastructures commerciales, habitats collectifs à vocation touristique ou sociale, résidences principales ou secondaires, camping municipaux)*. Ces données sont généralement incontournables lorsqu'il s'agit d'établir un diagnostic du risque torrentiel sur un secteur donné, car de la nature des enjeux dépend le degré de vulnérabilité

Nos recherches en mairie nous ont également permis de préciser, entre autre, les dates et les coûts d'aménagements de protection active ou passive[47], et éventuellement d'apporter des précisions sur l'extension spatiale et/ou le montant des dommages et des préjudices imputables à un débordement torrentiel donné. A ce propos, un grand nombre de données concernant la nature et le coût des campagnes de correction torrentielle dans les torrents de la Guisane a été consulté et exploité au service R.T.M des Hautes-Alpes, basé à Gap. L'expérience séculaire de ce service et de ses agents fait que, même pour les torrents non-périmétrés *(terrains privés ou communaux)*, le service RTM est bien souvent en charge des études préliminaires et maître d'œuvre des travaux de correction. **Au même titre que pour les données historiques, le service RTM est donc une autre grande source dans le recueil de données administratives,** essentiellement parce qu'il constitue un acteur de premier ordre de l'aménagement des versants montagnards et que l'archivage est inscrit comme un tradition depuis sa création.

[46] Suite à la loi Solidarité Renouvellement Urbain *(S.R.U)* du 13 décembre 2000, les PLU succèdent aux POS. En dehors du volet social *(logements sociaux)*, la principale différence est que le PLU doit comprendre un Projet d'aménagement et de développement durable (PADD) qui présente et cartographie les projets communaux en terme d'urbanisme.

[47] Par exemple, les aménagements réalisés et à venir sur les cônes des torrents du Verdarel, de Saint-Joseph ou du Bez.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

D'autres instances que l'on pourrait qualifier de "statistiques", ont été sollicitées en vue d'alimenter notre base de données administrative. Nous ne citerons ici que les principales tant elles sont nombreuses.

L'INSEE[48] par exemple nous a permis d'étudier l'évolution démographique dans la vallée de la Guisane depuis le début du 20ième siècle, et plus spécialement depuis la création de la station de Serre-Chevalier. Par ailleurs, ces données offrent la possibilité d'examiner et de chiffrer pour chaque commune les changements dans la nature de l'habitat *(principal ou secondaire, etc.)* ou encore la capacité d'hébergements touristiques à Serre-Chevalier *(nombre de lits par résidence, hôtel, gîte, camps de camping, etc.)*. Le plus souvent, ces statistiques sont issues des recensements nationaux organisés et analysés par l'INSEE depuis 1951. A noter que le recensement le plus ancien dont nous avons pu disposer date de 1962.

Dans la même lignée d'informations, le comité départemental du tourisme *(CDT)* des Hautes-Alpes, ainsi que l'office briançonnais du tourisme et du climatisme ou encore la Communauté de Communes du Briançonnais ont été sollicités pour l'obtention de données statistiques sur le tourisme à Serre-chevalier. Au cours de nos prospections, les entrevues avec différentes agences immobilières *(Urbania-Dyon, Les Agneaux, Déclic, etc.)* ont également permis de déduire une valeur moyenne de l'ordre de 3000 €/m² à Serre-Chevalier *(années 2007-2008)*. Il ne s'agit que d'une valeur moyenne difficilement généralisable car le cours du mètre carré est très variable en fonction de l'exposition, de la proximité des pistes, des commerces, ou encore du *standing* des logements. Pour autant, les enjeux *(non vitaux)* peuvent alors s'apprécier globalement en rapportant cette valeur aux surfaces exposées, et donc vulnérables à l'aléa torrentiel.

Dans un autre registre, nous intégrons les données météorologiques et climatiques dans la catégorie des données administratives *(Météo France)*. A noter également que le Centre Européen Médical Bioclimatique de Recherche et d'Enseignement Universitaire *(C.E.M.B.R.E.U)*, organisme local situé en périphérie de Briançon *(commune de Villard Saint Pancrace),* nous a permis d'utiliser un certain nombre de données statistiques ayant trait aux caractéristiques climatiques du Briançonnais *(orages, etc.)*.

[48] I.N.S.E.E. : Institut National de la Statistique et des Études Économiques a été créé et instauré par la loi de finances du 27 avril 1946. L'Institut national de la statistique et des études économiques (Insee) est une administration publique, et plus précisément une direction générale du ministère de l'Économie, des Finances et de l'Emploi.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Concernant cette fois les évolutions environnementales dans les bassins versants torrentiels, des organismes comme la Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt *(D.D.A.F)* ou le Parc National des Écrins ont pu nous fournir quelques statistiques ou documents iconographiques comme par exemple la fréquentation du Parc sur la retombée orientale du massif du Pelvoux[49] *(commune du Monêtier-les-Bains)* ainsi que le suivi de certains glaciers, ou encore sur l'évolution des pratiques agro-pastorales en Guisane. En effet, un grand nombre d'alpages se situaient ou se situent encore dans les hauts bassins versants.

SEXE	Briançonnais	Ensemble PNE
Homme	63 %	65 %
Femme	37 %	35 %
TOTAL	100 %	100 %
ORIGINE DES VISITEURS	**Briançonnais**	**Ensemble PNE**
PACA	22 %	28 %
Ile de France	17 %	12 %
Rhône Alpes	29 %	24 %
Etranger	7 %	9 %
TYPE DE VISITE	**Briançonnais**	**Ensemble PNE**
en groupe	18 %	18 %
en groupe accompagné par un professionnel	3 %	4 %
à deux	38 %	37 %
seul	8 %	7 %
en famille	31 %	35 %
TOTAL	100 %	100 %
DURÉE DE LA VISITE	**Briançonnais**	**Ensemble PNE**
moins de 2 heures	13 %	15 %
de 2 à 5 heures	36 %	45 %
la journée	33 %	26 %
plus d'un jour	17 %	15 %
TOTAL	100 %	100 %
DURÉE DU SÉJOUR TOURISTIQUE	**Briançonnais**	**Ensemble PNE**
moins de 4 jours	24 %	22 %
entre 4 jours et une semaine	22 %	22 %
de 1 à 2 semaines	27 %	29 %
de 2 à 3 semaines	20 %	18 %
plus de 3 semaines	6 %	9 %
TOTAL	100 %	100 %
CONNAISSANCE D'UNE MAISON DU PARC	**Briançonnais**	**Ensemble PNE**
oui	49 %	50 %
non	51 %	50 %
TOTAL	100 %	100 %

AGE DES VISITEURS	Briançonnais	Ensemble PNE
De 15 à 25 ans	7 %	6 %
de 25 à moins de 45 ans	41 %	42 %
de 45 à moins de 65 ans	44 %	44 %
65 ans et plus	8 %	8 %
TOTAL	100 %	100 %
TYPE D'ACTIVITÉ	**Briançonnais**	**Ensemble PNE**
promenade	39 %	41 %
randonnée	44 %	45 %
course d'alpinisme	13 %	10 %
autre	5 %	4 %
TOTAL	100 %	100 %
SÉJOURNANT OU EXCURSIONNISTE	**Briançonnais**	**Ensemble PNE**
en séjour itinérant	11 %	10 %
venu depuis le domicile permanent et pour la journée	13 %	16 %
en séjour touristique	75 %	74 %
TOTAL	100 %	100 %
TYPE D'HÉBERGEMENT TOURISTIQUE	**Briançonnais**	**Ensemble PNE**
résidence secondaire	13 %	13 %
meublé /gîte touristique	19 %	22 %
camping	14 %	21 %
hôtel/chambre d'hôtes	13 %	9 %
amis ou famille	6 %	7 %
refuge	15 %	12 %
centre de vacances	5 %	4 %
camping car	4 %	3 %
autre	11 %	8 %
TOTAL	100 %	100 %
QUELLES MAISONS DU PARC CONNAISSEZ VOUS ?	**Briançonnais**	**Ensemble PNE**
Vallouise	20 %	28 %
Pré de Mme Carle	6 %	11 %
Lautaret	10 %	3 %
Briançon	15 %	6 %
Le Casset	20 %	4 %

Caractéristiques des visiteurs dans la zone centrale du briançonnais.

Source : étude du Parc National des Écrins et de l'agence CEDDAET – été 2001

TABLEAU III CARACTERISTIQUES DES VISITEURS DANS LA ZONE CENTRALE DU BRIANÇONNAIS.

[49] Ainsi apprend-t-on qu'en 2001, plus de 46 000 randonneurs ont arpenté les sentiers longeant les torrents du petit et du grand Tabuc… *(Commune du Monêtier-les-Bains)*

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Signalons enfin, comme dernier exemple d'informations administratives accessibles via Internet, le portail thématique *Prim.net* du Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer[50]. Ce portail a été conçu pour rendre les informations sur les risques naturels et technologiques en France à portée du plus grand nombre, particuliers ou professionnels.

Il s'agit d'une plate-forme d'informations générales et/ou plus spécialisées, sur le volet réglementaire et juridique. Cette dernière regroupe également les informations relatives au suivi de l'application des directives récentes portant sur les risques. On y trouve par exemple l'état d'avancement des Plans de prévention des Risques Naturels *(PPRN)* prescrits et/ou approuvés sur l'ensemble des territoires français, obligatoires depuis la loi Barnier du 02 février 1995.

Via ce portail, les arrêtés de catastrophes naturelles sont également consultables *(Base GASPAR)*. Il s'agit d'une disposition légale depuis de 13 juillet 1982, ayant pour objectif de fixer le cadre de l'indemnisation des sinistrés *(collectivités territoriales, particuliers, entreprises, etc.)*.

Arrêtés de catastrophes naturelles à Serre-Chevalier (05)

INSEE	Commune	Risque	Date début	Date fin	Date arrêté
5133	***Saint-Chaffrey***	Inondations et coulées de boue	*22/07/1988*	*22/07/1988*	***19/10/1988***
5133	***Saint-Chaffrey***	Inondations et coulées de boue	*24/07/1995*	*24/07/1995*	***18/08/1995***
5161	***Salle les Alpes***	Inondations et coulées de boue	*22/07/1988*	*22/07/1988*	***19/10/1988***
5161	***Salle les Alpes***	Inondations et coulées de boue	*24/07/1995*	*24/07/1995*	***18/08/1995***
5161	***Salle les Alpes***	Inondations et coulées de boue	*26/05/2008*	*27/05/2008*	***26/06/2008***
5079	***Monêtier les Bains***	Inondations et coulées de boue	*26/05/2008*	*27/05/2008*	***26/06/2008***

Source: Ministère de l'écologie, du développement et de l'aménagement durables.
(www.prim.net)

TABLEAU IV :ARRETES DE CATASTROPHES NATURELLES A SERRE-CHEVALIER.

Depuis cette date en Guisane, les communes de Saint-Chaffrey, de la Salle-les-Alpes et récemment du Monêtier-les-Bains ont fait l'objet à six reprises d'un arrêté de catastrophe naturelle au journal officiel. Et systématiquement, dans le cadre de débordements torrentiels dommageables. [Cf. tableau III].

Comme nous l'avons vu, l'étude des dynamiques torrentielles contemporaines et des risques associés nécessite de coupler un grand nombre de données de nature et d'origine variées. Toutefois, les données de terrain n'y ont pas été intégrées afin de mieux souligner dans un paragraphe distinct, les spécificités des analyses *in situ*.

[50] www.prim.net ***/ base GASPAR.***

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

1.4.2. Acquisition et traitement des données de terrain.

Les combinaisons offertes par les interactions entre les différents agents *(naturels et/ou anthropiques)* sont généralement innombrables. Des plus évidentes aux plus improbables, ces "équations naturelles" sont à des degrés divers en perpétuelle évolution et à toutes les échelles spatio-temporelles considérées. La plupart du temps, le "terrain" découle et reflète des imbrications d'éléments, correspondants non seulement à une réalité actuelle, mais aussi à des dynamiques passées et donc héritées. Dans ce cadre, les analyses les plus poussées ou les modèles d'évolutions passés, actuels et futurs tiennent généralement plus d'un faisceau de probabilités concordant vers un scénario donné, que de l'exactitude d'une loi mathématique.

Si tous les éléments sont présents[51] sur le terrain, reste encore à les découvrir, à en comprendre l'organisation, les emboîtements, les enchaînements potentiels. Définir précisément la part des différents agents d'une quelconque dynamique reste souvent une vraie gageure (Arnaud-Fasseta et Fort, 2004). Évidemment, les morphodynamiques torrentielles n'échappent en rien à ce principe. Par exemple, l'Homme intervient depuis des siècles sur les versants et donc dans les bassins torrentiels, mais de manière très inégale en fonction de la vallée, de la commune, du versant, de la rive, etc. A l'inverse, la présence d'activités anthropiques sur un cône de déjection ne signifie pas systématiquement que l'Homme participe de manière fondamentale à la dynamique torrentielle, dont le siège reste le bassin versant.

[51] La présence des éléments ou indices de compréhension sur un terrain d'étude est évidente. Mais dans le cadre de recherches scientifiques, la difficulté réside en premier lieu dans leur accessibilité !

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr
Thèse L. Thénard, 2009 – Laboratoire TVES ; Université Lille 1- Sciences et Technologies de Lille.

Pour nos recherches dans le Briançonnais, et notamment en Guisane, la démarche privilégiée pour le travail de terrain s'est principalement déroulée en deux grandes phases:

- la première, que nous pourrions qualifier d'"imprégnation" a consisté en une reconnaissance globale de la vallée et de ces torrents. Ce travail était évidemment précédé, accompagné et suivi d'une analyse cartographique *(topographie, géologie et géomorphologie)* et de photo-interprétation. Cette approche a permis de poser les premiers jalons de notre réflexion, notamment sur les contrastes dans la vallée *(ex : les contrastes de physionomie et de gestion des versants adret et ubac très marqués en Guisane)*, sur la diversité des organismes torrentiels *(taille des bassins versants, géomorphologie, végétalisation anthropique ou spontanée)*, ou encore sur les relations torrents-société dans la vallée.

- Parallèlement au travail de prospection active concernant les volets administratifs ou historiques, une seconde phase du travail de terrain a consisté à choisir certains sites ayant un intérêt particulier, et de réaliser des analyses à très grande échelle. La méthodologie a été ajustée en fonction des spécificités de chaque organisme torrentiel ou de chaque site, mais aussi en fonction de considérations moins oniriques, comme le temps et les moyens à disposition.

Globalement, notre travail de terrain a essentiellement consisté à opérer des échantillonnages de différente nature (Liébault, 2003) : surfaciques, linéaires, ponctuels et/ou stochastiques[52]. Ces derniers sont assez largement usités en géomorphologie fluviale et torrentielle, et adaptés en fonction des torrents étudiés.

Plus spécifiquement, quatre grands protocoles méthodologiques ont été appliqués: l'approche dite naturaliste, la topométrie, les comptages granulométriques, et les datations *(relevés dendrochronologiques et éventuellement des échantillons de macrofossiles végétaux radiodatés [C^{14}])*.

[52] Qui est le fait du hasard, qui se produit de manière aléatoire.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

1.4.2.1. L'approche naturaliste.

Par approche naturaliste nous entendons ici toutes les démarches et les actions d'observations, de descriptions, de questionnements et de recueil de données non directement quantitatives. Cette approche a d'ailleurs été employée tant dans l'analyse des dynamiques torrentielles que pour l'étude des enjeux et de la vulnérabilité. Fondement traditionnel de la géographie physique, et notamment de la géomorphologie, cette approche est un préalable essentiel qui se couple plus qu'il ne se dissocie, à une démarche purement quantitative. Elle intervient en amont, pendant et en aval d'une campagne de mesures et de l'analyse.

Cette démarche relève certes d'une notion assez subjective, mais elle revêt néanmoins divers objectifs bien concrets :

- Dans un premier temps, **il s'agit d'acquérir une vision multiscalaire et tridimensionnelle *(réelle)* du terrain d'étude.** En complément d'autres données *(cartes, photographies aériennes et de terrain, mesures in situ)*, cette connaissance empirique se révèle souvent indispensable *(en particulier pour la photo-interprétation)* pour l'analyse. Par exemple, remettre des observations localisées dans un contexte plus global permet d'éliminer bon nombre de supputations hasardeuses. Comme mentionné précédemment, notre postulat de départ a consisté **en une observation attentive de la trentaine de torrents actifs de la vallée**, concrétisée par des "visites" ciblées. L'accession à certains belvédères naturels a complété cette approche initiale de la réflexion afin de bénéficier de visions panoramiques du secteur. L'observation méthodique des bandes actives ou des chenaux torrentiels sur les cônes de déjection a également été à l'origine de réflexions ou d'investigations de terrain *(mesures, datations dendrochronologiques, cartographie, etc.)*. Par exemple, la simple présence de fours à chaux abandonnés depuis des décennies à proximité immédiate du chenal torrentiel est une information en soi[53]. Autre exemple, la présence de différentes strates arborées à proximité immédiate d'une bande active est souvent la marque de stades distincts d'un processus de rétraction de bande active.

[53] Structures "légères", ces fours étaient le plus souvent réalisés en pierres sèches sans maçonnerie. Leur présence, attestée depuis des décennies à proximité immédiate de la bande active constitue une preuve indirecte de l'absence de débordements majeurs sur le cône de déjection depuis leur mise en place. A ce propos, la Société Géologique et Minière du Briançonnais, très impliquée sur le sujet, nous a fourni des informations justes et précieuses. Bien souvent ce type d'infrastructures, de taille réduite et très rudimentaires restent indétectables à l'examen des photographies aériennes. Dans ce cas, seules les investigations de terrain permettent ce travail à très grande échelle.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

- Aussi, **une remontée systématique de la plupart des torrents de la moyenne et de la basse vallée de la Guisane a été réalisée, soit plus d'une dizaine de torrents.** Ce travail de reconnaissance s'est effectué de l'aval vers l'amont, et le plus souvent dans le chenal principal ou sur ces berges. En effet, les caractéristiques de la bande active ou du chenal sur le cône –en dehors d'interventions anthropiques directes– est la conséquence visible de toute une série de processus interagissant dans le bassin versant ou dans le lit torrentiel, en perpétuelle évolution depuis des millénaires. Le tout étant logiquement et fortement conditionné par le facteur pente. Par exemple, les observations réalisées au cours de la remontée permettent de localiser et de préciser les principales sources sédimentaires et leurs caractéristiques *(tabliers d'éboulis, glissements, incision du chenal, héritages géomorphologiques, etc.)*. Le cas échéant, cela permet une appréhension globale de l'état de charge du chenal principal et de ces affluents directs, et plus largement les caractéristiques du lit torrentiel : présence ou absence de bourrelets de lave, pavage et végétalisation, embâcles, phénomènes de substitution de charge avec des secteurs en cours d'incision ou au contraire d'aggradation, etc.

Évidemment, ce type d'approche ne peut être qu'un préalable avant des expertises quantitatives de terrain, mais elle demeure souvent fondamentale pour replacer des résultats ponctuels dans un contexte plus global.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Nous avons choisis de mettre en exergue l'outil de terrain probablement le plus employé, mais méthodologiquement peu décrit : la photographie numérique.

Près de 3500 photographies numériques de terrain ont été réalisées en Guisane. Depuis des décennies, les utilisations des photographies de terrain sont multiples et variées, mais la démocratisation récente des technologies numériques en fait un outil de terrain remarquable. Nous les avons utilisé dans le cadre de l'analyse diachronique des paysages, des bassins versants par comparaison avec des documents anciens *(photographies et cartes postales anciennes, aquarelles militaires)*, ainsi que dans le cadre de l'interprétation et de la cartographie géomorphologique de sites très localisés ou de transects topométriques. Le format numérique *(raster)* permet, avec une pixellisation connue, d'opérer, par exemple, des mesures d'ordre surfacique, sous réserve évidemment d'un protocole adapté sur le terrain[54].

De même, la vulnérabilité de certains bâtiments ou le caractère dommageable d'un évènement se trouvent renforcés et étayés par des photographies prises immédiatement après la crue. Sans autres mesures disponibles, ce type d'approche certes descriptive, permet *a posteriori* de reconstituer approximativement le scénario de crues torrentielles *(ex : plusieurs bouffées torrentielles successives aux caractéristiques granulométriques différenciées)*. Enfin, couplées à d'autres relevés, les clichés de terrain permettent l'actualisation presque instantanée de données non encore cartographiées ; comme par exemple l'urbanisation du cône de déjection du torrent du Grand Tabuc durant l'été et l'automne 2007ou le camp de camping implanté au printemps 2005 sur le cône du Saint Joseph.

Signalons également que dans l'optique d'établir un état des lieux des bassins torrentiels guisanais et des risques associés, un grand nombre de photographies de terrain a fait l'objet de relevés GPS[55] et ont été intégrées au Système d'Informations Géographiques « SIRTOS », présenté ci-après. Leur actualisation pourrait à l'avenir permettre d'effectuer un suivi plus exhaustif et méthodique des sites instables, sensibles ou vulnérables.

[54] Dans le cas de photographies rapprochées, et en utilisant un objectif adapté *(50mm)* pour limiter les déformations, la présence d'une échelle sur les clichés se révèle précieuse pour des analyses quantitatives "post-terrain". Par exemple, cette méthode peut-être ponctuellement employée dans l'estimation de volumes mobilisés lors d'un évènement pour une section du chenal torrentiel.

[55] G.P.S : Global Positionning System.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

1.4.2.2. Les mesures topométriques.

En complément des démarches précédentes, nous avons fait le choix dans le cadre d'une démarche quantitative, de réaliser des mesures topométriques lorsque cela semblait judicieux et lorsque les conditions le permettaient.

Ce type de relevés dans les torrents a été employé dès la fin du XIX^{ième} siècle dans le cadre de la création et de l'intervention des services forestiers puis de la R.T.M (Thiéry, 1891 ; Champsaur, 1900 ; Delsigne *et al*, 2001 ; Garitte, 2006). Ces relevés servaient alors essentiellement à la localisation et au calibrage des ouvrages de génie civil implantés dans les torrents. Parfois, des profils longitudinaux ont pu être levés dès cette époque et certains se retrouvent encore dans les archives du service RTM de Gap ou dans les rayons de l'ADHA[56] (Garitte *et al*, 2008). Malheureusement rares sont ceux encore exploitables car outre le changement de référence altitudinale survenue depuis, le calage de ces profils s'effectuait le plus souvent sur les ouvrages implantés dans le lit torrentiel. Or, pour la plupart d'entre eux *(en Guisane)* ils sont aujourd'hui complètement engravés ou ils ont été disloqués et emportés par les crues torrentielles. Pour ces raisons, il n'a donc pas été possible d'exploiter ce genre de documents en Guisane. D'autre part, la précision de ces anciens profils longitudinaux restent sujette à caution et pour le moins discutable (Thénard, 2002 ; Garitte, 2006).

[56] ADHA : Archives Départementales des Hautes-Alpes,
22 route Rambaud 05000 Gap.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

1.4.2.2.1. Les principaux objectifs.

Pour notre étude, ce type de mesures **a trois finalités principales** :

- Le principal objectif des mesures topométriques dans notre étude est **d'analyser les dimensions longitudinales *(profils)* et transversales *(transects)*** de certains organismes torrentiels ou de secteurs particuliers.

- De manière plus ponctuelle, la topométrie permet également **de localiser** un certain nombre d'éléments[57] *(confluences, carrotages dendrochronologiques, blocs, ouvrages ou échantillons divers)* par rapport à des points fixes *(seuils naturels, versants, éperons rocheux, barrages, bâtiments, etc.)*.

- Loin d'être anecdotique, le dernier objectif est de valider et de déterminer les marges d'erreur réelles[58] de mesures indirectes. Ce procédé a permis de vérifier la qualité du redressement géométrique des photographies aériennes et des mesures de distances adjointes. Lors de campagnes réalisées en solitaire et pour compenser l'impossibilité de mesures longues distances au tachéomètre infrarouge, les mesures courtes distances ont été effectuées à l'aide d'un décamètre manuel ou d'un télémètre infrarouge, ou éventuellement en exploitant certaines opportunités[59].

[57] Lorsque le GPS n'a pas être employé pour des raisons d'imprécision ou de réception du bouquet satellite.

[58] A ne pas confondre avec le *Root Mean Square (RMS)* fournit par les logiciels de télédétection, lors de procédures de redressements géométriques ou d'orthorectification de photographies aériennes. En effet, cette marge d'erreur reste donc virtuelle et seules les mesures réalisées sur le terrain peuvent fournir une marge d'erreur réelle.

[59] Lors de notre campagne d'octobre 2007, un chantier en cours sur le cône du torrent du Saint-Bernard nous a permis d'étudier une coupe sur le cône *(réalisée pour les fondations*). Le responsable des travaux m'a autorisé à utiliser un théodolite de chantier pour faire un certain nombre de mesures topométriques dans la commune de Saint-Chaffrey *(objectif : marges d'erreur des redressements géométriques de clichés aériens)*.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

1.4.2.2.2. Le matériel employé.

Le choix de la topométrie a été arrêté en fonction de différents facteurs : la précision des mesures, l'encombrement réduit et la relative mobilité des outils employés, et enfin le caractère renouvelable *(même avec des outils différents)* de ce type de mesures pour des recherches futures. Évidemment, ce choix était d'autant plus évident que notre laboratoire *(TVES)* disposait d'un tachéomètre infrarouge de type Leica 701S.

Compte tenu du caractère particulièrement accidenté des lits torrentiels, la précision des levés topométriques est plutôt pluri-centimétrique. D'autre part, les choix opérés lors de la prise de mesures induisent nécessairement une certaine marge d'erreur. Par exemple entre deux points mesurés, le profil *(en long ou en travers)* peut-être excessivement lissé, ou à l'inverse, quelque peu exagéré. Or, la prise d'une mesure sur un bloc instable de quelques décimètres est, à l'évidence, un cas de figure très fréquent dans les lits torrentiels.

L'expérience de l'exercice et de ces interprétations nous enjoint à appliquer aux mesures topométriques une marge d'erreur de 20 centimètres environ[60]; ce qui corrobore des valeurs déjà avancées pour des levés topométriques réalisés dans une vallée limitrophe (Garitte, 2006). En cas de comparaison de différents profils, des variations altitudinales inférieures à cette valeur devraient alors être considérées comme non-significatives.

[60] Pour être tout à fait exact, nous appliquons une fourchette d'incertitude comprise entre 15 et 25 cm dans l'interprétation des profils en long et de 10 à 15 cm pour les transects. Évidemment, toute valeur inférieure aux bornes supérieures de ces classes ne peut faire l'objet d'une interprétation formelle, que ce soit en terme d'évolution que de dynamique.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

1.4.2.2.3. Réalisation des mesures topométriques.

Pour commencer, il nous faut préciser que les mesures topométriques "brutes" correspondent à des valeurs de distances et altimétriques relatives *(distances et altitudes par rapport à un point x non coté)*. **Un calage des profils à partir de points fixes est donc nécessaire afin de localiser précisément les profils ou certains éléments de terrain présents sur son axe *(barrages, seuils, confluence, arbres, etc.)* et/ou de réitérer des mesures sur le même secteur.** En fonction des torrents, ces points de calages peuvent être de nature différente : affleurements de la roche en place *(points de calage marqués à la peinture de chantier)*, blocs plurimétriques, barrages RTM, arbres situés à distance du chenal torrentiel[61], maisons, clapiers, etc.

Une fois encore, la simplicité théorique contraste avec des configurations de terrain parfois délicates. Par exemple pour les profils en travers, il faut impérativement que les points de calage soient parfaitement dans l'axe du transect, et qu'il soit effectué perpendiculairement à l'axe du chenal ou de la bande active. Dans le cas contraire, les profils et leurs analyses pourraient être erronées. Évidemment, le choix de l'emplacement des profils se réalise en fonction de leur représentativité par rapport au secteur étudié et de l'intérêt géomorphologique qu'ils présentent, et non par rapport aux points de calage[62].

Pour plus de sûreté et en sus des précautions évoquées précédemment, nous avons procédé de manière systématique à des pointages GPS des extrémités des profils. Malgré une marge d'erreur relativement importante, ce géoréférencement permet d'intégrer de manière approximative les profils topométriques dans un S.I.G, et de retrouver le secteur étudié[63] lorsque l'on ne dispose pas des données d'origine.

[61] Pour un calage encore plus précis, les arbres concernés ont été marqués à la peinture de chantier et/ou par des clous en inox.

[62] Signalons, même si nous n'y avons pas eu recours en Guisane, qu'en cas d'absence de repères satisfaisant à proximité, on peut également procéder à une localisation des extrémités d'un profil par triangulation. Les points de calage *(éperons rocheux, sommets, maisons, etc.)* situés à plus grande distance du lit torrentiel seront alors mesurés au tachéomètre pour plus de précision.

[63] Cette méthode se révèle assez précieuse lorsqu'il s'agit de retrouver des secteurs ayant fait l'objet de mesures topométriques et/ou lorsque les points de calage ont disparu *(suite à une crue, des travaux ou à un glissement par exemple)*.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

La réalisation d'un profil en long au tachéomètre s'effectue de préférence de l'aval vers l'amont, au cœur et dans l'axe du chenal ou de la bande active. Et ceci en procédant par sections successives, en sachant qu'à chaque section mesurée correspond la mise en place d'une nouvelle station tachéométrique. En effet, compte tenu de la sinuosité des chenaux torrentiels, il est absolument indispensable de procéder à des changements de station. Le risque résidant essentiellement dans un raccourcissement du profil et donc des valeurs de pente biaisées par rapport à la réalité.

L'objectif principal des transects topométriques est d'appréhender à très grande échelle les évolutions transversales de la bande active ou du chenal. Il s'agit alors d'établir précisément le profil morphologique du lit actuel et de ces marges, pour tenter de reconstituer les évolutions récentes et les tendances contemporaines *(paléo-cheneaux, rétraction-incision, terrasses, dépôts et bourrelets de lave torrentielle, etc.)*.

Les données d'angles et de distances *(Hz, Dp, Dh, dZ, hr, xyz, etc.)* réalisées au tachéomètre correspondant à chaque point mesuré sont directement enregistrées dans la mémoire interne de l'appareil. Après avoir relié le tachéomètre à un ordinateur, on procède au transfert des données par l'intermédiaire d'un logiciel[64] spécialement conçu à cet effet. Les données "brutes" sont alors traitées par un logiciel de type tableur ; en l'occurrence *Microsoft® Excel©* dans notre cas. Ensuite, il faut effectuer un tri parmi l'ensemble des mesures réalisées pour chaque point et en fonction du protocole choisi sur le terrain *(en long, en travers ou MNT)*. Pour les profils "multi-stations", un certain nombre de formules mathématiques a été développé en tenant compte des points retournés et des changements de station. Le tout premier point mesuré devient alors la référence altitudinale et de distance, en valeur relative, pour l'ensemble des autres mesures [Cf. Encadré].

Une fois le traitement abouti, le profil peut être graphiquement matérialisé. Ces profils topométriques sont ensuite exportés sous *Adobe® IllustratorCS©* pour la mise en forme ainsi que pour être complétés et/ou associés à d'autres données *(photo-interprétation, granulométrie, dendrochronologie, levés GPS, infrastructures anthropiques, etc.)*.

[64] Logiciel ***ad hoc*©** développé et commercialisé par Leica Survey Office®.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

1.4.2.3. Les autres "échantillonnages de terrain" employés.

Les comptages granulométriques et les datations sont les autres protocoles appliqués *in situ*, et apparentés cette fois aux échantillonnages que nous avons qualifiés de ponctuels et/ou stochastiques. Ce dernier terme n'est approprié que dans le cadre de la découverte fortuite d'une coupe présentant des propriétés granulométriques particulières, ou, d'échantillons de bois fossiles recueillis "par hasard" au cours de campagnes de mesures ou de reconnaissance des lits torrentiels. Par définition, ce sont des échantillonnages ponctuels car ils ne s'emploient que dans le cadre d'études à très grande échelle en complément d'autres investigations.

1.4.2.3.1. Les comptages granulométriques.

Les comptages granulométriques réalisés dans quelques torrents guisanais concernent uniquement la fraction graveleuse de la charge déposée (Lahousse et Romelé, 2000 ; Malet *et al*, 2002).

L'objectif principal de ces comptages est d'établir les caractéristiques générales de la charge actuelle des lits torrentiels, ou d'apporter une information quantitative sur les caractéristiques d'une crue torrentielle. Par exemple, cette méthode a été appliquée à la suite de la lave torrentielle survenue dans le torrent du Verdarel en septembre 2005. **Compte tenu de la thématique, ces comptages n'ont pas été systématiques car notre analyse n'avait pas pour ambition d'opérer un suivi de la charge ou des transferts de charge sédimentaire au sein des lits torrentiels.** Les sites ayant fait l'objet de comptages granulométriques ont donc été choisis essentiellement par rapport au caractère complémentaire des informations qu'ils pourraient fournir. Ainsi, 3 secteurs ont fait l'objet de comptages dans la bande active du torrent du Grand Tabuc, sur son cône de déjection.

En fonction des secteurs étudiés, la localisation des sites a été réalisée soit en valeurs relatives en les calant sur des points topométriques *(profils en long ou transects)*, ou en valeurs absolues grâce aux relevés GPS. Selon les torrents, les comptages granulométriques ont été effectués au sein du chenal ou de la bande active dans des zones de dépôts : bancs et basses terrasses non végétalisées, bourrelets de laves, lobes de débordements, etc. De préférence en évitant les zones de curage ou d'extraction et en marge des écoulements pérennes ou résiduels *(tri)* pouvant altérer la représentativité des spectres granulométriques.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Le principe adopté sur le terrain a été appliqué de manière invariable. A savoir la délimitation de zones carrées de 1 à 1,5m de coté, variant donc de 1 à 2,25m². Le *corpus* représentatif est de 150 individus minimum, à répartir dans cinq classes de valeurs prédéfinies pour la charge grossière. Dans ce périmètre, et pour éviter le risque d'un comptage altéré par une tendance involontaire à une surreprésentation ou à une sous évaluation de classe, les échantillons sont ramassés "à l'aveugle", de manière aléatoire. Du gravier au bloc, les mesures se font à chaque prélèvement et concernent la longueur radiale de chaque échantillon.

Si le protocole à mettre en place ne présente aucune difficulté majeure tant du point de vue de la méthode que des outils employés, la contrepartie se trouve plutôt dans la pertinence et la représentativité du secteur "témoin" ainsi que dans le temps imparti aux mesures.

1.4.2.3.2. Les datations dendrochronologiques.

Pour cette étude en Guisane, la méthode principalement adoptée est la dendrochronologie.

Couramment utilisée en géomorphologie fluviale, elle se révèle une importante source d'informations sur les morphodynamiques, notamment torrentielles, en moyenne montagne. Récemment, une certain nombre de recherches *(chutes de blocs, coulées de débris, laves, etc.)* se revendiquent de la dendrogéomorphologie (Astrade *et al*, 1998; Stoffel et Beniston, 2006 ; Bollschweiler *et al*, 2007 ; Hitz, 2007). D'une certaine manière, par le croisement des données topométriques avec les datations dendrochronologiques, nous nous inscrivons en partie dans ce courant de recherches géomorphologiques.

La datation dendrochronologique procède du dénombrement des cernes annuels des espèces ligneuses (Liébault, 2003). En effet, par l'intermédiaire du *cambium*[65], les arbres et arbustes produisent une nouvelle couche concentrique de bois *(cerne)*, à l'extérieur de la précédente. Dans les zones tempérées aux saisons bien individualisées, le processus est interrompu en automne pour reprendre au printemps. La formation de ces couches néo-formées suit donc un cycle annuel, et leur dénombrement permet de dater les ligneux

[65] Chez les ligneux, la « production » du bois est assurée par ce que l'on appelle le *cambium (libero-ligneux).* C'est un tissu cellulaire à division active assurant la formation du bois et du liège.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

.

Dans notre étude et en fonction des sites, les arbres échantillonnés appartiennent essentiellement à trois essences : *Pinus sylvestrus* et *uncinata* (pins sylvestres et à crochets), *Larix decidua (mélèzes)*. Ces arbres sont d'ailleurs les plus fréquemment rencontrés sur les versants et les cônes de déjection de la vallée de la Guisane *(xérophilie intra-alpine)*, et plus largement assez caractéristiques du Briançonnais (Muller *et al*, 2000).

A l'instar d'autres études géomorphologiques (Friedman *et al*, 1996; Piégay et Salvador, 1997; Astrade *et al*, 1998 ; Thénard, 2002 ; Liébault, 2003 ; Jacob et *al*., 2004 ; Stoffel, 2006.), les échantillonnages dendrochronologiques nous ont permis de préciser la chronologie de la colonisation végétale à proximité des lits torrentiels actuels.

En complément de levés topométriques, ces datations permettent d'appréhender les oscillations spatio-temporelles *(transversales et longitudinales)* de cette végétalisation, en correspondance avec des niveaux topographiques distincts *(terrasses, bancs, paléo-cheneaux)*. Dans ce cas, le principal objectif est de reconstituer et d'apprécier les évolutions morphodynamiques des torrents guisanais pour la période contemporaine *(post-PAG)*. Le cas échéant, ces datations nous ont également renseigné sur la chronologie de la stabilisation –et donc de la végétalisation– d'anciennes sources sédimentaires des torrents *(ravines, moraines, tabliers d'éboulis, glissements, etc.)*, ou encore, sur une moindre pression anthropique liée à l'abandon de pratiques agro-pastorales sur les versants et dans les bassins torrentiels.

Pour effectuer ce type de datations, nous avons effectué des "carottages" à l'aide d'une tarière à bois, dite *sonde de Pressler*[66] **[Cf. Figure 50]**. Après une localisation topométrique *(valeurs relatives)* et/ou GPS *(valeurs absolues)*, la procédure standard consiste à réaliser un prélèvement à 1,30 m du sol (Pardé[J], 1961; Pardé et Bouchon, 1988 ; Liebault, 2003). Car, il est prouvé que la marge d'erreur d'une datation dendrochronologique est minimale pour un prélèvement effectué à la base du tronc.

[66] Conçue en 1867, la sonde de Pressler *(ou tarière à bois)* porte le nom de son inventeur. Elle est composée d'un manche, d'une mèche et d'une "cuillère". Le principe du prélèvement consiste à visser la mèche *(tube)* dans le tronc, puis à extraire le cylindre de bois (*carotte*) à l'aide de la cuillère. Derrière cette simplicité logistique et d'utilisation, la sonde de Pressler n'en demeure pas moins un appareil de précision, et en tant que tel d'une relative fragilité. Par exemple, notre modèle *(Mora Sweden)* possède une mèche de 40 cm composée d'un alliage en carbone, associée à un pas de vis en inox de 3,5 cm. Dès lors, l'affûtage *(du pas de vis)* et le calibrage de la mèche sont essentiels pour garantir des résultats optimaux. http://www.inra.fr/internet/Centres/nancy/lerfob/qualite-bois/moyens/moy-mat/tariere.htm

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

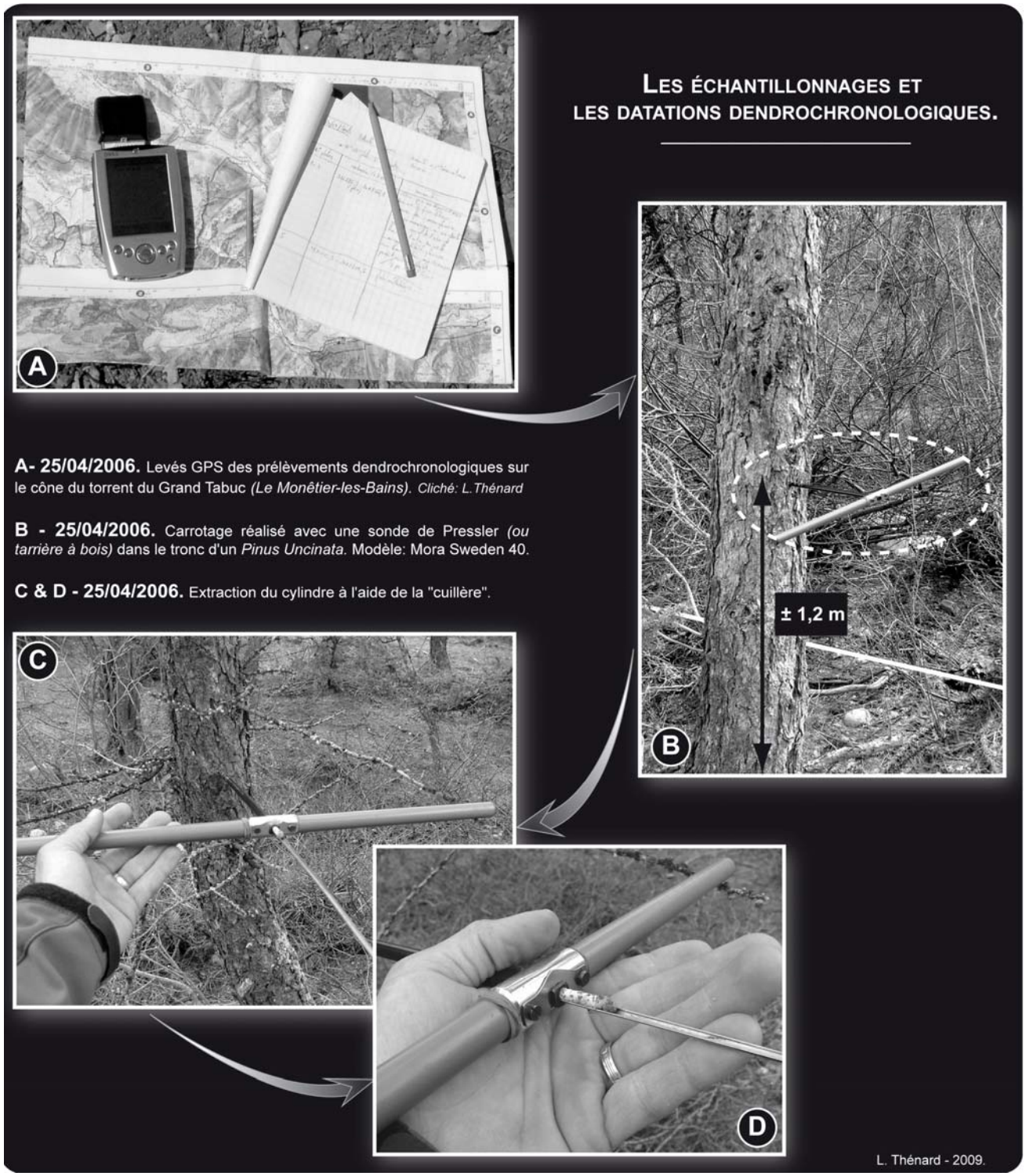


Figure 50: Les échantillonages et les datations dendrochronologiques.

Une fois le cylindre de bois *("carotte")* prélevé et après séchage, l'échantillon est légèrement poncé pour mieux accentuer les contrastes et faciliter le dénombrement des cernes de croissance. Parfois, les cernes s'individualisent sans difficulté et le comptage a pu se réaliser sur site. Mais bien souvent, que ce soit dans les bassins versants ou sur les cônes, les contraintes environnementales *(pentes, exposition, froid, vent, xérophilie, glissement, crue torrentielle etc.)* imposées à ces arbres font que leur croissance a été chaotique, pouvant se traduire par des espacements interannuels très inégaux.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Ce qui nous amène à adjoindre à toute datation de ce type une marge d'erreur de 5 ans minimum. D'autre part, les valeurs dendrochronologiques présentées dans ce manuscrit tiennent compte d'un temps d'écèse moyen de 10 ans. Cette durée est basée sur les reconquêtes végétales spontanées récentes, observées dans le Briançonnais par photo-interprétation ou plus largement par analyse diachronique *(de clichés obliques par exemple)*.

Compte tenu des conditions bioclimatiques plus favorables du Briançonnais, ces valeurs semblent être en relative adéquation avec des temps d'écèse de l'ordre de 10 à 20 ans pour la série des *Pinus*, rapportés dans des études réalisées sur certaines marges proglaciaires *(dendroglaciologie)* des Rocheuses canadiennes (Luckman, 1998)

Au final, les résultats obtenus peuvent être considérés comme fiables et représentatifs à ± 15 ans pour les arbres de plus de 70 ans. Sur certains sites, cette marge d'approximation a pu être réduite à 10 ans pour les arbres les moins âgés *(- de 70 ans)*, grâce aux apports de la photo-interprétation. Dans ce cas évidemment, la datation concerne un secteur et non plus seulement un ligneux isolé.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

1.4.3. Création d'un Système d'Informations à Références Spatiales *(SIRS)* sur le risque torrentiel à Serre-Chevalier: apports et limites.

> "N'est-ce pas le rôle premier du géographe que de distinguer, entre les signes qui font « foule » et les signes qui font « sens », les harmonies secrètes de la complexité spatiale ?"

Bien que parfois trop minorée ou occultée par son actuelle omniprésence dans le quotidien, l'analyse spatiale est l'un des fondamentaux de la Géographie et probablement la raison d'être initiale de la discipline. Dans un premier temps, afin de répondre à un besoin d'expansion, de conquête et de déplacement, il s'agissait d'établir des référentiels cartographiques des milieux naturels connus de manière empirique ou franchement méconnus *(cartes marines, etc.)*. Rapidement des cartes thématiques ont vu le jour pour correspondre à des attentes devenues plus spécifiques et plus complexes *(militaires, administratives, etc)*. De nos jours, les progrès et la démocratisation des outils informatiques et/ou de communication, font que l'on assiste à une profusion de l'information géographique dans nombre de fonctions professionnelles *(à commencer par la recherche !)* ainsi que dans les activités personnelles ou de loisirs *(prévision météorologique, GPS routiers ou de randonnée, cartes et plans, calculs d'itinéraires, etc.)*.

Paradoxalement, l'abondance de ces données et leur facilité d'accès ne signifie ni ne simplifie, et loin s'en faut, l'analyse spatiale *stricto sensu*. Plus que jamais, elle reste une démarche spécifique répondant à une thématique précise et clairement identifiée. A l'interface du réel, intrinsèquement implexe, et de ce que nous en percevons, l'analyse spatiale implique généralement des emboîtements spatio-temporels *(approche multiscalaire)* parfois complexes, des démarches trans- ou au moins pluridisciplinaires et des arbitrages qui détermineront en grande partie l'interprétation qui en sera faite, tout comme les réflexions ou les résultats qui en seront extraits. Sans développer davantage, il faut tout de même invoquer le fait que la qualité d'une étude spatiale dépend également des connaissances et des compétences de(s) l'analyste(s) en charge de la thématique. Sous couvert de protocoles techniques difficilement accessibles aux non-initiés, un simple croisement d'informations géographiques ne constitue pas pour autant une analyse spatiale. Dans le même registre, le questionnement sur la validité ou la pertinence des données employées doit être, aujourd'hui comme hier, un préalable incontournable.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Toutefois, force est de constater qu'en France comme dans la plupart des pays développés, *"l'analyse spatiale est un outil dont les responsables de la gestion des risques ne peuvent plus se passer"* (Brugnot *et al*, 2001) ou au moins ignorer. Néanmoins, et notre étude ne s'en exonère pas totalement, une certaine segmentation est inhérente à la plupart des travaux de recherche en raison des spécialisations disciplinaires et donc de champs de compétences relativement restreints. Evidemment, il s'agit d'une réalité difficilement compressible dans le cadre de travaux réalisés par un unique chercheur et/ou en dehors de larges programmes de recherche.

Pour autant, l'analyse spatiale apparaît comme un outil essentiel et particulièrement adapté à la thématique des risques, qu'ils soient d'ordre "naturels" ou non.

A des degrés divers, tout risque s'inscrit dans un territoire plus ou moins anthropisé. De ce point de vue et à l'instar de nombreux risques naturels *(incendies, avalanches, mouvements de terrain, etc.)*, le **risque torrentiel** renferme une forte logique spatiale. Par exemple, l'évaluation de la vulnérabilité en fond de vallée requière d'étudier les variations spatio-temporelles des morphodynamiques torrentielles *(zones d'emprise et bandes actives)* sur des territoires *(cônes de déjection)* où les liens de proximité entre la société et les torrents se sont considérablement accrus durant la période récente *(post-1950)*. De la même manière, l'analyse des évènements et débordements paroxystiques contient naturellement une forte connotation spatiale, sans être pour autant exclusive.

Or, il apparaît aujourd'hui que les Systèmes d'Informations Géographiques *(SIG)* constituent l'un des outils le plus adapté à l'analyse spatiale[67], et désormais, un des plus répandus.

[67] Il faut tout de même objecter qu'en dehors de la recherche, l'exploitation du potentiel de ces logiciels demeure très variable. Par exemple, leur emploi à des fins strictement cartographiques ne se justifie pas nécessairement !

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

1.4.3.1. Principaux apports des Systèmes d'Informations Géographiques (SIG).

L'intérêt principal de ces nouveaux outils d'analyse *(SIG)* réside essentiellement dans leur dichotomie structurelle, car ils permettent de lier des données graphiques *(objets géographiques cartographiés)* à des bases attributaires *(alphanumériques)*, et de modifier, d'interroger *(requêtes)* et d'interconnecter *(jointure, association, fusion, agrégation, etc.)* l'ensemble de ces données. Ainsi, les systèmes d'informations géographiques se présentent sous la forme d'une plate-forme de données géolocalisées, autorisant le rassemblement et la "mise en compatibilité" des données de prime abord très éclectiques.

Par ailleurs, les progrès réalisés au cours des deux dernières décennies ont permis d'ajuster ces logiciels aux demandes toujours plus diversifiées des utilisateurs, au premier rang desquelles l'interopérabilité entre les SIG les plus fréquemment employés. Aussi, la manipulation de référentiels géolocalisés ne s'effectue que par l'intermédiaire d'un seul logiciel, et surtout, l'association de bases de données de différentes natures dans un système géoréférencé implique une structuration adaptée des données et une rigoureuse organisation du système [Cf. 1.4.3.3]. Avec les SIG les plus performants, il est ensuite possible de croiser les différentes bases de données et de réaliser toute une série de traitements ou d'analyses thématiques d'ordre statistique et/ou cartographique.

Enfin, l'immédiateté de l'actualisation des bases de données et de la traduction cartographique des traitements constitue probablement l'intérêt majeur des SIG. Dans ce sens, et évidemment en fonction des objectifs recherchés *(aménagement, étude d'impacts, prévention et gestion des risques naturels et technologiques, etc.)*, le caractère "dynamique" des SIG peut en faire un outil supplémentaire au service du développement durable.

A noter également que d'un point de vue terminologique, une distinction sera faite dans ce manuscrit entre les Systèmes d'Informations Géographiques *(SIG)* et les Systèmes d'Informations à Références Spatiales *(SIRS)*. Les premiers correspondent aux logiciels et leurs extensions tandis que le terme de SIRS renvoie aux données et à leur organisation au sein de l'outil SIG.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

1.4.3.2. Objectifs et principes élémentaires du SIRS.

Conformément à ce qui vient d'être évoqué, la constitution d'un Système d'Informations à Références Spatiales *(SIRS)* dédié au risque torrentiel à Serre-Chevalier apparaissait incontournable. L'ensemble des bases de données employées a été rassemblé, organisé et structuré sous le logiciel MapInfo™ Professional 7.5 *(SIG)*[68]. Par convention et pour personnaliser quelque peu le SIRS, ce dernier sera mentionné dans ce manuscrit sous l'acronyme de "SIRTOS", signifiant *"Système d'Informations sur le Risque Torrentiel à Serre-Chevalier."*

Pour notre étude et dans l'immédiat, ce SIRTOS revêt quelques objectifs principaux :

Valider et rassembler un maximum de données portant tant sur l'aléa torrentiel que sur la vulnérabilité, pour l'analyse spatiale du risque torrentiel à Serre-Chevalier.

Structurer chacune des bases de données existantes afin de pouvoir les intégrer dans un système commun *(géographique et alphanumérique)*. Étape essentielle autorisant la superposition, le croisement ou l'interconnexion des référentiels pour l'analyse.

Organiser le SIRS avec une "architecture" spécifique pour le risque torrentiel, afin que les données puissent être synthétisées et/ou analysées, disponibles et transmissibles aux acteurs de la gestion du risque torrentiel dans cette vallée.

Ce SIRS s'inscrit en premier lieu dans une logique de recherche et de prévention et se présente comme une première étape vers une gestion plus durable du risque torrentiel à Serre-Chevalier. A commencer par une gestion spatiale du risque (Brugnot *et al*, 2001) où chaque projet d'aménagement pourrait être intégré dans ce système et confronté aux connaissances rassemblées sur le risque torrentiel dans le secteur.

L'objectif *in fine* est de faire de ce système une force de proposition à moyen et long terme par une approche spatiale diachronique ou à l'inverse prospective. Il s'agit d'intégrer les torrents comme une composante environnementale indissociable du développement de la vallée et non plus uniquement comme une contrainte physique.

[68] Il s'agit d'un des Systèmes d'Informations Géographiques les plus répandus sur le marché. Pour notre étude, ce logiciel a essentiellement été employé pour des raisons de disponibilité légale *(licence multi-postes)* dans notre laboratoire *(TVES)*.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Si la structuration des bases de données et l'organisation du SIRS sont d'ores et déjà adaptées à la gestion du risque torrentiel à Serre-Chevalier [Cf. 1.4.3.4], ce système ne peut prétendre à l'exhaustivité pour l'instant. Différentes bases ont été spécifiquement créées *(réseau hydrographique, morphométrie, boisement, urbanisation, etc.),* et d'autres, lorsqu'elles existaient ont été adaptées dans le cadre de cette étude (*enquête historique, contexte géomorphologique, bâtiments, etc.)* mais de nombreuses données doivent encore être intégrées au système. Par exemple, si la digitalisation et l'intégration dans le SIRS de la carte géomorphologique au 1/10000^{ième} de l'ensemble de la vallée de la Guisane réalisée dans le cadre d'une thèse récente (Lahousse, 1994) sont en cours, ce travail n'est pas encore pleinement abouti. Naturellement, le contexte géomorphologique n'a en aucun cas été exclu de notre analyse ! **[Cf. Figure 51]**

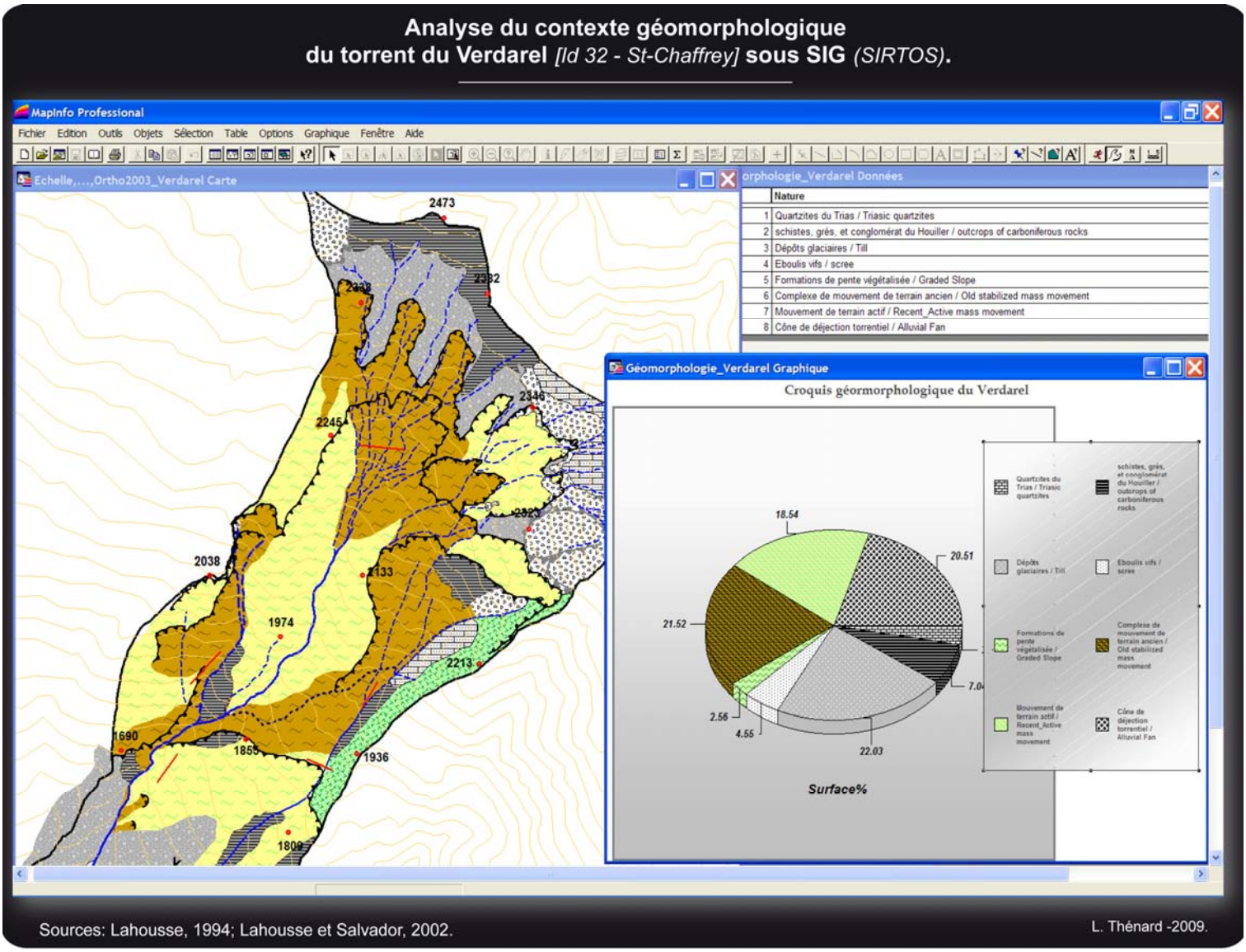


Figure 51: Analyse du contexte géomorphologique du torrent du Verdarel sous S.I.G (MapInfo 7.5).

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

Notre "système" se veut avant tout un outil de synthèse, d'analyse, dans certains cas de diagnostic, voué à la connaissance et à la prévention du risque torrentiel à Serre-Chevalier. Autrement dit, et même si au-delà de cette étude, la finalité demeure la gestion globale et durable du risque torrentiel, il ne s'agit pas encore d'un outil direct d'aide à la gestion de crise ou à la prise de décision.

Essentiellement parce cela suppose encore un travail considérable de structuration et d'organisation des bases de données. Bien que souhaitable, la mise en place d'un tel outil nécessiterait une vaste étude multidisciplinaire intégrant les principales composantes du risque torrentiel, ainsi qu'une indispensable concertation avec l'ensemble des acteurs de la gestion du risque torrentiel à Serre Chevalier. Le système résultant devrait alors couvrir l'ensemble des données disponibles sur les spécificités physiques *(aléa)*, économiques *(enjeux)*, législatives *(réglementations, etc*.), démographiques et sociales *(enjeux et perception du risque)*.

Pour autant, s'il est employé à bon escient, le caractère dynamique et donc évolutif du SIRTOS pourrait déjà contribuer à une gestion sans nul doute plus durable du risque torrentiel dans cette vallée. Ce SIRS n'a évidemment pas pour finalité de contester la validité ou la pertinence des documents réglementaires préexistants *(POS, PLU, PPR, etc.)*, mais de suffisamment s'en détacher pour en faire un outil complémentaire à la recherche et à la gestion du risque torrentiel. Par ailleurs, il ne s'agit que d'une première contribution qui sera inévitablement amenée à être complétée, adaptée, actualisée, mais espérons-le, employée !

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

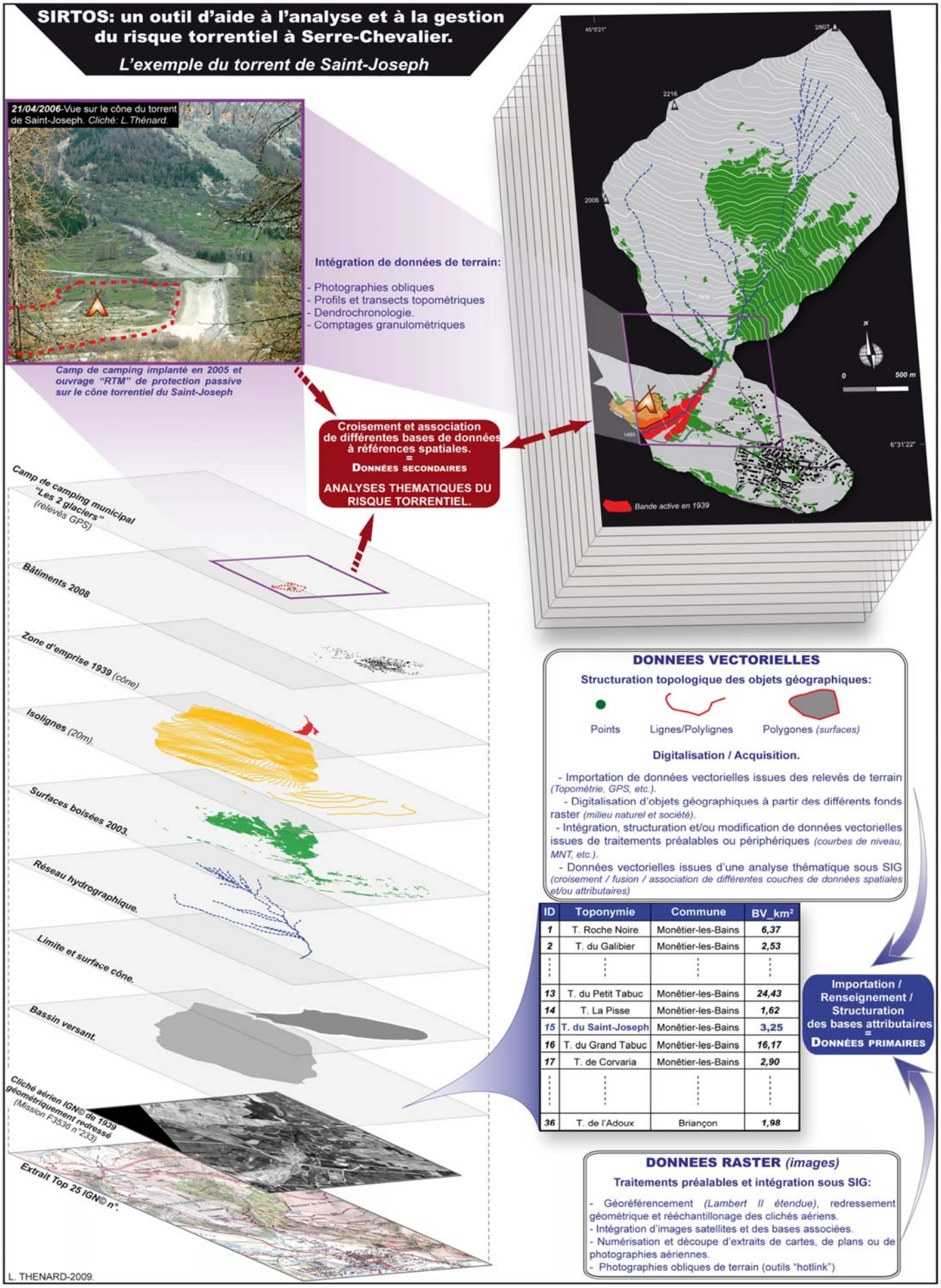


Figure 52: SIRTOS : un outil d'aide à l'analyse et à la gestion du risque torrentiel à Serre-Chevalier

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Les principes techniques des SIG étant désormais relativement bien connus, au moins pour les plus courants, il n'en sera fait qu'un bref récapitulatif.

Tout d'abord et comme nous l'avons évoqué précédemment, les SIG permettent d'intégrer et de faire interagir deux grands types de données : géographiques et attributaires ***(également appelées tabulaires)***. Les premières renvoient à des données graphiques géolocalisées *(cartographiques)* et les secondes correspondent à l'ensemble des bases de données alphanumériques importées ou directement renseignées sous SIG. Le corollaire de cette souplesse d'emploi et du nombre de liaisons potentielles est la création d'un grand nombre de fichiers *(principaux et additionnels)*. Ceci implique donc une organisation stricte des dossiers sous peine de pertes des données. De la même manière, le déplacement intempestif de fichiers peut rendre inutilisable les analyses ou documents thématiques.

Par ailleurs, deux types de données géographiques peuvent être intégrées dans un SIG sous un système de projection déterminé : les images "RASTER"[69] et les données vectorielles[70] **[Cf. Figure 52]**.

Pour le SIRTOS, la projection cartographique choisie est le Lambert II étendu *(ellipsoïde de Clarke 1880 IGN – Système géodésique NTF)*, qui correspond au référentiel de coordonnées cartographiques conventionnel couvrant le territoire français métropolitain. Quelque soit leur nature, les images *(satellites, photographies aériennes, scann 25, etc.)* ou les objets géographiques vectoriels peuvent ainsi être visualisés et/ou superposés dans le même espace de travail. Concernant les données vectorielles, trois grands types d'objets peuvent être générés sous SIG : les points, les lignes ou polylignes *(ex : périmètres, limites, réseau hydrographique, etc.)*, et les polygones *(surfaces diverses.)* **[Cf. Figure 52]**.

En fonction de la thématique abordée, les images "raster" et les objets vectoriels générés et/ou importés constituent dans un premier temps le niveau des données dites primaires **[Cf. Figure 52]**. Les phases plus avancées d'une analyse sous SIG, dans lesquelles sont croisées les données primaires et leurs bases attributaires, génèrent des données secondaires. Généralement, ces données secondaires sont issues des analyses thématiques proposées par les SIG, qui par croisements, associations ou fusions génèrent de nouvelles couches d'informations graphiques et/ou attributaires *(segmentation, buffer, analyse thématique par classe de valeurs, etc.)*.

[69] **"RASTER"** : matrice tramée définissant le *pixel* comme élément de base.

[70] **Données vectorielles** : représentation par points, lignes ou polygones, de données spatiales codées selon leurs origines, leurs points d'inflexion et leurs terminaisons. Basé sur des principes mathématiques et contrairement aux images "raster", ce format autorise tous les changements d'échelle sans perte de qualité graphique.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

1.4.3.3. Présentation du SIRTOS et perspectives.

> "Nulle part peut-être ces systèmes ne sont aussi attendus que dans le domaine de la gestion des risques, domaine dans lequel il est essentiel de manipuler de nombreux objets spatio-temporels, afin de préparer des décisions de plus en plus complexes."
> [Brugnot et al, 2001]

Provenant de traitements très variés réalisés sur et/ou en dehors du terrain, ces données *(qualitatives et quantitatives)* sont pour beaucoup issues de nos propres investigations en Guisane. Elles proviennent aussi de recherches antérieures et ponctuelles réalisées dans la vallée (Cf. Introduction générale).

Ce *SIRS* a été structuré selon **deux échelles principales**, à savoir celle des communes de la vallée de la Guisane et celle des bassins torrentiels étudiés. Les différentes analyses peuvent alors porter sur un torrent particulier, sur le risque torrentiel concernant une commune ou encore sur l'ensemble du bassin versant de la Guisane. Ainsi, chaque base attributaire a été structurée de telle sorte que soient systématiquement présents les champs *(ou colonnes)* **"Identifiant"** [Id] et **"Commune"** [Cf. tableau V]**.**

ID	Toponymie	ID	Toponymie
1	Torrent Roche Noire	19	Torrent du Merdarel
2	Torrent du Galibier	20	Torrent de Chanteloube
3	Torrent du Rif Blanc	21	Torrent de la Grande Chalance
4	Torrent des Vallois	22	Torrent du Gros Rif
5	Torrent de la Liche	23	Torrent de Roche Noire
6	Torrent de l'Etret	24	Torrent du Bez
7	Torrent du Haut Etret	25	Torrent de la Pisse
8	Torrent du Rif	26	Torrent des Ecoutes
9	Torrent du Rif Lanterne	27	Torrent de la Salle
10	Torrent du Pervou	28	Torrent du Chirouze
11	Torrent des Chenaudes	29	Torrent du Riou Blanc
12	Torrent du Chardoussier	30	Torrent du Saint-Bernard
13	Torrent du Petit Tabuc	31	Torrent du Peytavin
14	Torrent La Pisse	32	Torrent_du_Verdarel
15	Torrent du Saint-Joseph	33	Torrent Carles
16	Torrent du Grand Tabuc	34	Torrent de Sainte-Elisabeth
17	Torrent de Corvaria	35	Torrent de Réguinier
18	Torrent de la Moulette	36	Torrent de l'Adoux

TABLEAU V : IDENTIFIANTS ET TOPONYMIE ASSOCIEE.

Ces champs communs à l'ensemble des bases de données permettent ensuite de pouvoir procéder à l'interrogation *(requêtes SQL[71])*, l'association, ou la fusion des "tables" *(objets graphiques et données attributaires associées)* dans le cadre d'analyses thématiques **[Cf. Figure 53]**.

La présence des champs *"Id"* et/ou *"Commune"* est indispensable pour des travaux sous SIG et dans le SIRTOS puisque ces "jointures alphanumériques" mettent en cohérence les bases de données de nature parfois fort différentes et autorisent ainsi leurs connexions.

[71] **SQL** : *"Structured Query Language"* → Langage informatique développé afin d'interroger des bases de données en fonction de paramètres prédéfinis.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

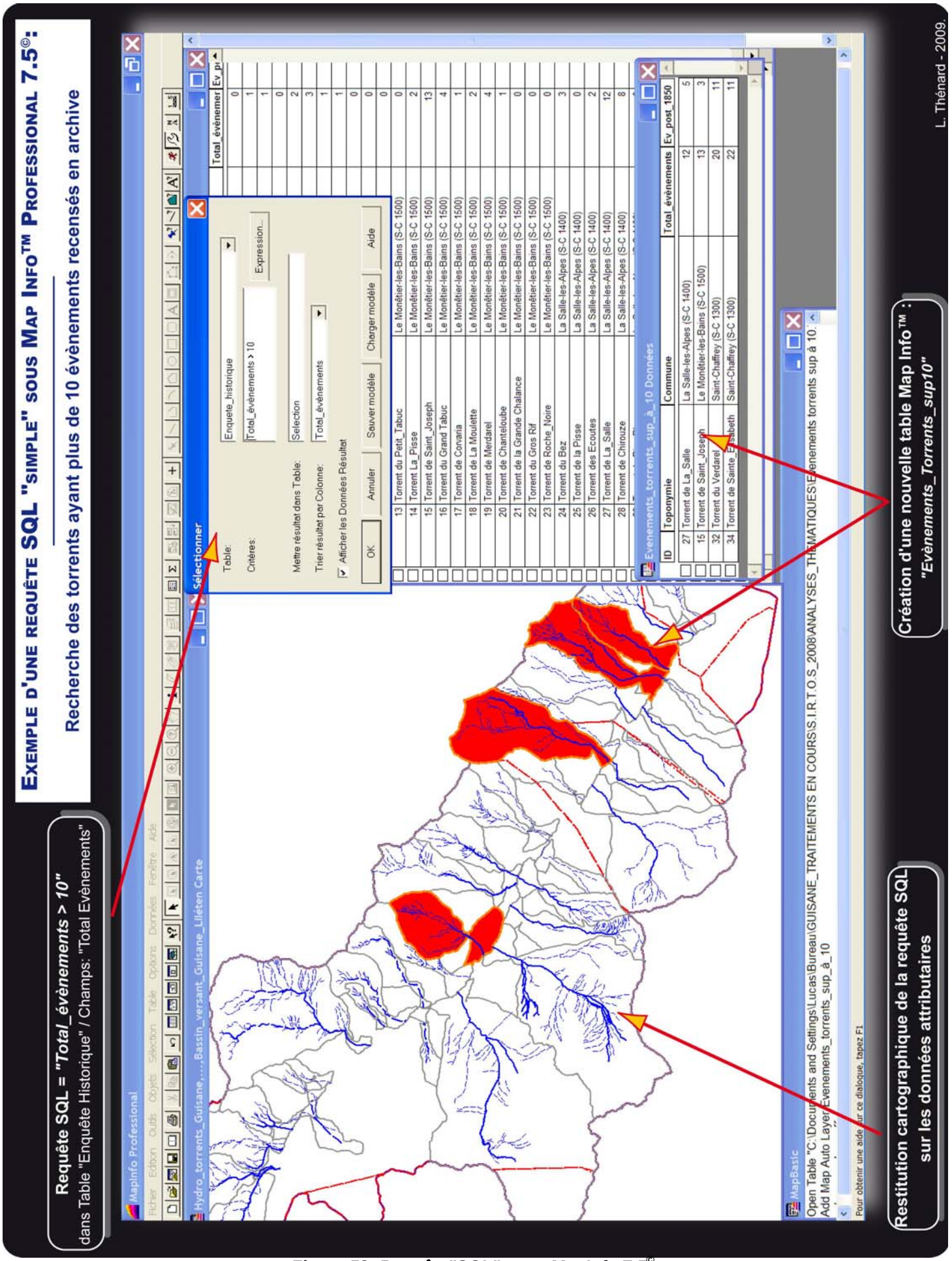


Figure 53: Requête"SQL" sous MapInfo 7.5©

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Les données composant le SIRTOS appartiennent à deux grandes catégories :

- Le premier grand type de données renferme les principales composantes physiques des torrents, et plus largement, les éléments constituant les **"environnements torrentiels"**. Il s'agit de paramètres soit relativement "statiques" comme par exemple les indices morphométriques *(surfaces, pentes, etc.)*, soit des données intégrants des composantes plus dynamiques *(ex : évolution contemporaine des bandes actives sur les cônes de déjection)*. Aussi, cette première catégorie de données est organisée et structurée de telle sorte qu'il soit possible de définir et d'analyser **l'aléa torrentiel à Serre-Chevalier.** En effet, l'architecture adoptée autorise l'association des données portant sur le réseau hydrographique, sur les caractéristiques morphologiques et morphométriques des torrents guisanais, avec celles des morphodynamiques torrentielles contemporaines ou encore avec les données provenant de l'enquête historique.

  La grande majorité des données sur les "environnements torrentiels" sont issues de nos propres investigations. Par exemple, la BD Carthage® de l'IGN est le référentiel vectoriel géoréférencé du réseau hydrographique français[72]. Or, si cette colossale base de données *(82145 références géolocalisées pour la version 2008 !)* est bien adaptée aux études départementales, régionales ou nationales, elle s'avère moins exhaustive et d'une précision relative à grande échelle. En effet, la digitalisation initiale des réseaux hydrographiques a généralement été effectuée sur la base des Scann 50© et 100©, ce qui confère à la BD Carthage® une incertitude de l'ordre de quelques dizaines de mètres et donc parfois des décalages conséquents. Par ailleurs, ce protocole implique une sous-représentation des réseaux secondaires, notamment les tronçons intermittents, alors que ces derniers prédominent dans les bassins torrentiels.

[72] La BD Carthage® s'appuie essentiellement sur la BD Carto® de l'IGN. Elle est également complétée par des données issues du ministère chargé de l'Environnement et les Agences de l'eau. Cette base de donnée ainsi que les métadonnées associées sont directement téléchargeables, sous réserve d'une utilisation non commerciale, sur le site du Sandre *(Service d'administration nationale sur les données et les référentiels sur l'eau* : http://sandre.eaufrance.fr . A ce titre, la BD Carthage® couvrant l'ensemble du réseau hydrographique exagonal a été annexée au SIRTOS.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

La précision recherchée afin d'établir des référentiels fiables et appropriés à l'analyse spatiale de l'aléa torrentiel, nous ont enjoints à créer une table MapInfo™ spécifique au réseaux torrentiels. Pour des raisons de compatibilité, la structure des données tabulaires de la BD Carthage® a été en partie reprise et adaptée à la Guisane. En revanche, nous avons été amené à reprendre la digitalisation de l'ensemble des réseaux hydrographiques, tout en procédant à une ordination de type *Strahler* [Cf.2.1.1]. Afin d'assurer un maximum de précision aux tracés, ces derniers ont été intégralement reconnus à partir de la BD Ortho® 2003 de l'IGN, ce qui se traduit par un net abaissement de la marge d'erreur moyenne, désormais comprise entre 3 et 8 mètres. Pour les seuls torrents de la Guisane, la table "Hydrographie" rassemble près de 800 lignes de données. De la même manière, des référentiels comme la morphométrie, le boisement, les bassins versants ou les cônes ont fait l'objet du même traitement de digitalisation sous SIG par photo-interprétation de la BD Ortho® 2003. Fréquemment employée pour les études à grande échelle, cette procédure est parfois évoquée dans la littérature sous le terme de "chaînage" entre deux bases de données.

Conformément à notre volonté de remettre l'aléa torrentiel au cœur de l'analyse du risque et parce qu'elles n'existaient pas, ces bases de données sont probablement les plus abouties du SIRTOS. Néanmoins certaines d'entre elles doivent encore être intégrées, complétées et/ou vérifiées. A titre d'exemple, la table "interventions anthropiques" portant sur les aménagements réalisées depuis la fin du 19ième siècle dans les bassins et les lits torrentiels n'a pas été renseignée, car ce travail est actuellement en cours de réalisation par le service RTM des Hautes-Alpes sur l'ensemble du département. Sa création dans le cadre cette analyse n'aurait donc eu que peu de sens. Outre des archives et une expérience de l'aménagement des versants plus que séculaires, cette institution est, et, a été le plus souvent en charge des études, de l'implantation et de l'entretien des ouvrages de correction dans les torrents. Elle est donc la mieux à même pour effectuer ces recherches. Le recueil archivistique, les reconnaissances de terrain et la création de la base de données prendront manifestement encore quelques mois, voire plusieurs années à l'heure où nous écrivons ces lignes. D'ailleurs et malgré nos demandes, cet état d'avancement lacunaire de la cartographie et de la base de données sur les ouvrages "RTM" ne nous a pas permis de récupérer les éléments déjà enregistrés.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

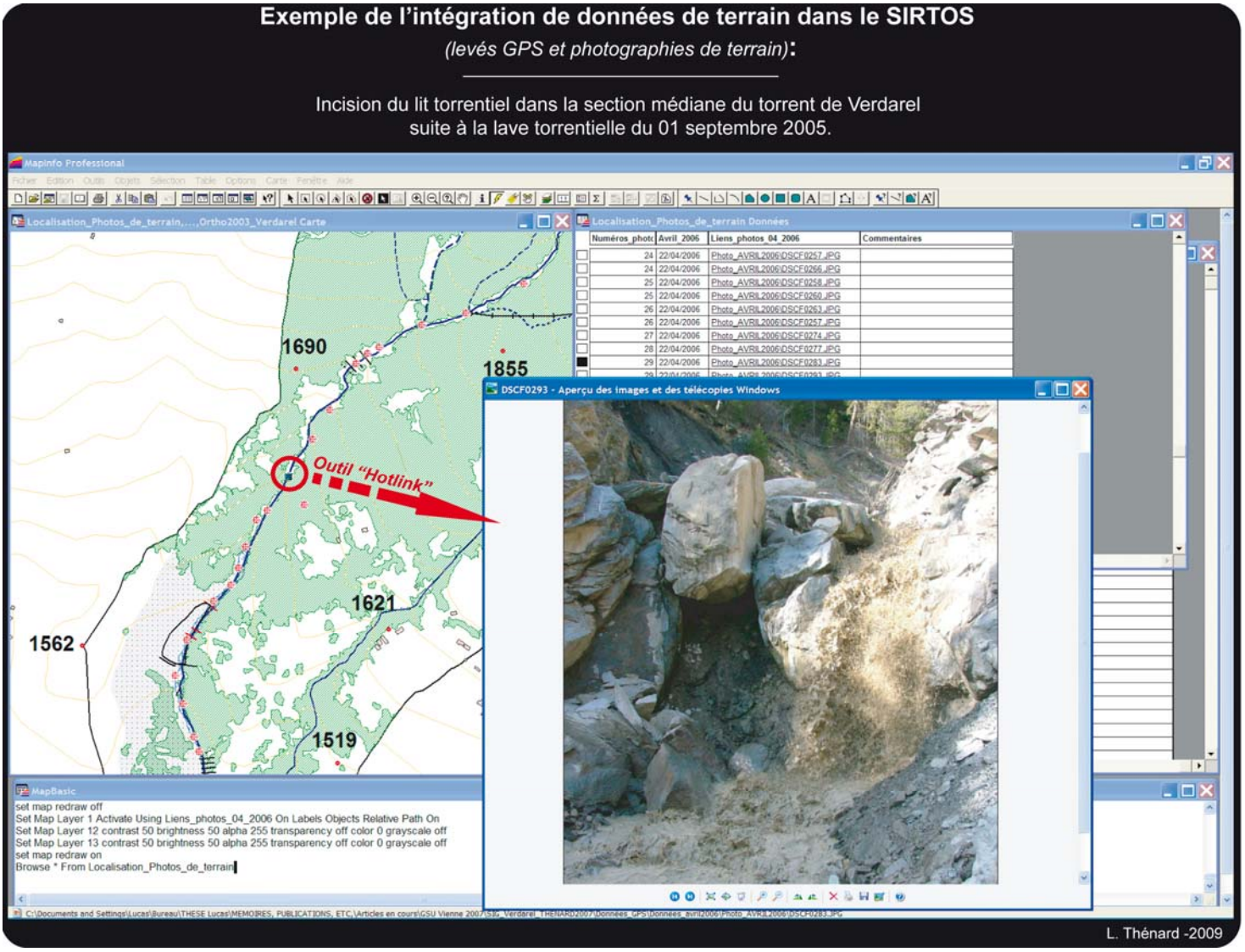


Figure 54: exemple d'intégration de données de terrain dans le SIRTOS.

- **La seconde grande catégorie** rassemble les données relatives à l'anthropisation, plus exactement celles permettant de définir les **enjeux** et la vulnérabilité. Autrement dit, il s'agit cette fois de rassembler l'ensemble des éléments portant sur **la "société"**, en lien évidemment avec le risque torrentiel et sa gestion. Là encore, certaines bases de données préexistantes ont été modifiées et adaptées à notre problématique. Par exemple, la BD Topo® de l'IGN regroupe sous forme vectorielle les principaux éléments des paysages, notamment ceux relevant du bâti et des axes de communication. Grâce à une précision métrique et à la restitution photogrammétrique, cette base de données comporte une description en trois dimensions *(3D)* des principaux objets géographiques. Si cette représentation en relief n'a pas été employée pour notre analyse, elle peut se révéler utile soit dans une logique pédagogique ou d'information au public *(carte prismatique)* soit en vue de réaliser des modélisations et/ou des zonages. Dans ce cadre, nous avons donc maintenu ces données dans la base attributaire "Bâtiments_Guisane".

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

De la même manière, des données couvrant les champs thématiques de la démographie et de la structure sociale *(Sources : INSEE)* des communes de Serre-Chevalier ont été intégrées et structurées dans le SIRTOS. Par ailleurs et toujours dans les données portant sur la société, d'autres "tables" ont été pensées pour être à l'avenir incorporées dans le SIRTOS, élargissant ainsi l'analyse globale et durable du risque torrentiel *(enquête perception du risque, finances municipales, etc)*. Ces dernières sont soit en cours d'élaboration par les administrations ou organismes mandatés *(cadastres, etc.)* soit sont restés à l'état de projet par défaut d'accès aux données initiales *(PPR et/ou PLU en cours, etc.),* ou plus simplement parce que notre analyse ne pouvait se réduire à la constitution de bases de données et que des choix se sont imposés.

Pour illustrer ces propos et afin que le SIRTOS soit compréhensible, utilisable modifiable, nous avons voulu le présenter non seulement sous une forme conceptuelle mais aussi par les relations qu'entretiennent les différentes tables de données **[Cf. Figure 55]**. Classiquement, les SIRS sont présentés sous la forme d'un modèle conceptuel de données (MCD) qui retranscrit fidèlement les liens d'appartenance des tables. Or, ces MCD ne présentent que l'organisation du SIRS et rarement les relations des bases de données au sein de thématiques spécifiques propres à la problématique de départ.

L'architecture du SIRTOS et la structuration des tables permettent de couvrir les principales composantes du risque torrentiel à Serre-Chevalier **[Cf. Figure 55]**. Grâce à l'outil SIG, l'accès aux données est aisé et les interconnexions entre toutes ces bases de données autorisent un grand nombre d'analyses thématiques. Par ailleurs, les requêtes, les associations ou les fusions de données trouvent une correspondance cartographique immédiate, traduisant le cas échéant la création de nouvelles données *(secondaires)* [1.4.3.2]. Par exemple et en complément des documents réglementaires, le croisement des données sur les débordements récents et/ou potentiels avec les données portant sur le bâti peut immédiatement fournir une information précise sur le degré de vulnérabilité spatiale d'un secteur donné ou d'un bâtiment quelconque.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

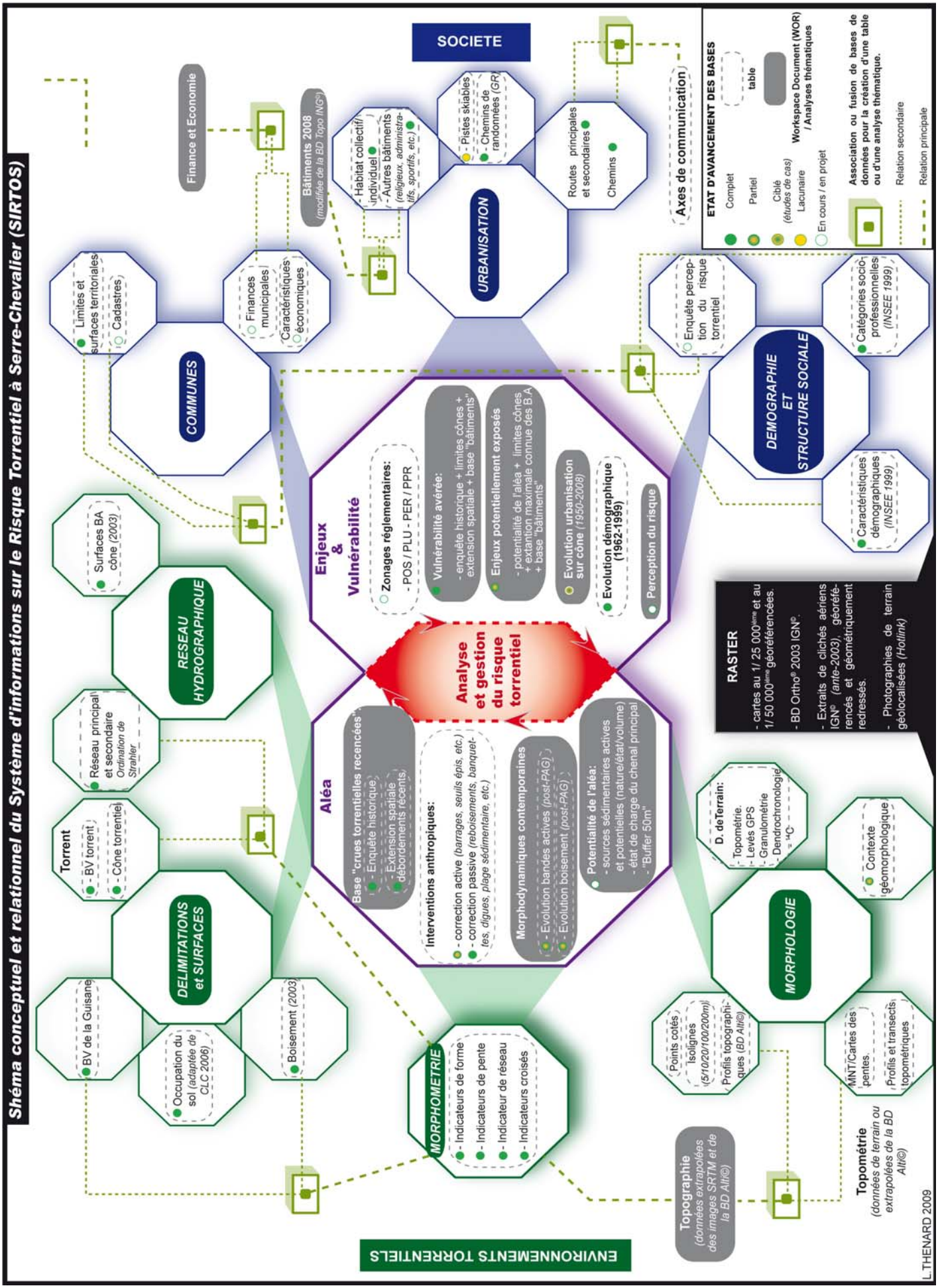


Figure 55: Schéma conceptuel et relationnel du SIRTOS.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

En ce sens, le SIRTOS est d'ores et déjà un outil de prévention et d'aide à la décision. De même, une fois les bases correctement structurées, leur actualisation peut alors se réaliser très rapidement. En cas d'évènement nouveau ou d'élément inédit, la mise à jour des bases préexistantes est, en fonction des données, presque immédiate. **Or, ce caractère dynamique de la cartographie du risque torrentiel est probablement l'aspect le plus intéressant de l'outil SIG en général, et du SIRTOS en particulier.** En effet, les documents réglementaires apparaissent le plus souvent moins transversaux et surtout moins "réactifs" en raison de la spécificité du processus d'adoption et de leur vocation a être appliqués à l'échelon national. En découle logiquement une certaine rigidité car ces documents officiels sont strictement codifiés et leur mise en place relève généralement de procédures précises. Si la réactualisation de ces documents est parfois prévue *(POS, PLU, PPR, etc.)*, les temps de réponse demeurent importants face à des organismes aussi réactifs que les torrents et/ou à la rapidité des évolutions de la vulnérabilité. En parallèle, l'utilisation du SIRTOS pourrait donc être un appui précieux à la prise de décision, notamment en terme d'aménagement du territoire.

Dans le même sens, et c'est un des principaux objectifs de nos recherches, le SIRTOS se présente également comme un outil complémentaire pour une gestion plus durable du risque torrentiel à Serre-Chevalier. L'un des apports majeur de ce système est de ne pas cloisonner la prévention du risque torrentiel d'une part et le nécessaire développement socio-économique de la vallée d'autre part. Aussi, la souplesse d'utilisation de ce système autorise tous les emboîtements spatio-temporels sur le thème du risque torrentiel, ce qui permet d'inscrire les logiques de développement à court, moyen et long terme. Or cette phase de réflexion initiale basée sur des raisonnements à la fois rétrospectifs, actuels et prospectifs est indispensable pour prétendre gérer durablement le risque torrentiel. Par exemple les possibilités d'aménagements virtuels, donc de modélisation, pourraient permettre une anticipation des projets d'urbanisation ou d'évolutions législatives et réglementaires et d'y intégrer la composante torrentielle **[Cf. Figure 56]**.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Plus concrètement encore, il est également possible d'évaluer des scénarii de réduction de la vulnérabilité dans les secteurs les plus exposés à l'aléa torrentiel *(ouvrages de correction actives ou passives, expropriation/acquisition, zones inconstructibles, végétalisation, nature des enjeux, densité de population, etc.),* en adoptant une démarche multiscalaire.

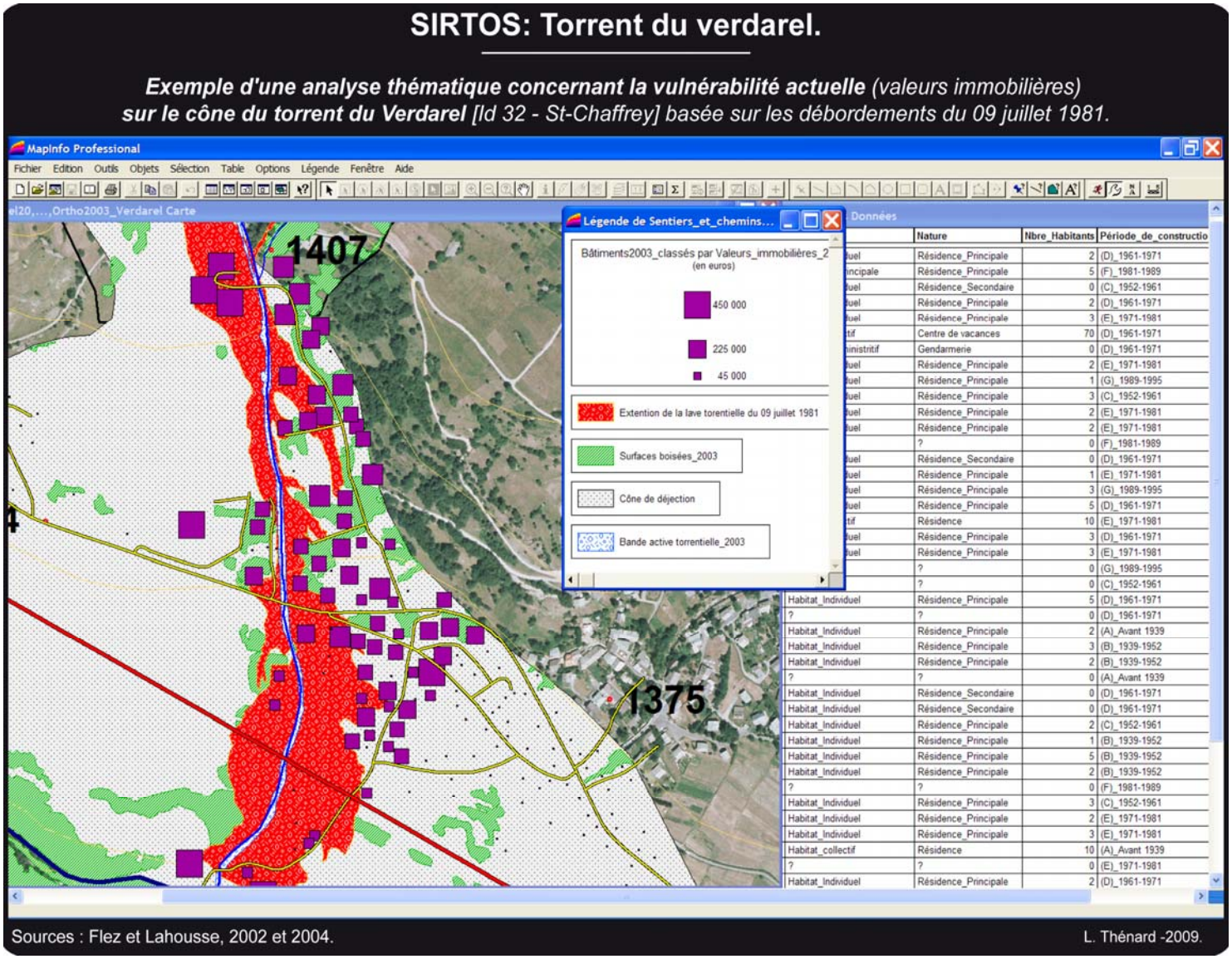


Figure 56: Exemple d'une analyse thématique sur le torrent du Verdarel.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

A l'instar de tous les outils et malgré leur utilité, les SIG montrent tout de même un certain nombre de limites.

La première d'entre elle renvoie à la qualité des données intégrées au système et surtout à la pertinence des analyses réalisées. Si tout croisement d'informations donnera lieu à résultat, reste encore à vérifier le caractère opportun des associations de données et de leur interprétation. Il faut également souligner que les "environnements" de travail peuvent sensiblement varier d'un logiciel à l'autre, et que les modules se prêtant à la thématique des risques restent assez inégaux. Par exemple, peu de SIG sont capables d'intégrer et de gérer directement les données relatives au relief, ou encore d'effectuer des traitements de photographies aériennes ou d'images satellites *(redressement, orthorectification, photogrammétrie, etc.)*. Aussi, les possibilités d'analyse statistique demeurent généralement assez limitées, car la plupart des SIG privilégie les opérations autorisant une traduction cartographique immédiate. Enfin, la qualité graphique des analyses spatiales est souvent assez médiocre et à ce titre oblige souvent le transfert des cartes vers des logiciels plus spécifiquement adaptés à l'infographie. De la même manière, l'association de plusieurs analyses thématiques peut se révéler assez complexe, voire impossible.

Il est évidemment entendu que ce *SIRS* n'a pas la prétention d'être définitivement exhaustif ou porteur d'une vérité absolue, et que, en dehors de la recherche scientifique, **son utilité future est intimement conditionnée par une mise à jour régulière, par un enrichissement de la base par des données venues d'autres disciplines *(rhéologie, génie civil, sociologie, droit, etc.)*, ainsi que par la volonté des gestionnaires du territoire de l'employer.** Par ailleurs et en lien direct avec ce qui a été évoqué ci-dessus, si la gestion durable du risque torrentiel peut être sensiblement améliorée avec le SIRTOS, l'analyse du risque ne peut se réduire ni se contenter de manipulations sous SIG, car cela ne correspond qu'à un stade ultime des recherches sur ce thème ! Pour ne pas en faire une annexe spéciale de l'étude, les résultats des traitements réalisés sous SIG seront donc signalés dans ce manuscrit mais directement intégrés à l'analyse globale du risque.

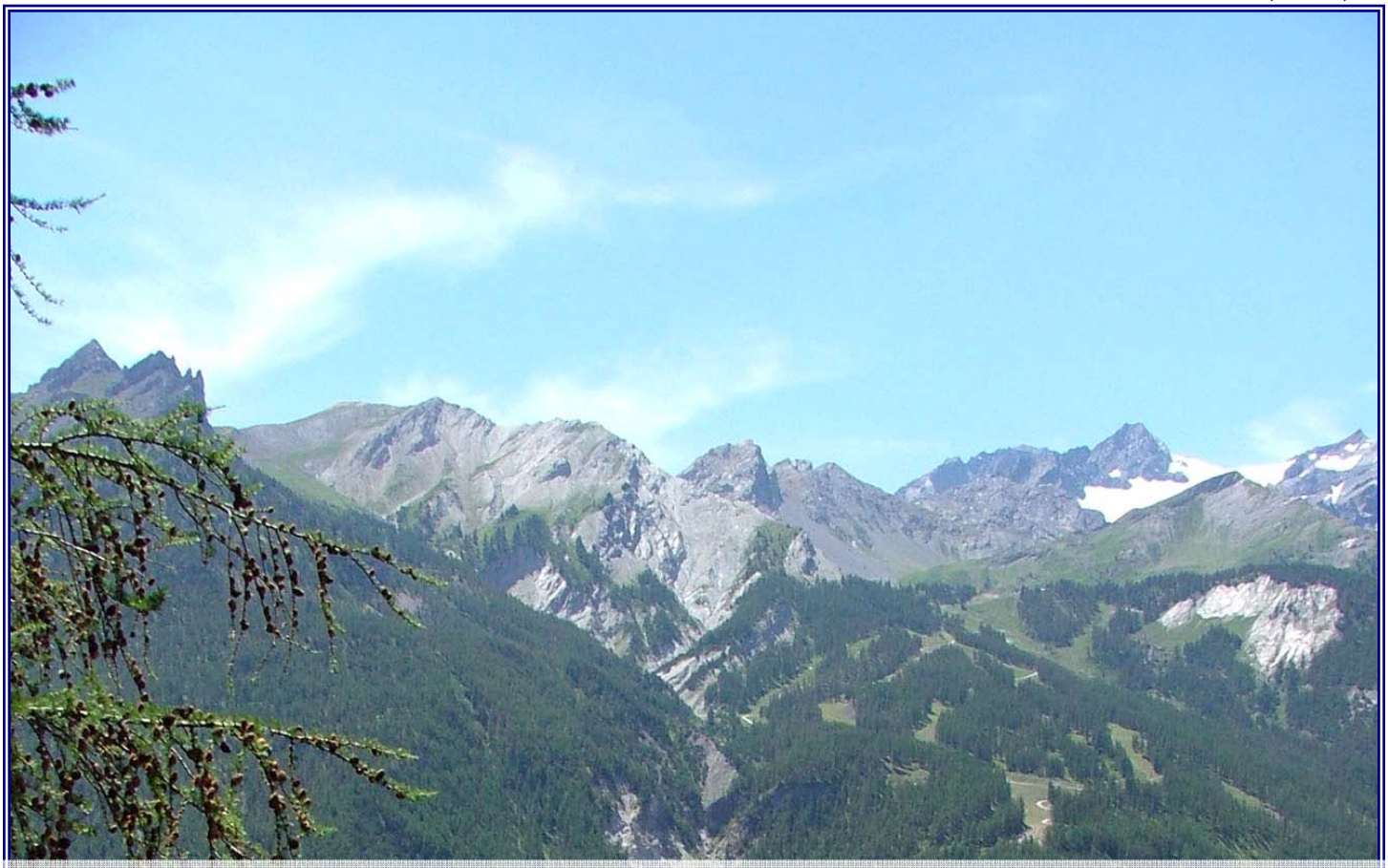
© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr



2. LES CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES ACTUELLES DES TORRENTS DE LA VALLEE DE LA GUISANE.



19/07/2006 : Vue sur le torrent de Chanteloube et le hameau des Guibertes *(Comm. du Monêtier-les-Bains)* depuis le bassin du torrent du Merdarel. *Cliché : L. Thénard.*

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

L'établissement d'un diagnostic du risque torrentiel passe à l'évidence par une connaissance approfondie de l'aléa naturel en cause, en particulier du **siège** de la genèse et du développement des dynamiques torrentielles *(bassin versant et cône de déjection)*. Ce deuxième grand temps de notre étude a donc **pour objectif principal de décrire, de déterminer et d'analyser les principaux traits morphologiques des 36 torrents actifs de la vallée de la Guisane**, et ainsi mieux définir les spécificités de l'aléa torrentiel. Il s'agit ici d'affiner les connaissances sur les environnements torrentiels qui, nous le verrons, montrent une étonnante diversité dans une vallée aux dimensions relativement modestes. La finalité étant de définir et de proposer une typologie des torrents de la vallée de la Guisane ainsi que de réaliser **un diagnostic préliminaire de l'aléa torrentiel**.

En premier lieu, nous avons privilégié l'approche dite **morphométrique** consistant à décrire les torrents en fonction d'indices variés. Mais dans cette étude, l**a morphométrie ne constitue qu'un moyen et non une finalité**. Et cela, pour répondre au double dessein d'asseoir une base de connaissances relativement fine et exhaustive des torrents de cette vallée, et par la suite, en lui associant d'autres données, d'en déduire les implications en terme d'aléa.

Compte tenu de la problématique, la morphométrie ne peut constituer qu'un biais car :

- le nombre de torrents étudiés (N =36) reste assez limité, et les interprétations des analyses statistiques réalisées ne peuvent avoir d'autre portée que celle de la vallée de la Guisane.
- elle ne peut suffire à caractériser l'aléa torrentiel actuel car elle n'intègre pas ou peu d'éléments dynamiques, primordiaux pour un diagnostic de l'aléa torrentiel.

Néanmoins et pour la première fois, cette approche a permis de **constituer une vaste base de données géolocalisées sur les torrents de cette vallée** *(intégrées dans un Système d'Informations à Références Spatiales / SIRTOS)*. En ce sens, cette base constitue **une première assise scientifique pour une connaissance globale des torrents guisanais**, mais aussi et surtout, pour mieux appréhender le siège de l'aléa torrentiel *(paramètres "fixes" comme par exemple les surfaces et les pentes)*.

Ensuite, la confrontation et le couplage de l'analyse morphométrique avec des données plus dynamiques *(occurrence et description des crues, contexte géomorphologique, évolutions morphodynamiques des bandes actives, anthropisation, etc.)* constituera la base d'une typologie fonctionnelle **définissant 3 grands morphotypes torrentiels dans cette vallée**.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

Une gestion plus durable du risque torrentiel passe nécessairement par une connaissance toujours plus fine de l'aléa en jeu. Or, à l'heure actuelle et dans le cadre de la mise en place progressive des Plans de Prévention des Risques Naturels *(P.P.R.N)*, l'approche historique et donc celle d'occurrence, demeure la plus fréquemment employée dans les études portant sur l'aléa.

Dans des secteurs très documentés ou historiquement stratégiques, cette démarche peut se révéler d'une grande fiabilité. Cependant, dans les Hautes-Alpes et spécialement dans le Briançonnais, des études antérieures ont démontré que la fiabilité de l'enquête historique sur les évènements torrentiels était intimement corrélée avec la présence d'activités ou d'infrastructures anthropiques (Fanthou, 1991 ; Lahousse, 1994 et 1997 ; Baraille, 2001). La reconversion socio-économique récente de certaines vallées, et les nouveaux aménagements qu'elle a entraînés rend assez relative la fiabilité de la seule approche historique dans l'évaluation de l'aléa torrentiel. Par conséquent, la détermination de crues de référence devient alors, elle aussi, assez subjective.

D'autre part, les recherches basées sur une approche rhéologique *(donc strictement dynamique)* à des fins de modélisations, se heurtent également à un certain nombre de contraintes. Tout d'abord, si la modélisation s'appuie sur un volume et une densité sédimentaire donnée, se pose une nouvelle fois le problème des valeurs ou des modèles de référence. Par ailleurs, lorsque ces modèles intègrent des éléments comme les différentes sources sédimentaires mobilisables, les pentes, ou encore la pluviométrie, cela suppose en amont une source considérable de données recueillies à grande échelle. Cette instrumentalisation implique de lourds investissements sur le plan technique *(stations de mesures automatiques, pièges sédimentaires, sondes, etc)*. Très ciblées, de telles études ne peuvent évidemment pas être généralisées à l'ensemble des torrents d'une vallée.

Afin de répondre à la nécessité d'évaluer l'aléa torrentiel à l'échelle de la vallée, ces dernières réflexions et notre analyse des caractéristiques morphologiques actuelles des torrents nous amènerons à préconiser une approche de l'aléa torrentiel basée sur la notion de "potentialité" que nous tenterons d'appliquer aux torrents de Serre-Chevalier.

Par sa formulation précise, cette notion de "potentialité" se veut être une approche novatrice de l'évaluation de l'aléa torrentiel car ne répondant plus uniquement à une démarche diachronique mais aussi prospective. Il s'agit donc bien de s'inscrire dans une gestion durable du risque torrentiel. Cette dernière proposition sera précisée, tout comme ses perspectives.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

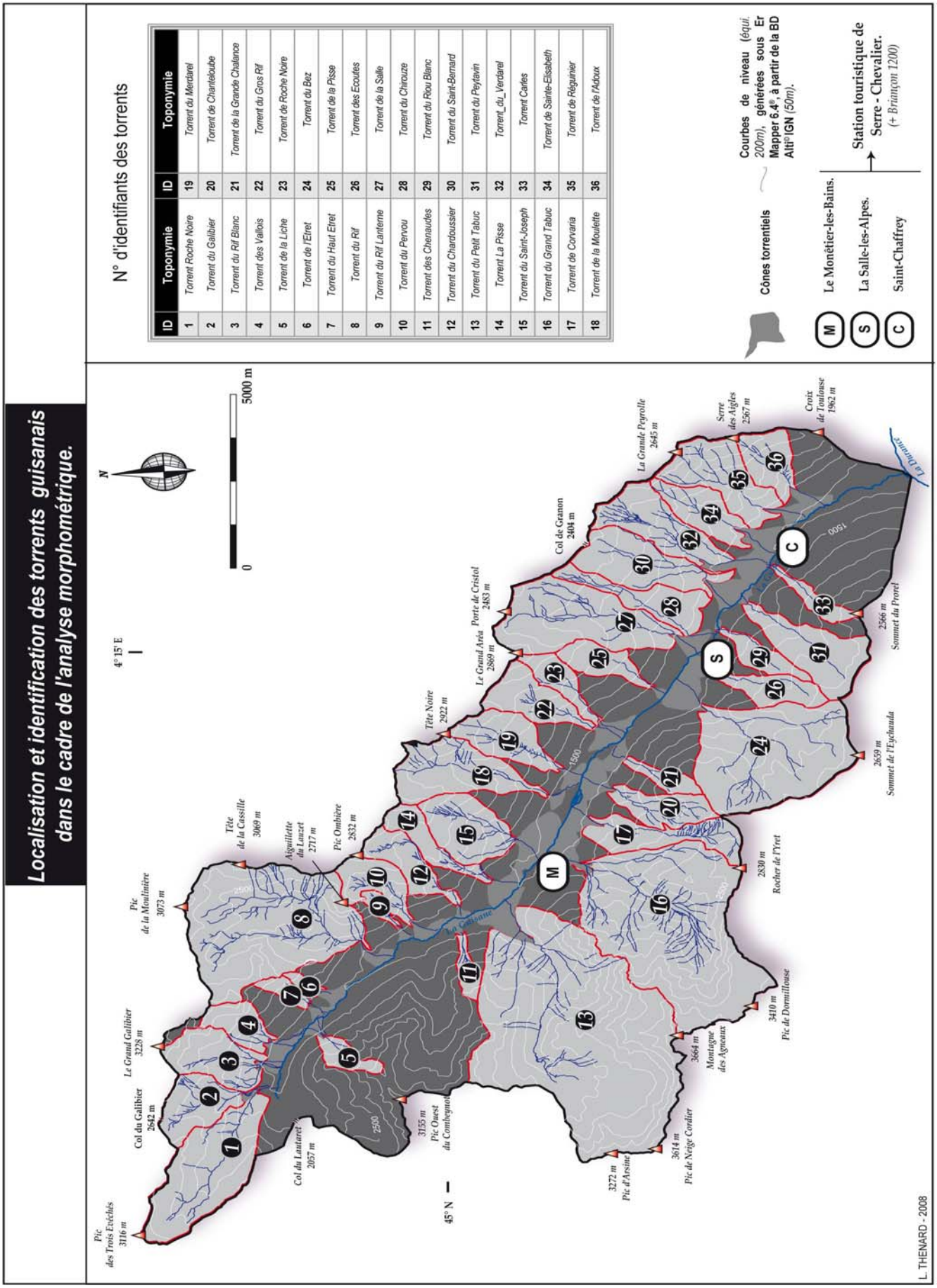


Figure 57: Carte de localisation et d'identification des torrents de la vallée de la Guisane concernés par l'analyse morphométrique.

Données extraites de la base "Morphométrie" du SIRTOS.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

2.1. CONSIDERATIONS METHODOLOGIQUE.

2.1.1. L'approche morphométrique.

Employée dès la fin du XIX^{ième} siècle à des fins essentiellement descriptives, la morphométrie s'est vue considérablement développée et enrichie dès les années 1930 (Horton, 1932 et 1945 ; Peguy, 1942) et plus encore durant les décennies 1950-60 par les travaux des hydrologues anglo-saxons, en particulier américains (Strahler, 1952 et 1957 ; Schumm, 1956 ; Leopold et Miller, 1956 ; Melton, 1957 ; Morisawa, 1958, Shreve, 1966). Cherchant à mieux appréhender l'organisation des réseaux hydrographiques, et à terme à déterminer les paramètres prédominants et explicatifs des dynamiques hydrologiques, ces chercheurs ont conçu nombre de méthodes et d'indices faisant encore référence[73], et régulièrement employés de nos jours.

Nous avons choisi dans notre analyse d'appliquer une ordination des réseaux torrentiels de type *Strahler* (1952). Essentiellement parce que cette technique demeure le système le plus communément utilisé (Amoros et Petts, 1993). Ce travail a été réalisé sous S.I.G, parallèlement à la digitalisation du réseau hydrographique de la vallée de la Guisane **[Cf. Figure 58]**. Il a d'ailleurs donné lieu à la création d'une base de données géoréférencées, et intégrée au "SIRTOS" [Cf. 1.4.3.3].

Représentative de l'ensemble du réseau sans minorer les segments de rang inférieur[74], facilement applicable et adaptable, cette méthode facilite donc les comparaisons de réseaux hydrographiques parfois très différents et/ou géographiquement éloignés.

[73] Pour mémoire et à titre d'exemple, les techniques d'ordination des réseaux hydrographiques et les concepts associés *(ex : loi des nombres "hortonienne")* ont été progressivement développés depuis les travaux d'Horton en 1945, en passant par ceux de Strahler *(1952)* ou encore de Shreve *(1966)*. Ce dernier proposa une technique d'ordination, surnommée *magnitude de Shreve* ou *méthode de la magnitude*, qui est probablement la plus représentative dans le cadre de la description d'un réseau hydrographique par rapport à la réalité géomorphologique (Bravard et Petit, 2000).

[74] Ce qui était le principal défaut de la technique proposée par Horton en 1945. L'ordination de Strahler (1957) est une adaptation de la méthode de Horton permettant une application à la plupart des réseaux hydrographiques.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

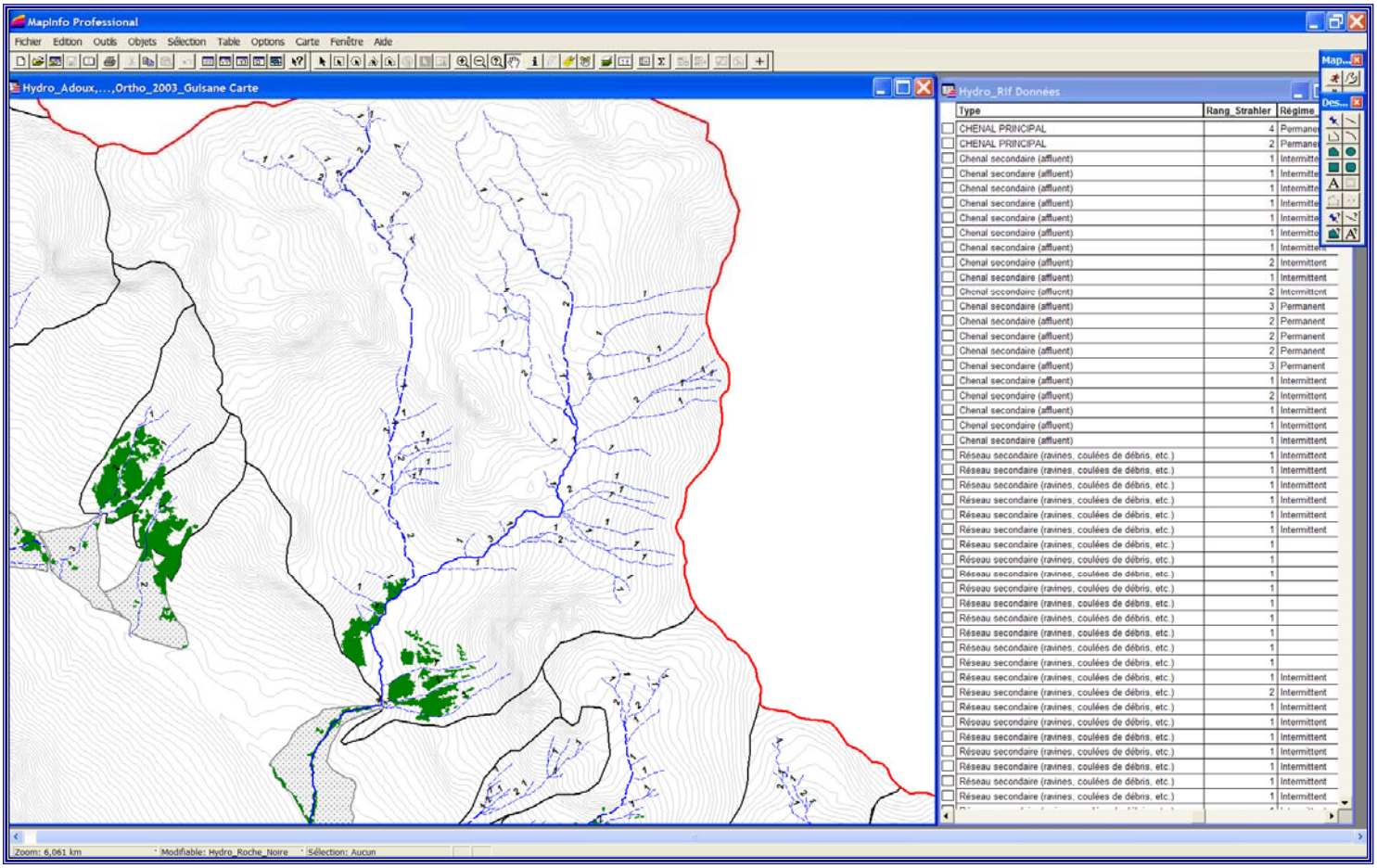


Figure 58: Ordination de Strahler : digitalisation et création de la base de données associée sous SIG (Map Info 7.5©)- Exemple du Torrent du Rif (Com. du Monêtier-les-Bains. Données extraites de la base "Hydrologie" du SIRTOS.

Evidemment, ce type de paramètres planimétriques et linéaires ne peuvent à eux seuls traduire et encore moins expliquer la diversité et la complexité du fonctionnement d'un bassin versant, torrentiel ou non. Cela reste d'ailleurs le grief le plus récurrent concernant ce type d'analyses car la plupart des indices morphométriques ne traitent pas des composantes dynamiques (Gaucherel, 2003 ; Douvinet *et al*, 2008), et s'exonèrent ainsi du caractère intrinsèquement systémique du fonctionnement des bassins versants.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

Sigles	Intitulés/Formules	unités	Méthodes/Outils
Id	**Identifiants** numériques des torrents *(communs à toutes les bases de données)*	–	MapInfo 7.5 / Tableur Excel. Référencement numérique des torrents
Exp.	**Exposition** des torrents sur versant	Adret / Ubac	Lecture cartographique
P_R	**Périmètre** du bassin versant	**km**	Digitalisation et quantification sous SIG
A_{BV}	**Surface bassin** versant	**km²**	Digitalisation et quantification sous SIG
A_{CD}	**Surface cône** torrentiel	**km² - ha**	Digitalisation et quantification sous SIG
A_T	**Surface totale** $A_T = A_{BV} + A_C$	**km² - ha**	Quantification sous SIG
R_{CB}	**Ratio cône / bassin** versant $R_{CB} = \left(\frac{A_C}{A_T}\right) \cdot 100$	**%**	Digitalisation et quantification sous SIG
Alt (MBV)	**Altitude maximale** du bassin	**m**	Quantification sous SIG
Alt (MRR)	**Altitude maximale** du bassin dans l'axe du collecteur principal	**m**	Quantification sous SIG
Alt (mPX)	**Altitude minimale** bassin (*Apex du cône*)	**m**	Quantification sous SIG
Alt (mCF)	**Altitude minimale torrent** (confluence)	**m**	Quantification sous SIG
D_{mx}	**Dénivelé maximal** $D_{MX} = Alt_{Mbv} - Alt_{mCF}$	**m**	Quantification sous SIG
I_{RR}	**Longueur maxi** du bassin **dans l'axe du collecteur principal**	**m**	Digitalisation et quantification sous SIG
I_{CD}	**Longueur** radiale du **cône**	**m**	Digitalisation et quantification sous SIG
L_{val}	**Largeur vallée**	**m**	Digitalisation et quantification sous SIG
R_R	***Relief Ratio*** $R_R = \frac{(Alt_{MRR} - Alt_{mCF})}{l_{RR}}$	**% - °**	Digitalisation et quantification sous SIG
P_{BV}	**Pente** moyenne du **bassin**	**% - °**	Quantification sous SIG et tableur Excel.
P_{CD}	**Pente** moyenne du **cône**	**% - °**	Quantification sous SIG et tableur Excel.
P_{CP}	**Pente** moyenne **chenal principal**	**% - °**	Quantification sous SIG et tableur Excel.
K_{Gr}	Indice de **compacité de Gravelius** $K_{GR} = 0,28 \cdot \left(\frac{P_R}{\sqrt{A_{BV}}}\right)$	–	Quantification sous SIG et tableur Excel.
M_{BV}	Indice de **Melton** $M_{BV} = \frac{\left[(Alt_{MRR} - Alt_{mPX})/1000\right]}{\sqrt{A_{BV}}}$	–	Quantification sous SIG et tableur Excel.
D_D	**Densité de drainage** $D_D = \frac{\sum L_x *}{A_T}$ * L_x : *longueurs des cours d'eau de tous les ordres du réseau hydrographique*	**km.km²**	Quantification sous SIG et tableur Excel.
R_C	**Rapport de confluence** $Rc = \frac{\text{Nombre de segments d'ordre x}}{\text{Nombre de segments d'ordre x+1}} = \frac{N_x}{N_{(x+1)}}$	–	Quantification sous SIG et tableur Excel.

TABLEAU VI : PRINCIPAUX INDICES MORPHOMETRIQUES EMPLOYES

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Compte tenu des réserves émises précédemment, on peut alors légitimement s'interroger sur l'intérêt d'une analyse morphométrique. En réalité, la **pertinence de la *"géomorphométrie"*** (Morisawa [1962] cité in Douvinet et al, 2008) **réside essentiellement dans les objectifs poursuivis.**

Dans notre cas, cette section "morphométrie" vise en premier lieu à **décrire les torrents de la vallée de la Guisane à partir de paramètres élémentaires communs, et non de déduire immédiatement des comportements morphodynamiques réciproques.** Autrement dit, les paramètres morphométriques sont abordés dans un premier temps comme des repères ordinaires, aisément appréhendables tant en terme de calculs que d'interprétation, et surtout couramment employés sur d'autres secteurs *(à des fins comparatives)*.

Ce sont donc des **outils de référence** (Gaucherel, 2003). Chaque indicateur morphométrique doit être considéré comme un élément intégré dans un système global et infiniment plus complexe. D'autre part, si le caractère statique de la plupart de ces indices est sans conteste un défaut conséquent dans une analyse synthétique, cela permet tout de même **d'établir des bases comparatives relativement statiques d'un point de vue spatio-temporel** *(ex : surface des bassins versants)*, en s'exemptant de paramètres dynamiques, par définition variables.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

2.1.2. Traitements statistiques.

Dans un premier temps, les relations établies restent de type bivariées *(entre deux paramètres morphométriques)* soit sous la forme d'indices soit par corrélation linéaire. De ce point de vue, l'indice de rugosité de Melton[75] ou encore le coefficient de compacité de Gravelius en sont des illustrations classiques [Cf. Encadré "morphométrie"]. Pour atténuer le caractère segmenté de ce type d'indices, une matrice de corrélations *(de Pearson)* a été générée afin d'évaluer la possibilité d'une typologie des torrents de la vallée sur les seuls critères morphométriques (Cf. 2.3.1).

Afin d'adopter une approche plus synthétique, nous avons ensuite employé une Analyse en Composantes Principales (*A.C.P*). Cette méthode statistique multivariée est fréquemment employée lorsque l'on cherche à révéler des relations entre de nombreuses variables[76]. Un exemple récent et très complet de ce type de traitement statistique appliqué aux indices morphométriques nous est fourni dans une thèse portant sur le risque torrentiel dans la vallée de l'Arzino (Garlatti, 2007), située dans les Préalpes Carniques du Nord-Est italien.

De type "exploratoire", l'A.C.P –autrement nommée *analyse factorielle* ou *analyse géométrique des corrélations*– permet de découvrir des relations entre variables sans avoir d'hypothèses préalablement définies (Buisine et Martin, 2006). Cette technique statistique présente les données multivariées sous la forme d'un nuage de points dans des plans factoriels où la dispersion est la plus importante.

---

[75] Concernant les organismes torrentiels, ce type de relations a également donné lieu à un certain nombre d'investigations. En effet, M.A Melton dans son étude sur les cônes de déjection torrentiels en milieux arides et semi arides a proposé un indice de rugosité ou dénivelée spécifique (Melton, 1965), mettant en rapport la déclivité du bassin versant et sa superficie, pour ensuite établir une relation positive entre cet indice et la taille des cônes de déjection (Garitte et Thénard, 2005). Depuis, et toujours concernant les torrents, cet indice morphométrique a été utilisé par de nombreux chercheurs sous toutes les latitudes à des fins essentiellement descriptives et comparatives (Marchi et al, 1993 ; Marchi et Tecca, 1995 ; Marchi et Brochot, 2000 ; De Scally et al. , 2001 ; Wilford et al. , 2004 ; De Scally et Owens, 2004 ; Garitte et Thénard, 2005 ; Garitte, 2006). A partir de cet indice référent, d'autres relations binaires ont pu être établies avec des résultats relativement cohérents et concordants, sans jamais établir pour autant de véritable paradigme scientifique ou une quelconque loi géomorphologique *(essentiellement en raison des réserves émises précédemment).*

[76] Par exemple, F. Liebault (2003) a utilisé cette méthode pour réaliser une typologie des rivières torrentielle drômoises fondée sur des indicateurs morpho-sédimentaires.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

L'A.C.P met en exergue les relations de proximités ou d'éloignement entre les variables concernées. Évidemment, l'interprétation de ce type d'analyse comporte tout de même une certaine marge de subjectivité et d'incertitude.

Enfin, suite à ces traitements et à leur analyse, nous avons voulu sortir d'une typologie strictement basée sur des indicateurs morphométriques. Dans le cadre d'un diagnostic préliminaire nous tenterons d'évaluer les prédispositions des torrents guisanais concernant l'aléa torrentiel. Cela aboutira à la cartographie de la "potentialité" de l'aléa torrentiel à Serre-Chevalier.

2.2. INDICATEURS MORPHOMETRIQUES GENERAUX.

Comme mentionné précédemment (Cf. 1.1), la vallée de la Guisane se distingue par une remarquable diversité de ses paysages, en grande partie liée à la complexité du cadre morphostructural du secteur. Aussi, les différentes occupations du sol ajoutent encore, si il en était besoin, un peu plus de nuances au "patchwork" paysager de la vallée de la Guisane.

Logiquement, les premiers résultats de l'analyse morphométrique *–notamment au travers des traitements statistiques–* confirment cette diversité apparente des organismes torrentiels.

2.2.1. Premières constatations.

2.2.1.1. Des contrastes de taille.

Dès la première campagne de terrain, l'observateur averti est frappé par le pluralisme des morphologies torrentielles dans cette vallée et par la multiplicité des configurations. De prime abord, une approche "globalisante" de l'aléa torrentiel dans cette vallée semble assez mal adaptée car peu en phase avec la complexité du terrain, et pour tout dire non représentative.

La base de données morphométriques (Cf. SIRTOS) rend effectivement compte de cette diversité et les indices de base en témoignent très largement. Comment, en effet, appréhender de la même manière le torrent du **Petit Tabuc** [Id. 13] et le **Rif Lanterne** [Id. 9], lorsque le premier est 52 fois plus étendu que le second ? **[Cf. Figure 59]**

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

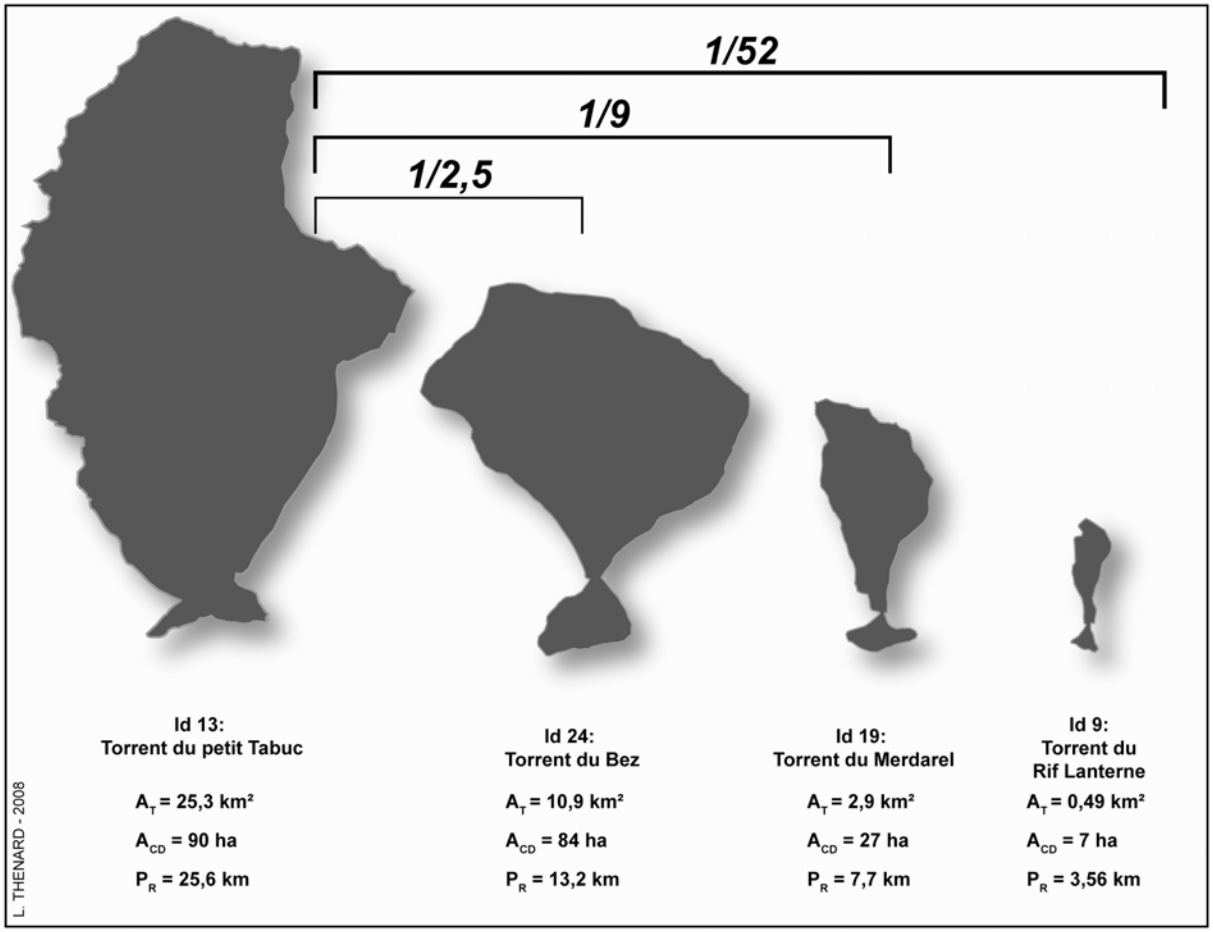


Figure 59: Une grande disparité de taille et de forme des torrents de la Guisane. Données extraites de la base "Morphométrie" du SIRTOS.

Cette diversité des configurations torrentielles s'exprime également en fond de vallée, avec les **cônes de déjection**.

Pour commencer, certains torrents ne disposent pas de cônes torrentiels comme par exemple le torrent Carles [Id. 33] sur la commune de Saint-Chaffrey (*Serre-Chevalier 1300*). De même, si avec 12,3 km² le bassin versant du torrent du Rif [Id. 8] est 4 fois plus étendu que celui du torrent de Saint-Joseph [Id. 15] (*3,25km²*), ce rapport s'inverse dans les mêmes proportions dans la comparaison surfacique de leurs cônes de déjection respectifs, l**e torrent de Saint-Joseph ayant édifié le cône torrentiel le plus étendu de la vallée de la Guisane *(1,18 km²)***.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

Toujours concernant ces cônes détritiques, et en s'adjoignant aux contrastes de superficies, les **disparités de pentes ou de formes** (*dimensions longitudinales et transversales*) concourent elles aussi à cette impression initiale de diversité. Par exemple, l'aspect effilé et particulièrement incliné du cône de déjection (± *26°*) du torrent de la Liche [Id. 5] traduit manifestement des dynamiques mixtes et/ou une certaine étroitesse du fond de vallée. A l'opposé, répondent de vastes cônes (≥ *0,8 km²*) comme ceux du Petit [Id. 13] et Grand Tabuc [Id. 16] ou encore celui du Bez [Id. 24], peu pentus (≤ *7°*) et "évasés", témoignant de dynamiques plus strictement torrentielles.

2.2.1.2. Diversité des lits torrentiels en fond de vallée.

De la même manière, les **lits torrentiels** en fond de vallée offrent globalement un dégradé de style *amont-aval*.

- La plupart des **cônes** des organismes courts et peu étendus (*moins de 5km²*) **de la haute vallée** présentent de larges bandes actives ou zones d'emprises, multichenalisées et le plus souvent dénuées de végétation. Elles témoignent ainsi des divagations régulières des torrents sur leurs cônes et d'une morphodynamique aggradante active. Par exemple, les bandes actives des torrents du Rif Blanc [Id. 3], des Vallois [Id. 4], de la Liche [Id. 5], ou encore du Haut-Étret [Id. 7] en sont les meilleures illustrations.

- Viennent ensuite les **torrents de la moyenne vallée** [Id. 15-23], dont plus de la moitié expose encore aujourd'hui des bandes actives *(ou des zones d'emprises)* ayant largement évolué au cours de la période contemporaine (*post-PAG*) et récente (*3 dernières décennies*), passant d'une morphodynamique divagante à un chenal unique et incisé (*et/ou endigué !*) sur leur cône de déjection. Cette évolution des bandes actives dans cette tranche altitudinale est par ailleurs conforme à la tendance globale de rétraction des bandes actives torrentielles dans l'ensemble de l'arc alpin. Bien entendu, les raisons de cette évolution sont multiples, puisque "naturelles" et/ou anthropiques. Mais la détermination de l'agent prédominant en cause reste particulièrement délicate à déterminer en fonction des vallées ou des torrents (Arnaud-Fassetta et Fort, 2004.), d'autant que l'urbanisation parfois massive de certains cônes torrentiels a fait disparaître les témoignages morphologiques de cette évolution.

- Enfin, **les torrents de la basse vallée** de la Guisane [Id. 24-36] disposent pour la plupart d'un chenal unique, incisé et le plus souvent endigué.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

▪

2.2.1.3. *Contrastes des couvertures forestières dans les bassins torrentiels.*

La diversité paysagère de cette vallée tient également pour beaucoup des contrastes et des oppositions dans la répartition et la nature des **surfaces boisées [Cf. Figure 60].** Afin de faciliter les comparaisons et en s'exonérant des facteurs d'échelles, un taux de boisement a été calculé pour chaque torrent par rapport à leur superficie totale.

- Sur les 13 torrents recensés **dans la basse vallée**, 9 présentent des taux de boisement supérieur à 40% ! A l'exception notable du torrent de La Salle [Id. 27], qui se démarque nettement avec à peine 9% de surfaces boisées, tous les torrents de la basse vallée sont végétalisés sur au moins 1/5ème de leur superficie.

- **En moyenne vallée**, les contrastes de végétalisation sont bien plus saisissants, notamment en fonction de l'exposition des torrents. En effet, dans cette portion de la vallée, les 4 torrents localisés sur le versant d'*ubac* présentent un taux de boisement *(mélézins)* compris entre 20 et 38%. Tandis qu'en vis-à-vis, les 5 torrents recensés sont bien moins boisés, puisque 4 d'entre eux disposent d'une couverture forestière inférieure à 10% de leur superficie totale. Ce contraste entre les versants de la moyenne vallée (*entre le Monêtier-les-Bains et la Salle-les-Alpes)* résulte à l'évidence d'une exploitation massive et ancienne de ce versant, à des fins essentiellement minières et agro-pastorales[77]. Ces contrastes de couverture forestière tiennent aussi à la vaste entreprise de revégétalisation des bassins torrentiels du versant d'*adret* par les forestiers dans un premier temps puis par la RTM. Pour la plupart, ils ont été réalisés dès la fin du 19^{ième} siècle sur la commune du Monêtier-les-Bains, dans la première moitié du 20^{ième} siècle à Saint-Chaffrey et à partir des années 1950, sur le versant d'adret de la Salle-les-Alpes.

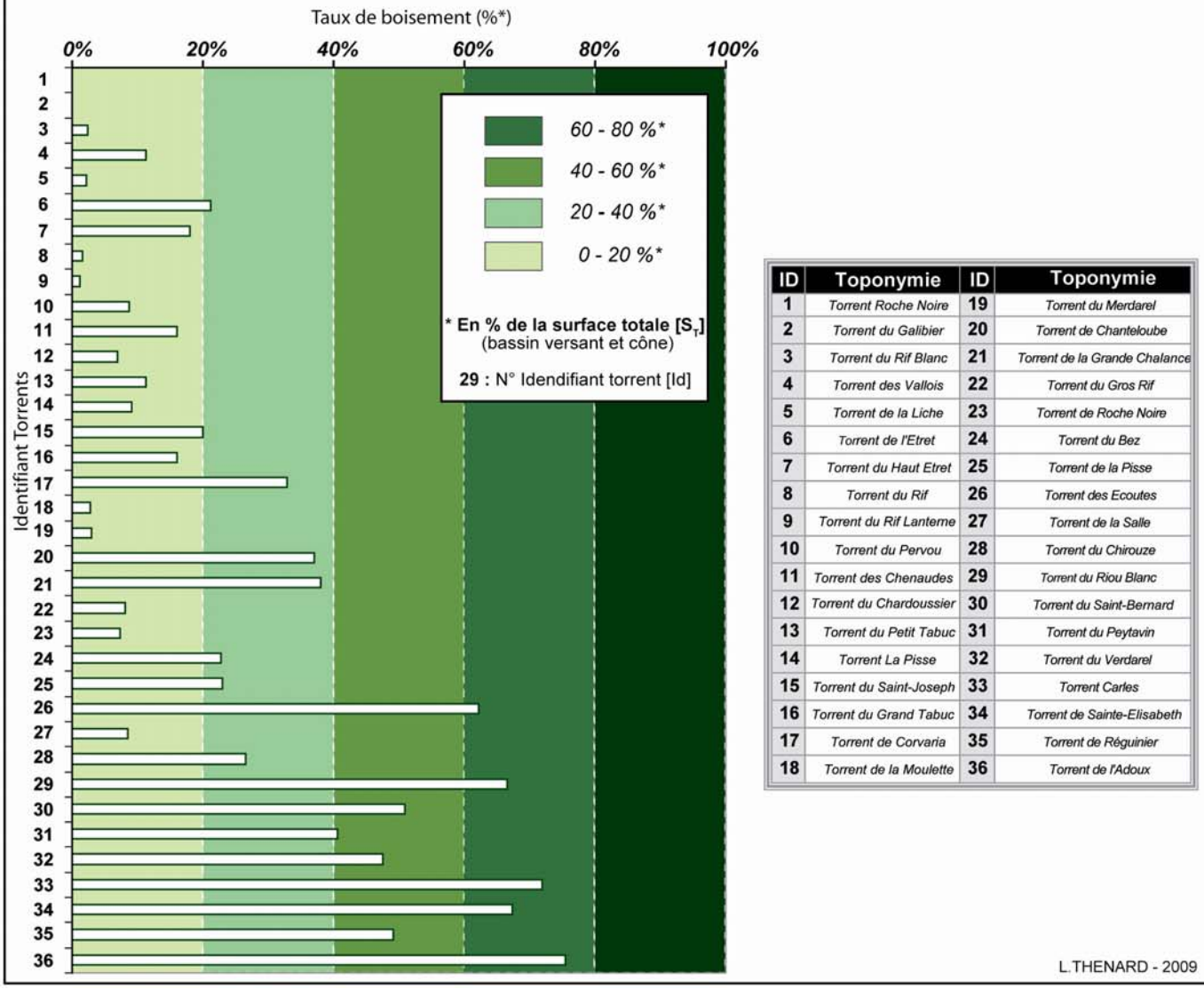
  Dans cette vallée, à l'instar de la plupart des grandes vallées alpines, l'Homme est depuis des siècles le responsable principal de la nature et de l'organisation des forêts. Comme en témoigne la zone protégée, regroupant les bois du Villard, des Rousses, et de l'Ours, qui est presque intégralement reboisée. Elle s'arrête ensuite relativement brutalement à la hauteur du bassin versant du torrent de Salle **[Cf. Figure 60]**. Ce qui, rejoint la constatation précédente à propos de ce torrent, situé lui aussi sur ce versant d'adret mais n'ayant bénéficié que de plantations ponctuelles..

[77] En atteste les nombreuses et anciennes terrasses, jadis vouées aux plantations vivrières ou destinées à l'alimentation d'élevage.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr





ID	Toponymie	ID	Toponymie
1	Torrent Roche Noire	19	Torrent du Merdarel
2	Torrent du Galibier	20	Torrent de Chanteloube
3	Torrent du Rif Blanc	21	Torrent de la Grande Chalance
4	Torrent des Vallois	22	Torrent du Gros Rif
5	Torrent de la Liche	23	Torrent de Roche Noire
6	Torrent de l'Etret	24	Torrent du Bez
7	Torrent du Haut Etret	25	Torrent de la Pisse
8	Torrent du Rif	26	Torrent des Ecoutes
9	Torrent du Rif Lanterne	27	Torrent de la Salle
10	Torrent du Pervou	28	Torrent du Chirouze
11	Torrent des Chenaudes	29	Torrent du Riou Blanc
12	Torrent du Chardoussier	30	Torrent du Saint-Bernard
13	Torrent du Petit Tabuc	31	Torrent du Peytavin
14	Torrent La Pisse	32	Torrent du Verdarel
15	Torrent du Saint-Joseph	33	Torrent Carles
16	Torrent du Grand Tabuc	34	Torrent de Sainte-Elisabeth
17	Torrent de Corvaria	35	Torrent de Réguinier
18	Torrent de la Moulette	36	Torrent de l'Adoux

Figure 60: Taux de boisement (%) des torrents de la Guisane.
(en % de la surface totale = ABV + ACD)
Données extraites de la base "Morphométrie" du SIRTOS

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Facteur aggravant dans cette section médiane et inférieure de la vallée, le contexte géologique des versants *(majoritairement dominé par l'affleurement du substrat "Houiller")* a favorisé durant des siècles et jusqu'à la première moitié du 20ième siècle, l'implantation et le développement d'activités minières **[Cf. Encadré partie 1]**. Les versants de la Guisane gardent encore aujourd'hui quelques stigmates de ces nombreuses mines *(plus d'une vingtaine de concessions d'anthracite ont été recensées pour la seule vallée de la Guisane)* [Feys, 1963.]. Ces dernières étaient évidemment fortes consommatrices de bois d'étayage et de bois de chauffe pour l'alimentation des fours destinés à la transformation des minerais. Aussi et surtout, l'exploitation de certains filons a nécessité des défrichements souvent massifs.

De nombreux fours artisanaux *(four à chaux par ex)* se retrouvent aujourd'hui encore à proximité immédiate des torrents **[Cf. Figure 61]**, car ces derniers réunissaient un certains nombres d'avantages *(présence d'eau, la charge graveleuse de surface des torrents souvent composée de blocs exploitables et facilement accessibles, présence de bois mort pour le four, etc.)*



Figure 61 : Ancien four à chaux artisanal en rive gauche du torrent de la Salle [Id. 27]. Cliché : 19/07/2006 – L. Thénard

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

- **En haute vallée,** compte tenu des altitudes et de la dégradation climatique associée, les taux de boisement apparaissent bien moins conséquents. Les torrents du Rif Blanc [Id. 3], de La Liche [Id. 5], du Rif [Id. 8] ou du Rif Lanterne [Id. 9] ont effectivement des valeurs de couverture forestière oscillant entre 1 et 2,5%. En revanche, et une nouvelle fois sur le versant d'*adret*, des oppositions se singularisent nettement, et témoignent des campagnes contemporaines de revégétalisation orchestrées par le service RTM depuis la fin du 20ième siècle. Par exemple, les torrents de l'Étret [Id. 6] et du Haut-Étret [Id. 7] se démarquent des torrents avoisinant avec des taux de boisement respectifs de 21,3% et de 17,9%.

Pour la période contemporaine, si les mélézins d'ubac ont essentiellement fait l'objet d'une gestion de la ressource forestière *(en dehors des secteurs traditionnellement voués au pastoralisme et des coupes franches réalisées pour les pistes de ski)*, le versant d'adret a bénéficié, dès la fin du 19ième siècle, de reboisements *(pinèdes essentiellement)* plus ou moins importants et généralement dans les bassins torrentiels les plus actifs. Ces actions ont été entreprises pour tenter de limiter les processus érosifs *(notamment torrentiels)* exacerbés durant les siècles précédents par la péjoration climatique du Petit Âge Glaciaire et les défrichements anthropiques

Ces quelques exemples permettent d'apprécier la grande diversité paysagère des versants à Serre-Chevalier, mais aussi toute la difficulté de l'analyse de l'aléa torrentiel, et par là même des risques associés. Les configurations multiples et variées des bassins torrentiels dans cette vallée *(taille, forme, altitude, pente, géologie/géomorphologie, etc.)* et les évolutions perpétuelles et multiscalaires d'agents plus dynamiques et interconnectés *(boisements, mouvements de terrain, anthropisation, processus morphodynamiques, climat, etc.)* témoignent de la complexité des "systèmes" torrentiels et de la problématique des risques inhérents.

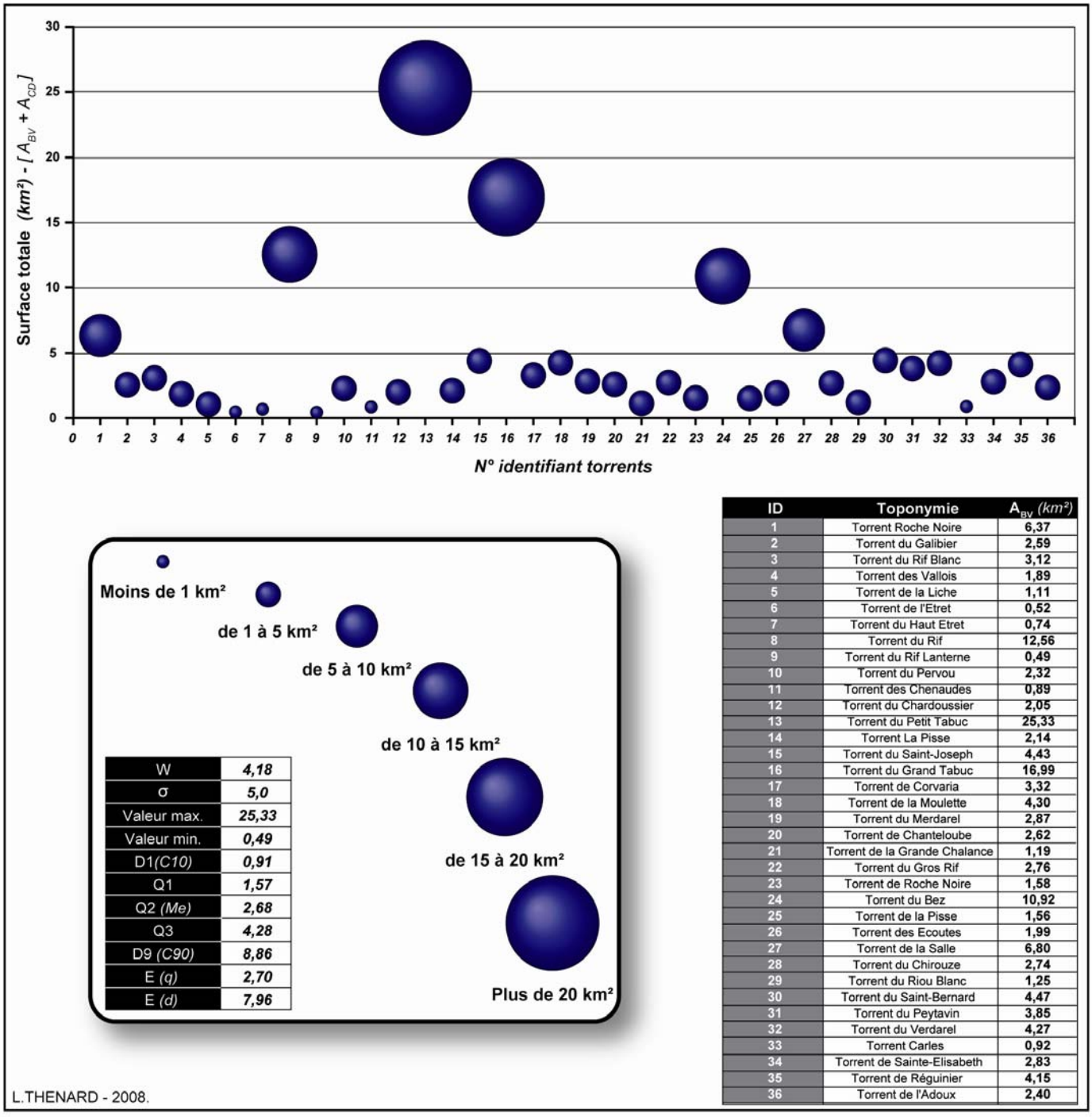
Contrastes et diversité donc, mais pour autant il est possible de dégager quelques éléments concordants par l'étude –*individuelle dans un premier temps*– des indicateurs morphométriques.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

2.2.2. Analyses individualisées des principaux paramètres morphométriques.

2.2.2.1. Les surfaces.

Comme mentionné précédemment, les contrastes sont pour le moins saisissants concernant la superficie totale des torrents *(bassin versant et cône)*. **[Cf. Figure 62]**



W	4,18
σ	5,0
Valeur max.	25,33
Valeur min.	0,49
D1(C10)	0,91
Q1	1,57
Q2 (Me)	2,68
Q3	4,28
D9 (C90)	8,86
E (q)	2,70
E (d)	7,96

ID	Toponymie	A_{BV} (km²)
1	Torrent Roche Noire	6,37
2	Torrent du Galibier	2,59
3	Torrent du Rif Blanc	3,12
4	Torrent des Vallois	1,89
5	Torrent de la Liche	1,11
6	Torrent de l'Etret	0,52
7	Torrent du Haut Etret	0,74
8	Torrent du Rif	12,56
9	Torrent du Rif Lanterne	0,49
10	Torrent du Pervou	2,32
11	Torrent des Chenaudes	0,89
12	Torrent du Chardoussier	2,05
13	Torrent du Petit Tabuc	25,33
14	Torrent La Pisse	2,14
15	Torrent du Saint-Joseph	4,43
16	Torrent du Grand Tabuc	16,99
17	Torrent de Corvaria	3,32
18	Torrent de la Moulette	4,30
19	Torrent du Merdarel	2,87
20	Torrent de Chanteloube	2,62
21	Torrent de la Grande Chalance	1,19
22	Torrent du Gros Rif	2,76
23	Torrent de Roche Noire	1,58
24	Torrent du Bez	10,92
25	Torrent de la Pisse	1,56
26	Torrent des Ecoutes	1,99
27	Torrent de la Salle	6,80
28	Torrent du Chirouze	2,74
29	Torrent du Riou Blanc	1,25
30	Torrent du Saint-Bernard	4,47
31	Torrent du Peytavin	3,85
32	Torrent du Verdarel	4,27
33	Torrent Carles	0,92
34	Torrent de Sainte-Elisabeth	2,83
35	Torrent de Réguinier	4,15
36	Torrent de l'Adoux	2,40

Figure 62: Analyse des paramètres de taille (surface totale = A_{BV} + A_{CD}).

A noter que 80% des torrents Guisanais ont une surface totale (AT) inférieure à 5 km².

Données extraites de la base "Morphométrie" du SIRTOS.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

En effet, si la taille moyenne des torrents guisanais est de l'ordre de 4 km^2 *(400 ha)*, cette valeur centrale est en réalité peu significative (σ = 5 km²).

Le torrent du Verdarel [Id. 32] (*4,27 km^2*) ou celui de la Moulette [Id. 18] (*4,3 km^2*) approchent effectivement cette moyenne, mais la plupart diffèrent sensiblement. Comme le torrent du Petit Tabuc [Id. 13] par exemple qui voit sa superficie dépasser les 25 km^2 pour un périmètre de plus de 24 km, les torrents du Rif Lanterne [Id. 9] ou de l'Etret [Id. 6] atteignent à peine 0,5 km^2 (50 ha), enserrés dans des bassins de 3 à 3,5 km linéaires tout au plus !

Il ressort également que plus de 80% des torrents guisanais *(30 donc)* disposent d'une surface totale inférieure à 5 km^2 *(500 ha)*. Près d'un tiers d'entre eux couvrent une superficie oscillant entre 2 et 3 km^2 *(soit 10 torrents)*, essentiellement en *ubac* donc, mais sans que leur localisation en haute, moyenne ou basse vallée soit déterminante. **[Cf. Figure 62]**

Aux contrastes de taille répondent également des contrastes d'exposition (Cf. 1.1). Sur les 4 torrents ayant une superficie dépassant 10 km^2, 3 d'entre eux se situent en rive droite de la Guisane sur le versant d'*ubac [Petit Tabuc ; Grand Tabuc ; Rif ; Bez]*. Compte tenu des dimensions évoquées, il n'est pas surprenant de ne recenser qu'un tiers des torrents *(12)*, sur le versant d'*ubac* d'une vallée d'à peine plus de 200 km^2. Cette dissemblance trouve essentiellement son explication dans le contraste litho-structural caractérisant la vallée de la Guisane [Cf. 1.2].

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

2.2.2.2. Les pentes.

Dans l'analyse individuelle de quelques indicateurs, le relief ratio (R_R) a été préféré à la pente moyenne du bassin versant (hypsométrie), car certainement plus représentatif de la déclivité moyenne de la zone la plus active du torrent (concentration des flux, processus géomorphologiques de recharge et de transit sédimentaire dans le chenal principal). Évidemment, cet indicateur comporte également des insuffisances notoires, car comme toute valeur de tendance centrale, il ne rend pas compte des variations de pente du profil longitudinal d'un torrent[78].

Abstraction faite de ces quelques réserves, le relief ratio permet néanmoins de réaliser un première description, et de dégager quelques grandes caractéristiques. D'une manière générale, les torrents guisanais se distinguent par la vigueur de leurs pentes puisque aucun d'entre eux ne voit son relief ratio s'infléchir en deçà de 10° *(22,2%)* ; la moyenne se situant à environ 17,4° pour l'ensemble des torrents de la vallée. Plus précisément, 50% des torrents guisanais ont un relief ratio compris entre 13,7° et 20,2°. Ces valeurs élevées de pentes moyennes témoignent de l'énergie du relief dans la vallée de la Guisane et sont assez caractéristiques des vallées du Briançonnais.

Dans le détail, les torrents de la haute vallée se distinguent assez nettement puisque sur les 10 torrents disposant d'une pente moyenne supérieure à 20° *(44%)*, 7 sont localisés dans cette section supérieure de la vallée. Près de 80% des torrents *(soit 11 torrents sur 14)* de la haute vallée ont un relief ratio supérieur à 15°.

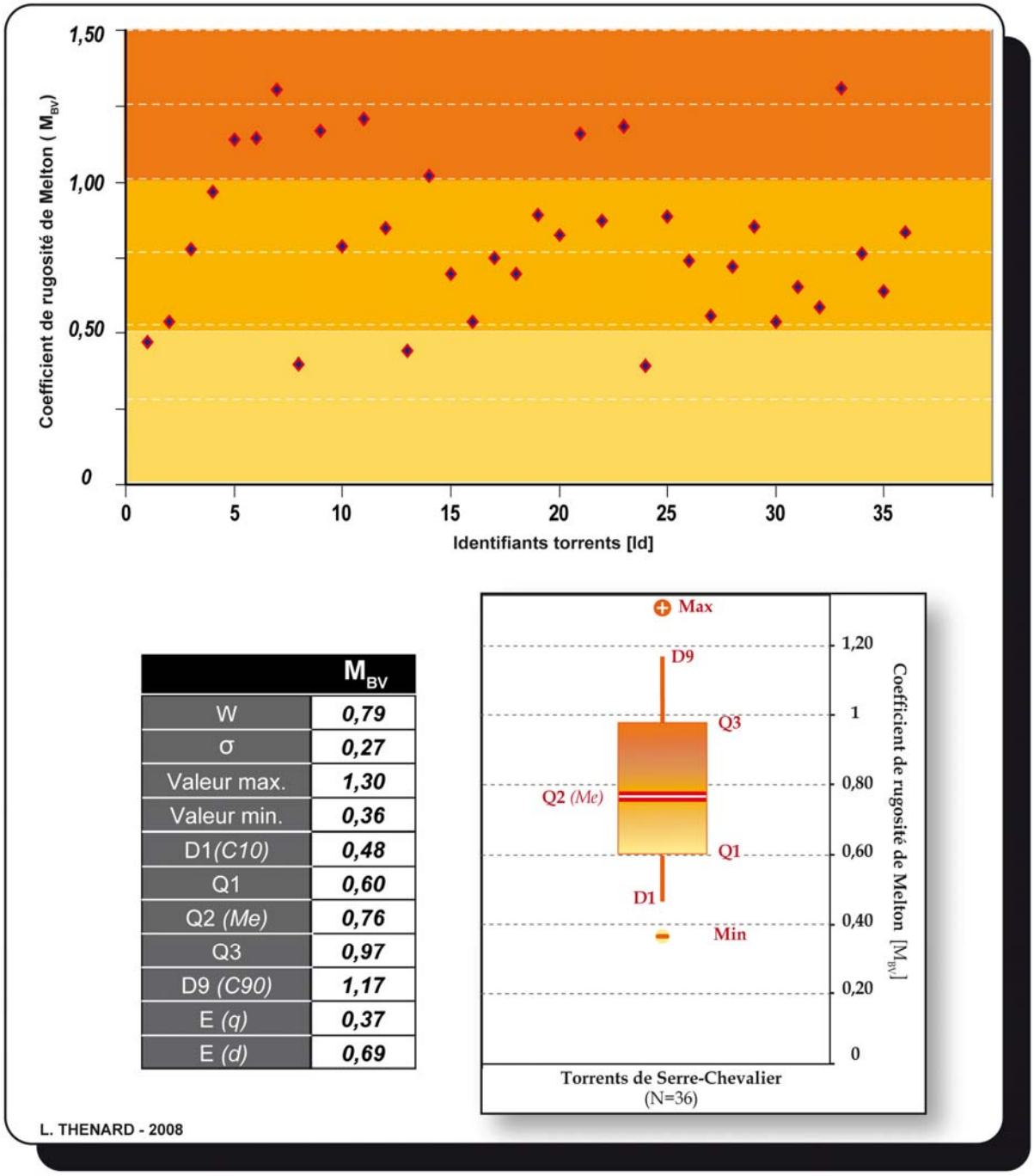
A l'aval de la vallée cette fois, à hauteur de la commune de Saint-Chaffrey (Serre-Chevalier 1300), on observe une élévation sensible des valeurs de pentes *(> à 15°)*, avec notamment un relief ratio des torrents Carles [Id. 33] et de l'Adoux [Id. 36] supérieur à 20°. L'explication de ce regain d'énergie du relief tient essentiellement dans les caractéristiques structurales locales ; De prime abord, il ressort une liaison manifeste entre ce dernier paramètre et la superficie des torrents, mais uniquement pour les valeurs extrêmes. Pour preuve, aucun des 6 torrents de la vallée ayant une surface supérieure à 5 km^2 ne présente un relief ratio supérieur à 20°, et seul le torrent du Petit Tabuc [Id. 13] dépasse légèrement le seuil de 15°. A l'inverse, aucun des 10 torrents présentant des valeurs supérieures 20° ne s'étend au delà des 4 km^2.

Certes, ces dernières constations sont finalement assez logiques et à ce titre assez peu surprenantes. Néanmoins, elles ont le mérite de corroborer statistiquement les observations et les impressions de terrain.

[78] Il s'agit là d'un élément fondamental dans la morphodynamique torrentielle car, par exemple, les substitutions de charges peuvent être en partie conditionnées par ces ruptures de pente et favoriser les "bouffées" torrentielles.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

Pour affiner encore un peu plus l'analyse des pentes, un autre paramètre morphométrique couramment employé a été choisi : l'indice de rugosité de Melton[79] *(M_{BV})* qui correspond à la dénivelée spécifique *(D_S)*. Ce coefficient de rugosité établi cette fois le rapport entre la dénivellation maximale du bassin versant et sa superficie. **[Cf. Figure 63]**



	M_{BV}
W	0,79
σ	0,27
Valeur max.	1,30
Valeur min.	0,36
D1*(C10)*	0,48
Q1	0,60
Q2 *(Me)*	0,76
Q3	0,97
D9 *(C90)*	1,17
E *(q)*	0,37
E *(d)*	0,69

Figure 63: Analyse des paramètres de pente : l'indice de rugosité de Melton
Données extraites de la base "Morphométrie" du SIRTOS.

[79] En anglais : *Melton's ruggedness number*.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

Comme la plupart des paramètres morphométriques *(simples ou croisés)*, sans être couplé ou corrélé avec d'autres éléments morphologiques ou dynamiques, l'indice de rugosité de Melton ne peut être employé qu'à des fins descriptives et/ou comparatives. Toutefois, la prise en compte de la surface, et non seulement d'une longueur planimétrique, apparaît plus pertinent *(car plus représentatif)* pour caractériser les bassins torrentiels. Les valeurs relatives obtenues facilitent également les comparaisons inter bassins en se détachant des facteurs d'échelle. Il s'agit d'un paramètre complémentaire car les dénivelées spécifiques calculées confirment plutôt la description faite avec le *relief ratio* avec tout de même quelques variantes intéressantes.

Globalement, les bassins torrentiels de la vallée de la Guisane présentent un dévers marqué avec une valeur moyenne de 0,79, 50% d'entre eux obtenant des valeurs de dénivelées spécifiques comprises entre 0,6 et à 0,97. Aussi, sur les 36 torrents actifs que compte la vallée, 23 ont un indice de rugosité variant de 0,5 à 1, témoignant d'une inclinaison modérée de leurs bassins. Mais surtout, 78% *(18 torrents)* sont concentrés en moyenne et basse vallée, contrastant à nouveau avec les torrents de la haute vallée.

Compte tenu du protocole de calcul, on retrouve logiquement parmi les valeurs les plus faibles, les torrents à superficie étendue *(entre 5 et 25 km²)*. Rapporté à sa surface, c'est le bassin versant du Bez [Id. 24] qui apparaît ici comme le moins pentu de la vallée *(M_{BV} = 0,36)*. De même, les torrents de Roche Noire [Id. 1] , du Galibier [Id. 2], du Rif [Id. 8], du Petit [Id. 13] et du Grand Tabuc [Id. 16] ont tous des indices de rugosité inférieurs à 0,55. A noter que l' "évasement" ou plutôt le degré d'allongement du bassin, semble influer sur ces valeurs, car aucun des bassins cités ne dispose d'un coefficient de compacité dit *de Gravelius (K_{GR})* supérieur à 1,45.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

Entre ces extrêmes, on retrouve globalement dans les valeurs de dénivelées spécifiques la hiérarchie mise en avant par le relief ratio.

Autrement dit, d'un point de vue physionomique, ces torrents de taille moyenne *(< à 5 km²)* ont pour caractéristique de disposer de bassins versants relativement équilibrés dans les dimensions longitudinales et transversales comparativement aux autres torrents de la vallée, mais tout de même très pentus. Cette remarque très descriptive est en réalité peut-être moins anodine qu'elle n'y paraît. En effet, un bassin versant relativement évasé, notamment dans sa partie supérieure, offre une surface de réception accrue par rapport à des bassins plus longilignes ; ce qui naturellement optimise la probabilité de recevoir les eaux précipitées, en particulier orageuses. Le couplage de ce paramètre "forme" avec la forte déclivité bassin versant est indubitablement un facteur favorisant les écoulements superficiels de type ruissellements, et surtout leur concentration. Répondant à ces critères, les torrents des Vallois [Id. 4] et du Merdarel [Id. 19] ont déjà généré 3 crues dommageables au cours des 20 dernières années, alors que l'enquête historique[80] n'apparaît fiable que pour la période récente (Cf. 3.2).

Évidemment, leur propension à développer des crues torrentielles reste tout autant conditionnée par la nature et la proximité d'une charge sédimentaire mobilisable, ainsi que par la densité et l'ordonnancement de son réseau hydrographique, ou encore par les interventions anthropiques dans le bassin ou dans le chenal.

[80] Les résultats de l'enquête historique pour la période contemporaine apparaissent peu fiables pour ces torrents car en dehors de l'ex route nationale 91 (actuelle RD 1091), leurs cônes de déjection n'ont pas fait l'objet d'implantations anthropiques.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

2.2.2.3. Formes des bassins torrentiels.

Avant d'étudier les différentes corrélations entre les variables morphométriques, reste l'analyse de 2 indices dits "composés" ou "croisés" (Douvinet *et al*, 2008) : l'indice de compacité de Gravelius *(K_{GR})* et la densité de drainage *(D_D)*.

2.2.2.3.1. Indice de compacite de Gravelius.

L'indice de compacité de Gravelius *(K_{GR})* est donc un indice permettant d'apprécier la forme d'un bassin versant. Sa commodité de mise en œuvre et d'interprétation facilite grandement l'appréciation du degré d'allongement du bassin versant par distinction des bassins circulaires ou évasés de ceux arborant une forme plus ovoïdale.

Étudié isolément, l'indice de compacité ne peut à lui seul apporter des éléments explicatifs dans l'analyse d'un bassin versant, notamment torrentiel. Il faut alors l'intégrer dans des corrélations plus complexes avec d'autres paramètres morphométriques ou dynamiques. En intégrant ces réserves à son étude, cet indice permet d'affiner un peu plus la connaissance des physionomies des bassins torrentiels.

Globalement les torrents de la vallée de la Guisane présentent des bassins versants assez étirés *($W_{Kgr} = 1,47$; $\sigma = 0,2$; $M_e = 1,44$)*. La moitié d'entre eux disposent d'un indice de compacité compris entre 1,36 et 1. Seuls 5 torrents (14%) présentent un bassin très étiré *($K_{gr} \geq$ à 1,7)*, et tous se situent en moyenne et basse vallée *(La Pisse [Id. 14], Corvaria [Id. 17], Chirouze [Id. 28], Verdarel [Id. 32], Carles [Id. 33])*. Au premier rang, le torrent de Corvaria se distingue avec un indice de Gravelius de 1,91 !

Concernant cette fois les valeurs les plus faibles *[1-1,35[*, le torrent du Saint-Joseph [Id. 15] dispose du bassin le plus auréolaire de la vallée avec un indice de compacité de 1,1. Suivent de près le torrent du Bez [Id. 15], du Rif [Id. 8] et du Galibier [Id. 2] avec pour valeurs respectives 1,16, 1,23 et 1,24. Si 25% des torrents entrent dans cette classe inférieure (*[1-1,35[*), leur répartition dans la vallée est assez disparate. Là aussi, cet état de fait reste assez logique car il s'agit d'un paramètre exclusivement conditionné par le contexte structural [Cf. 1.2].

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

2.2.2.3.2. Morphométrie des cônes torrentiels.

Lieu de transit, mais surtout de dissipation et d'atterrissement sédimentaire, les cônes de déjection sont généralement l'autre composante principale des torrents.

A l'instar de la superficie *(totale)* des torrents guisanais, les formations détritiques qui leur sont associés présentent elles aussi une grande variabilité morphologique (Bertran, 2004). Probablement édifiés dès la fin du Tardiglaciaire durant ce que l'on a qualifié de *"Remblaiement Holocène Principal"* [81] (Jorda, 1980 et 1985), ainsi que pendant le *"Remblaiement Historique Postglaciaire"* (Ballandras, 1997, 1998 et 2002), les cônes torrentiels en Guisane montrent une grande diversité, tant en terme de surface que de pente, et donc de forme **[Cf. Figure 64]**.

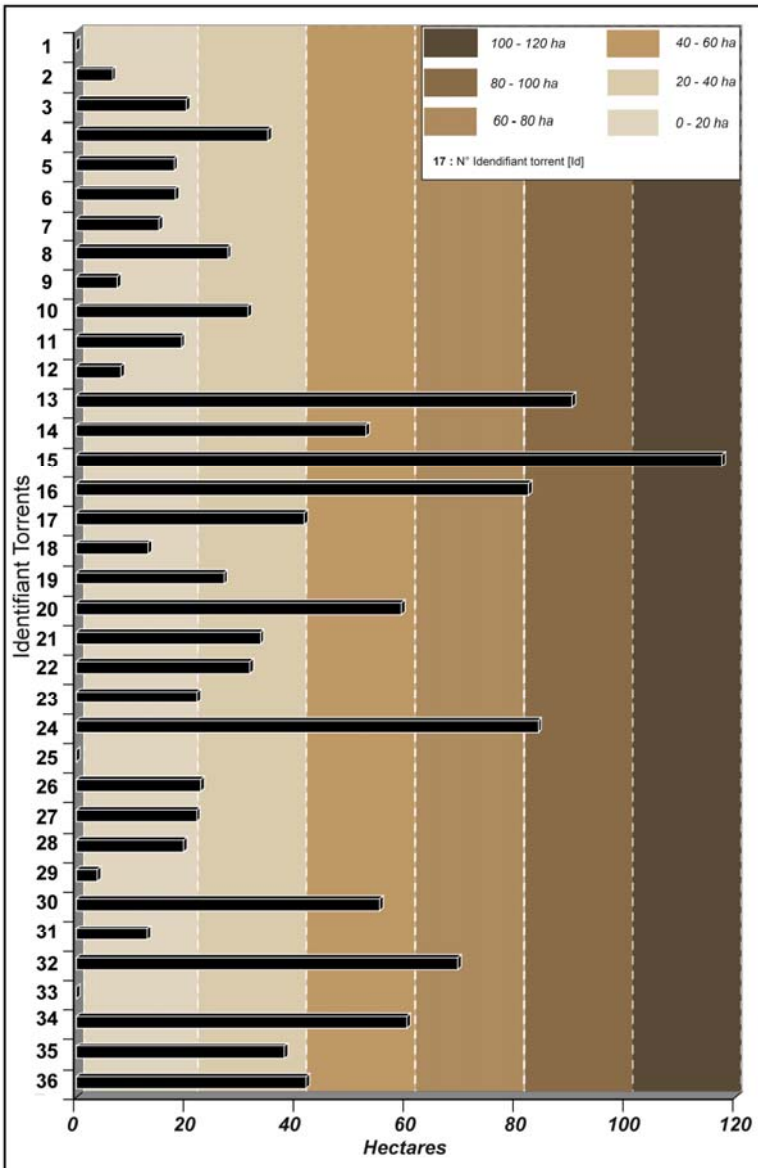
Signalons dès à présent, que les torrents de Roche Noire [Id 1], du Galibier [Id 2], et Carles [Id 33] ne disposent pas de cônes de déjection. D'autres ont façonné des cônes aux dimensions très restreintes proportionnellement à la superficie de leur bassin versant. C'est notamment le cas, à l'observation du *ratio cône-bassin (R_{CB})*, des torrents du Rif ou du Chardoussier dont les cônes ne représentent respectivement que 2,2 % et 3,9 % [82] de la surface totale du torrent ; la moyenne se situant en Guisane aux alentours de 12% de la superficie totale *(soit un ratio approximatif de l'ordre d'1/10^{ième})*.

A l'inverse, certains torrents ont développé, à la faveur de dynamiques aggradantes durant les grandes phases de remblaiement sédimentaire Tardiglaciaire et holocène, de puissants cônes torrentiels. Avec près d'1,2 km^2, le torrent de Saint-Joseph [Id. 15] a édifié le cône torrentiel le plus imposant de la vallée, puisque ce témoin morphologique représente plus du tiers de la surface totale de ce torrent… Très étendu et bien exposé *(S-0)*, ce cône a d'ailleurs permis l'implantation et le développement du noyau historique villageois du Monêtier-les-Bains. Vient ensuite le cône torrentiel du Bez [Id. 24], à la hauteur de la commune de La Salle-les-Alpes, qui avec plus de 80 ha *(0,84 km²)* est de loin le plus vaste cône en basse vallée. Ce qui explique sans aucun doute son urbanisation massive au cours des 50 dernières années...

[81] Le *Remplissage Holocène Principal* (Jorda, 1980 et 1985) ou *Remblaiement Postglaciaire Principal* (Ballandras, 1997, 2002) a été déterminé par un grand nombre d'études chronostratigraphiques réalisées dans les terrasses fluviales et les cônes de déjection. Cette période s'étend dans sa phase paroxystique, du Dryas Récent *(- 11 000 BP)* à la fin du Boréal *(- 8000 BP)*.

[82] Ce rapport *(R_{CB})* exprimé en pourcentage permet de s'exonérer de variations d'échelles, et facilite ainsi les comparaisons.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr



ID	Toponymie	A_{CD}(km²)	R_{CB} (en % de St)
1	Torrent Roche Noire	0,00	0,0
2	Torrent du Galibier	0,07	2,5
3	Torrent du Rif Blanc	0,20	6,4
4	Torrent des Vallois	0,35	18,4
5	Torrent de la Liche	0,18	16,0
6	Torrent de l'Etret	0,18	34,6
7	Torrent du Haut Etret	0,15	20,2
8	Torrent du Rif	0,27	2,2
9	Torrent du Rif Lanterne	0,07	15,0
10	Torrent du Pervou	0,31	13,5
11	Torrent des Chenaudes	0,19	21,4
12	Torrent du Chardoussier	0,08	3,9
13	Torrent du Petit Tabuc	0,90	3,6
14	Torrent La Pisse	0,53	24,6
15	Torrent du Saint-Joseph	1,18	26,5
16	Torrent du Grand Tabuc	0,82	4,8
17	Torrent de Corvaria	0,41	12,5
18	Torrent de la Moulette	0,13	3,0
19	Torrent du Merdarel	0,27	9,4
20	Torrent de Chanteloube	0,59	22,6
21	Torrent de la Gde Chalance	0,33	28,2
22	Torrent du Gros Rif	0,32	11,4
23	Torrent de Roche Noire	0,22	13,9
24	Torrent du Bez	0,84	7,7
25	Torrent de la Pisse	0,00	0,0
26	Torrent des Ecoutes	0,23	11,4
27	Torrent de la Salle	0,22	3,2
28	Torrent du Chirouze	0,19	7,1
29	Torrent du Riou Blanc	0,04	3,0
30	Torrent du Saint-Bernard	0,55	12,4
31	Torrent du Peytavin	0,13	3,3
32	Torrent du Verdarel	0,69	16,3
33	Torrent Carles	0,00	0,0
34	Torrent de Sainte-Elisabeth	0,60	21,2
35	Torrent de Réguinier	0,38	9,1
36	Torrent de l'Adoux	0,42	17,4

	A_{CD}(km²)	R_{CB} (en % de St)
W	0,33	11,9
σ	0,28	9,0
Valeur max.	1,18	34,6
Valeur min.	0,00	0,0
D1 (C10)	0,05	2,3
Q1	0,15	3,5
Q2 (Me)	0,25	11,4
Q3	0,45	17,7
D9 (C90)	0,76	23,6
$E_{(q)}$	0,30	14,2
$E_{(d)}$	0,71	21,3

Figure 64: Etude des surfaces des cônes torrentiels en Guisane .

Données extraites de la base "Morphométrie" du SIRTOS.

Dans un autre registre, les torrents proglaciaires du Petit [Id. 13] et du Grand Tabuc [Id 16] *(versant Ubac)* disposent de cônes tout aussi vastes avec respectivement 90 et 80 ha, témoignant ainsi d'un long travail de transfert de charge fluvio-glaciaire entre le glacier et son torrent émissaire. De prime abord, et si l'on excepte le torrent de Saint-Joseph, l'étude des valeurs absolues fait ressortir une première corrélation. Il semble à l'évidence que les torrents les plus vastes de la vallée, édifient les cônes torrentiels les plus étendus. Toutefois, les contre-exemples ne sont pas inexistants *(Ex : Torrent du Rif)*.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Nonobstant ces premières remarques, la lecture des données "brutes" met en exergue **une triple opposition** :

- Globalement une première opposition apparaît dans les valeurs de pente moyenne des cônes torrentiels.

En effet, l'étude de la pente moyenne[83] des cônes de déjection apporte également un certain nombre d'éléments de réflexion. Une large majorité (*64%*) des cônes torrentiels guisanais ont une pente moyenne comprise entre 5 et 10°. Ce que corrobore relativement bien la valeur des pentes moyennes de 9,1° pour l'ensemble, et plus encore une valeur médiane de 7,4°. Là encore, les contrastes sont d'importance car si la pente moyenne du cône du Petit Tabuc [Id. 13] n'excède pas les 4°, celle du cône du torrent de la Liche approche les 26° (*57,4%*). Pour de telles valeurs de pente *(entre 15 et 20°)*, que l'on ne trouve d'ailleurs qu'en haute vallée, il faut y voir le résultat de dynamiques mixtes, où alternent au fil des saisons des processus avalancheux et torrentiels.

Ainsi, se dessine **une logique géographique manifeste,** dans laquelle les torrents de la haute vallée disposent de cônes nettement plus pentus que les cônes des torrents situés à plus basses altitudes. Logiquement, le cadre structural et les étages morphodynamiques dans lesquels les torrents s'inscrivent, apparaissent comme des éléments déterminants dans les dynamiques torrentielles dominantes. Résultants de ces dynamiques, les cônes torrentiels constituent des archives sédimentaires précieuses. Concrètement, sur les **13 torrents situés en haute vallée** *(en amont du Monêtier-les-Bains)* **et disposant d'un cône torrentiel**, 7 ont une pente moyenne supérieure à 10° (± *22%*), soit 54% des cônes torrentiels dans cette section de la vallée. A comparer, aux 10% de cônes ayant une pente moyenne comprise entre 10 et 15° **en moyenne et basse vallée** *(soit 2 torrents : Grande Chalance* [Id. 21] *et Riou Blanc* [Id. 29]. **Autrement dit, sur les 9 torrents de la vallée disposant d'un cône de pente moyenne égale ou supérieure à 10°, plus des ¾ sont localisés en haute vallée.**

[83] Obtenue ici en établissant le rapport entre la longueur radiale du cône, et la dénivellation entre l'apex du cône et le point dit "d'intersection" ou plus simplement le niveau de base du chenal.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

- Vient ensuite l'**opposition entre l'étendue du cône torrentiel** et sa **pente moyenne**. De manière logique, ces deux variables tendent statistiquement à adopter des comportements inverses. **Globalement, plus un cône de déjection est étendu, moins sa pente moyenne est importante**. L'exemple le plus parlant est certainement celui du cône du Petit Tabuc [Id. 13]. Avec une superficie de 90 ha, il est l'un des plus étendus de la vallée, mais aussi le moins pentu puisque sa pente moyenne n'excède pas 4°. Cette tendance se vérifie également pour les cônes des torrents du Grand Tabuc [Id.16], du Saint-Joseph [Id. 15] ou encore du Bez [Id. 24]. A l'inverse, le torrent de la Liche [Id. 5] dispose du cône le plus pentu de la vallée, avec plus de 25° en moyenne pour une surface de 18 ha.

- Même si les contre-exemples ne sont pas inexistants, cette deuxième opposition en amène intrinsèquement une autre. **Celle entre la taille *(surface)* du torrent et la pente moyenne de son cône de déjection**, puisque précédemment nous avons mis en avant un lien, non systématique mais probable, entre surface du bassin et surface du cône.

A l'évidence, ce type de corrélations témoigne de dynamiques différentes, manifestement conditionnées par ces paramètres morphométriques "fixes", et évidemment par le contexte géomorphologique du bassin versant. D'ailleurs, ce lien entre morphométrie des cônes et processus torrentiels dominants a déjà été mis en avant dans la littérature scientifique. Ce genre de typologie peut s'avérer d'un intérêt certain, comme par exemple dans le cadre d'une typologie basée sur une dynamique dominante *(mais non exclusive !)* à l'échelle de l'Holocène, ou au moins millénaire (Marchi et Tecca, 1995 ; Marchi et Brochot, 2000 ;. **En revanche, dans le cadre d'un diagnostic du risque torrentiel ou au moins d'une évaluation de l'intensité de l'aléa actuel, l'interprétation de ce type de classification peut se révéler délicate, et surtout engendrer des confusions fâcheuses dans une finalité de gestion du risque torrentiel**. Par exemple, peut-on considérer qu'un torrent dit " à charriage" ou "mixte" est de moindre dangerosité qu'un torrent "à laves" ? Les compétences extrêmes développées lors d'évènements paroxystiques, que se soit par charriage hyperconcentré ou par lave torrentielle, doivent impérativement conduire à la plus grande prudence.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Comment dans une démarche de gestion du risque torrentiel, peut-on raisonnablement préjuger ou au moins déterminer un comportement dynamique en se basant sur les seules caractéristiques morphométriques de modelés procédant le plus souvent d'héritages ? En effet, ces derniers témoignent par définition de paléo-environnements *(contextes bioclimatiques)* parfois très différents de l'actuel. **Une fois encore, la pertinence de ces typologies dépend en grande partie de la problématique initiale et des applications escomptées !**

2.2.2.4. Les réseaux hydrographiques torrentiels en Guisane.

Après avoir décrit et étudier le **cadre "statique"** dans lequel s'inscrit l'aléa torrentiel, il faut à présent s'intéresser au **vecteur de cet aléa** ; c'est-à-dire au **réseau hydrographique**.

Par l'approche morphométrique, il s'agit ici de réaliser un "instantané" des réseaux hydrographiques torrentiels, en employant des paramètres essentiellement descriptifs, facilement quantifiables vérifiables et comparables. En revanche, la nature des processus en jeu et leur caractère spasmodique, induisent une dimension dynamique que nous traiterons plus avant dans notre analyse.

Dans le cadre d'une première description des chevelus hydrographiques torrentiels, trois grands paramètres morphométriques ont été privilégiés : la **densité de drainage** ($\boldsymbol{D_D}$), le **rapport de confluence** ($\boldsymbol{R_C}$), et la **pente moyenne du chenal principal** ($\boldsymbol{P_{CP}}$). [Cf. tableaux 7 et 8.].

Pour le calcul de la densité de drainage et du rapport de confluence, un certain nombre de traitements préliminaires de digitalisation et statistiques ont été effectués. A noter que la détermination des différentes altitudes *(alt. max, apex du cône, confluences, etc.)* a été réalisée à partir de deux sources principales : cartes topographiques IGN® au 1/25000^{ième} et la BD Alti© IGN au pas de 50m. Aussi dans un souci de précision, l'ensemble des réseaux hydrographiques torrentiels a été reconnu, et digitalisé sous S.I.G à partir de la BD Ortho© IGN® 2003. Ces données, ainsi que l'ensemble des paramètres morphométriques ont été intégrés au SIRTOS, et sont accessibles à l'échelle de la vallée de la Guisane et/ou à l'échelle de chaque torrent.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

ID	Toponymie	AT (km²)	Longueurs (m)	Longueurs (km)	D_d
1	Torrent Roche Noire	6,59	12153	12,15	1,84
2	Torrent du Galibier	2,59	10799	10,80	4,16
3	Torrent du Rif Blanc	3,12	10895	10,90	3,49
4	Torrent des Vallois	1,89	6363	6,36	3,36
5	Torrent de la Liche	1,11	3400	3,40	3,06
6	Torrent de l'Etret	0,52	1325	1,33	2,55
7	Torrent du Haut Etret	0,74	2892	2,89	3,89
8	Torrent du Rif	12,56	40477	40,48	3,22
9	Torrent du Rif Lanterne	0,49	3680	3,68	7,47
10	Torrent du Pervou	2,32	6594	6,59	2,84
11	Torrent des Chenaudes	0,89	3215	3,22	3,60
12	Torrent du Chardoussier	2,05	6174	6,17	3,01
13	Torrent du Petit Tabuc	25,33	32704	32,70	1,29
14	Torrent La Pisse	2,14	5211	5,21	2,43
15	Torrent du Saint-Joseph	4,43	12476	12,48	2,82
16	Torrent du Grand Tabuc	16,99	49568	49,57	2,92
17	Torrent de Corvaria	3,32	13782	13,78	4,16
18	Torrent de la Moulette	4,30	13230	13,23	3,08
19	Torrent du Merdarel	2,87	9518	9,52	3,31
20	Torrent de Chanteloube	2,62	9836	9,84	3,75
21	Torrent de la Grande Chalance	1,19	3196	3,20	2,70
22	Torrent du Gros Rif	2,76	7342	7,34	2,66
23	Torrent de Roche Noire	1,36	4185	4,19	3,08
24	Torrent du Bez	10,92	19146	19,15	1,75
25	Torrent de la Pisse	1,62	1679	1,68	1,03
26	Torrent des Ecoutes	1,99	3263	3,26	1,64
27	Torrent de la Salle	6,80	24632	24,63	3,62
28	Torrent du Chirouze	2,74	7466	7,47	2,73
29	Torrent du Riou Blanc	1,25	2217	2,22	1,77
30	Torrent du Saint-Bernard	4,47	10216	10,22	2,29
31	Torrent du Peytavin	3,85	3767	3,77	0,98
32	Torrent du Verdarel	4,27	24770	24,77	5,80
33	Torrent Carles	0,92	1679	1,68	1,82
34	Torrent de Sainte-Elisabeth	2,83	6217	6,22	2,19
35	Torrent de Réguinier	4,15	11222	11,22	2,70
36	Torrent de l'Adoux	2,40	6533	6,53	2,72
	TOTAL	***150,41***	***391822***	***391,82***	2,60

TABLEAU VII : DENSITES DE DRAINAGE DES TORRENTS DE LA VALLEE DE LA GUISANE

Données extraites des bases"morphométrie" et "Hydrographie" du SIRTOS.

Ensemble Torrents (N=36)	N	R_c
Rang 1	565	
Rang 2	146	3,9
Rang 3	50	2,9
Rang 4	9	5,6

TABLEAU VIII : RAPPORT MOYEN DE CONFLUENCES DES TORRENTS DE LA VALLEE DE LA GUISANE.

Données extraites des bases "morphométrie" et "Hydrographie" du SIRTOS.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Suite à la digitalisation vectorielle des réseaux hydrographiques, une ordination de type *Strahler* a été réalisée [Cf. encart méthodologique]. Pour adapter cette technique au contexte particulier des bassins torrentiels et aux spécificités climatiques et hydrologiques du Briançonnais, nous avons choisi d'intégrer le **réseau secondaire intermittent** – *de type ravines, coulées de débris, etc.* – **directement relié[84] à un segment de rang supérieur**. Le plus souvent localisés dans le bassin de réception (*impluvium*) ou en tête de réseau, ces chenaux élémentaires appartiennent généralement au rang 1.

L'application stricte de l'ordination de Strahler, c'est-à-dire sans intégrer les segments intermittents, serait la plupart du temps impossible à réaliser dans les torrents du Briançonnais. Par exemple, nombre d'organismes courts, peu étendus et très pentus ont un mode de fonctionnement essentiellement spasmodique, et souvent ne présentent d'écoulements qu'à la fusion nivale printanière ou lors d'évènements hydrométéorologiques paroxystiques, faute d'un aquifère suffisamment efficace *(ex : torrents de La Liche [Id. 5], L'Étret [Id. 6], Chenaudes [Id. 11], La Pisse [Id. 14], etc.)*.

La **densité de drainage** met donc en rapport l'ensemble des chenaux torrentiels *(par addition des longueurs planimétriques des différents segments)* avec la surface drainée *(bassin versant et cône)* ; elle s'exprime en km.km^{-2}.

On recense près de 392 km de chenaux à écoulements saisonniers et de talwegs potentiellement drainant dans les bassins versants torrentiels. Ils s'étendent en surfaces cumulées sur environ 150 km². En moyenne, la **densité de drainage** (D_D) s'élève à **environ 3 km de linaires torrentiels par kilomètre carré** (*2,94 km.km²*). Cette valeur apparaît assez faible et traduit un milieu caractérisé par une certaine sécheresse et/ou une grande perméabilité. Le caractère intermittent d'un grand nombre de segments atténue encore un peu plus cette dernière valeur de drainage.

Par ailleurs, des liens ont pu être établis de manière assez significative dans le contexte plus collinaire du Devon (Gregory et Walling, 1973) où il ressort que la densité de drainage est en relation inverse avec la surface du bassin drainée (Bravard et Petit, 2000). Pour autant, en Guisane, le croisement de ces deux variables n'a démontré aucune relation statistique manifeste *($R^2 = 0,05$)*. Pour preuve, le torrent du Peytavin [Id. 31], avec à peine 1 km.km², dispose de la plus faible densité de drainage de la vallée [Id. 31 ; D_D= 0,98]. Ce torrent de la basse vallée n'est effectivement constitué que d'un unique chenal d'écoulement, sans véritable réseau secondaire. Dans ce cas, la superficie du torrent ne peut être mise en avant car avec moins de 4 km², le Peytavin est loin d'être le torrent le plus étendu de la vallée.

[84] Confluence physique *(le plus souvent topographique)* des chenaux ou des talwegs asséchés pouvant participer directement à la concentration des flux liquides et à la charge sédimentaire en cas d'averses orageuses.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

La même remarque s'applique également à d'autres torrents comme ceux de la Pisse [Id. 25 ; D_D= 1,03], des Écoutes [Id. 26 ; D_D= 1,64], du Riou Blanc [Id. 29 ; D_D= 1,77] ou encore Carles [Id. 33 ; D_D= 1,82].

En revanche, les piètres densités de drainage avancées pour le torrent du Petit Tabuc [Id. 13 ; D_D= 1,29], du Bez [Id. 24 ; D_D= 1,75] ou encore de Roche Noire [Id. 1 ; D_D= 1,84] sont en grande partie liées aux vastes superficies des bassins torrentiels à drainer. En terme de surface, le torrent du Petit Tabuc *(25,33 km²)* est par exemple 6 fois supérieur à la surface moyenne des torrents de la vallée *(4,18 km²)*.

.

2.3. ANALYSE MULTIVARIEE DES PARAMETRES MORPHOMETRIQUES.

L'étude individualisée des principaux paramètres morphométriques a déjà permis de définir un certain nombre de constantes ou au contraire d'oppositions, que se soit en terme de surfaces que de pentes ou par rapport aux réseaux hydrographiques. Mais cette description sommaire ne permet pas véritablement de définir des tendances ou des paramètres prédominants. Ni jusqu'à présent, d'établir l'existence et/ou l'intensité des relations entre ces différentes composantes, qui dans la réalité interagissent en permanence et à toutes les échelles spatio-temporelles dans les bassins torrentiels.

A des fins plus analytiques et dans une logique plus systémique, **cette nouvelle étape de l'analyse des paramètres morphométriques sera consacrée à l'étude des relations statistiques entre les différentes variables évoquées et décrites précédemment.** Pour plus de cohérence et d'exhaustivité dans la démarche, **les relations statistiques seront tout d'abord analysées de façon bivariée (Cf.2.3.1), puis multivariée (Cf.2.4.1).** Par ce biais, il sera ainsi possible de vérifier si les différents liens établis sont de nature à rassembler ou au contraire à dissocier les torrents de la vallée de la Guisane.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

2.3.1. Disparités des interconnexions dans les bassins torrentiels *(analyses bivariées)*.

Pour mettre en évidence l'existence de relations entre les différentes variables, nous avons d'abord eu recours à des traitements appartenants aux statistiques descriptives. Ils permettent en effet de décrire le sens et l'intensité de la relation linéaire [85] entre deux variables *(coefficient de corrélation de Pearson **[r]**)*, ainsi que d'évaluer la part (*proportion*) de la variation d'une variable *X* expliquée par la variation d'une variable *Y* *(coefficient de détermination **[r²]**)*. Pour rappel, le tableau ci-dessous rassemble les principales abréviations employées pour les indices morphométriques.

Sigles	Intitulés	unités
Id	**Identifiants** numériques des torrents	_
Exp.	**Exposition** des torrents sur versant	Adret / Ubac
P_R	**Périmètre** du bassin versant	**km**
A_{BV}	**Surface bassin** versant	**km²**
A_{CD}	**Surface cône** torrentiel	**km² - ha**
A_T	**Surface totale**	**km² - ha**
R_{CB}	**Ratio cône / bassin** versant	**%**
$Alt_{(MBV)}$	**Altitude maximale** du bassin	**m**
$Alt_{(MRR)}$	**Altitude maximale** du bassin dans l'axe du collecteur principal	**m**
$Alt_{(mPX)}$	**Altitude minimale** bassin (*Apex du cône*)	**m**
$Alt_{(mCF)}$	**Altitude minimale torrent** (confluence)	**m**
D_{mx}	**Dénivelé maximal**	**m**
l_{RR}	**Longueur maxi** du bassin **dans l'axe du collecteur principal**	**m**
l_{CD}	**Longueur** radiale du **cône**	**m**
L_{val}	**Largeur vallée**	**m**
R_R	***Relief Ratio***	**% - °**
P_{BV}	**Pente** moyenne du **bassin**	**% - °**
P_{CD}	**Pente** moyenne du **cône**	**% - °**
P_{CP}	**Pente** moyenne **chenal principal**	**% - °**
K_{Gr}	Indice de **compacité de Gravelius**	_
M_{BV}	Indice de **Melton**	_
D_D	**Densité de drainage**	**km.km²**
R_C	**Rapport de confluence**	_

TABLEAU IX : SIGLES DES INDICES EMPLOYES.

[85] Droite de régression établie par la méthode des moindres carrés.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

Les résultats des relations linéaires établies pour l'instant par "binômes morphométriques" sont présentés sous la forme d'une matrice de corrélation **[Cf. Figure 65]**. Pour ces "couplages paramétriques", 13 variables ont été retenues pour leur aptitude à décrire les différentes composantes morphométriques des torrents de la vallée.

	A_{BV}	A_{CD}	A_T	T_B	$I_{Torrent}$	I_{CD}	L_{val}	$R_{R_}$	P_{cd}	P_{cp}	$K_{(Gr)}$	M_{BV}	$D_{(d)}$
A_{BV}		0,504	0,999	-0,199	0,779	0,526	0,571	-0,389	-0,390	-0,584	-0,279	-0,646	-0,233
A_{CD}			0,546	0,115	0,464	0,808	0,794	-0,232	-0,522	-0,363	-0,204	-0,408	-0,038
A_T				-0,187	0,782	0,556	0,599	-0,391	-0,406	-0,588	-0,282	-0,649	-0,228
T_B					-0,099	0,144	0,087	-0,062	-0,093	0,255	0,308	0,040	-0,296
$I_{Torrent}$						-0,114	0,509	-0,761	-0,646	-0,673	-0,011	-0,724	-0,293
L_{CD}							0,793	-0,245	-0,492	-0,361	-0,068	-0,495	0,148
L_{val}								-0,257	-0,592	-0,300	-0,037	-0,361	-0,004
$R_{R_}$									0,526	0,652	-0,086	0,734	0,225
P_{cd}										0,638	0,023	0,457	0,301
P_{cp}											0,246	0,712	0,102
$K_{(Gr)}$												0,324	0,148
M_{BV}													0,199
$D_{(d)}$													

Matrice des coefficients de corrélation de Pearson (R)

Indice de confiance retenu: 0,05 (5%)
Seui de significativité: 0, 325

Relation linéaire **positive** entre une variable X et une variable Y.

Ex: L_{val} et A_{CD} = **+0,794** → *"Plus la largeur de vallée est importante et plus la surface des cônes torrentiels s'accroit"*

Relation linéaire **inverse** entre une variable X et une variable Y.

Ex: A_{BV} et M_{BV} = - 0,646 → *"Plus le bassin versant est étendu, moins il est pentu"* ou inversement *" globalement les bassins versants à forte pente sont de taille limitée"*

Figure 65: Matrice des corrélations de Pearson (R).

Concernant les paramètres de tailles, une des relations statistiques la plus fréquemment établie est celle **entre la surface des bassins versants *(A_{BV})* et la surface des cônes de déjection *(A_{CD})*.**

Cette corrélation entre la taille des bassins torrentiels ***(A_{BV})*** et la surface des cônes ***(A_{CD})*** semble à priori assez logique puisque dans les "grands bassins versants", les longueurs et les surfaces drainées soumises à l'érosion torrentielle ou à d'autres dynamiques de versants sont conséquentes.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

Dans ces torrents, les volumes sédimentaires transférés vers le fond de vallée (*dégradation spécifique*) sont donc **théoriquement** plus importants que dans des bassins aux dimensions plus modestes. Comme évoqués auparavant, des torrents tels que le Petit et le Grand Tabuc [Id. 13 & 16], ou le Bez [Id.24] s'inscrivent effectivement de cette relation d'échelle entre la taille des bassins versants et celle des cônes. Cependant, cette relation positive entre ces deux paramètres ne se vérifie pas vraiment en Guisane, car seul un quart des variations de taille des cônes torrentiels s'explique par celles des bassins versants (*R= 0,50 - R²= 0,25)* **[Cf. Figure 66]**. D'ailleurs, les cas "non corrélés" ne sont pas rares puisque le torrent de Saint-Joseph [Id. 15] a, par exemple, édifié le plus vaste cône torrentiel de la vallée avec près de 118 ha, pour un bassin versant d'à peine plus de 3 km². Certes, la faiblesse de la relation est sans doute liée à la relative modestie du panel étudié *(N = 36 torrents)*, mais aussi parce que la réalité des bassins torrentiels s'avère bien plus complexe.

Aussi, il a été démontré dans d'autres secteurs, que les torrents de grande superficie possèdent souvent des stocks sédimentaires importants, mais n'ont pas pour autant la capacité dynamique de les prendre en charge. Et cela, **en raison de la pente du bassin versant, généralement moins accusée dans les torrents étendus** (Crosta et Frattini, 2004 ; Garitte et Thénard, 2005 ; Garitte, 2006).

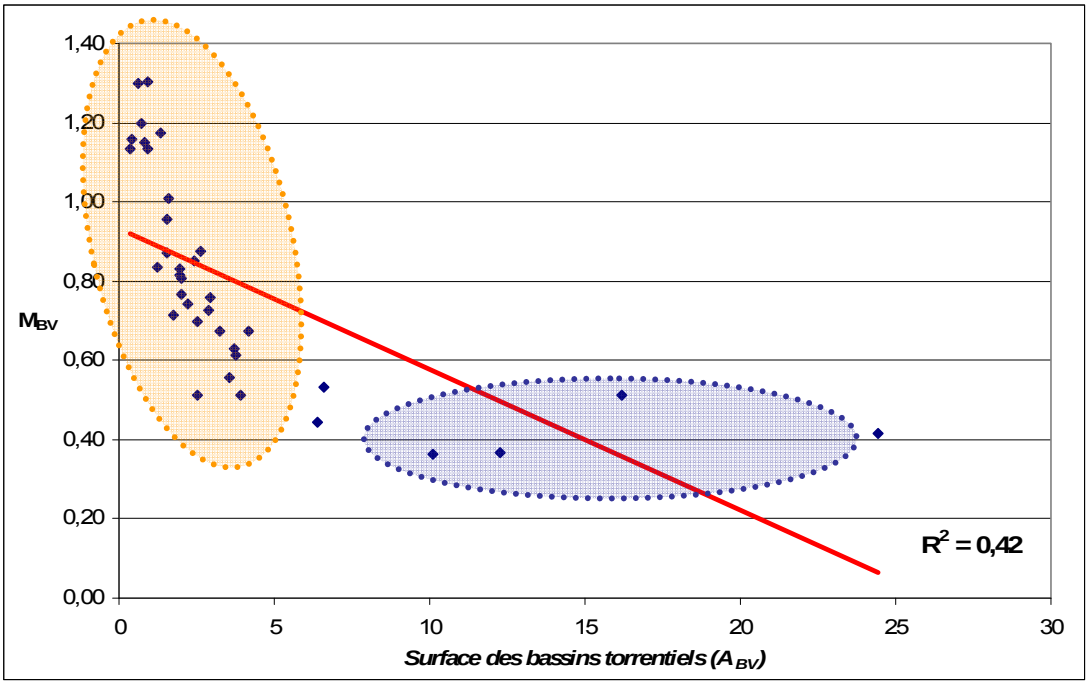


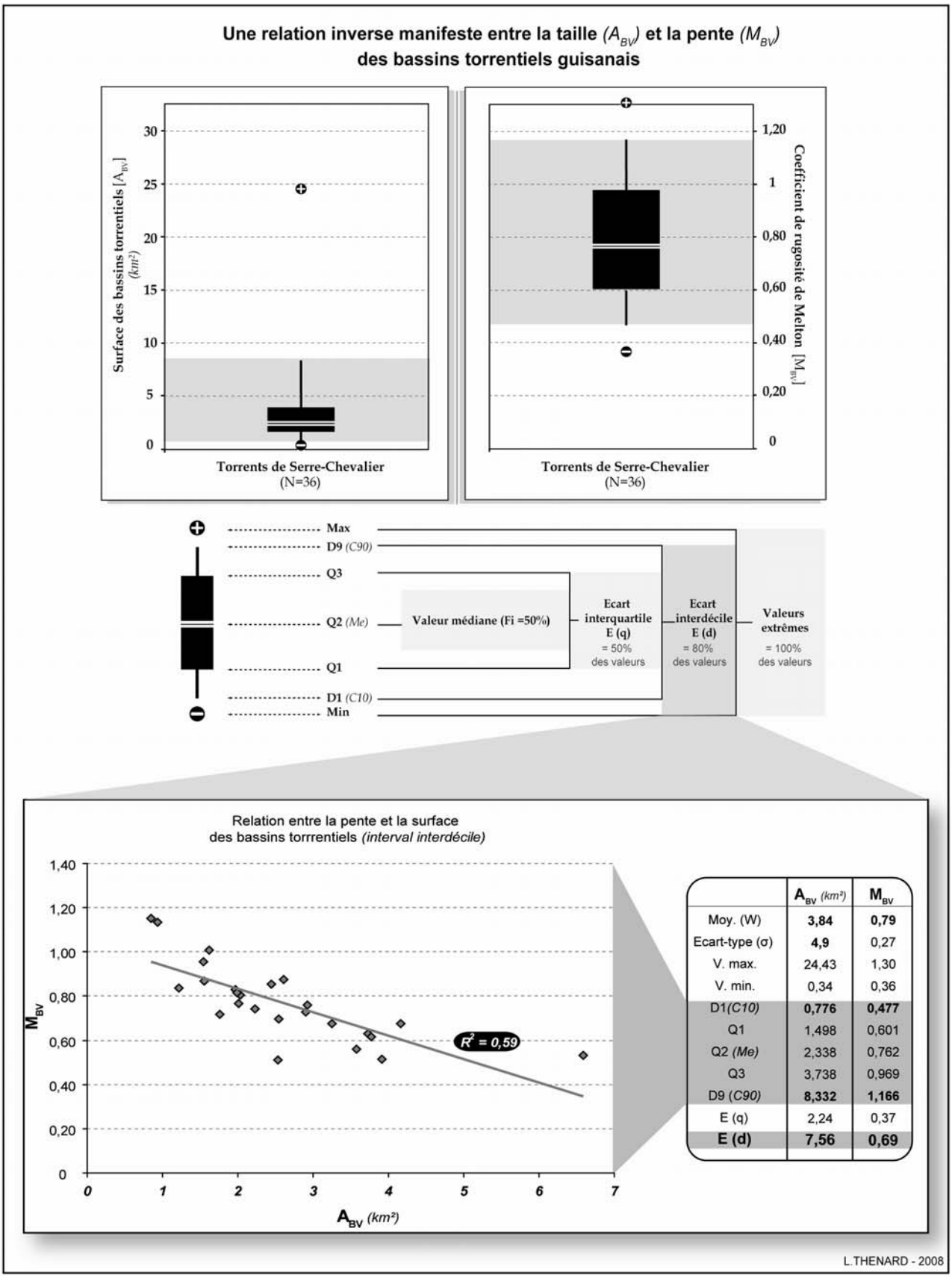
Figure 66: Relation entre la pente et la surface des bassins torrentiels.

Corrélation négative assez marquée (R = -0,65 ; R² = 0,42), mais "perturbée" par les torrents de plus de 10 km² *[en bleue]*, alors que près de 90% des torrents de la vallée présentent des surfaces inférieures à cette valeur *[orange]* (et 80% ≤ 5 km²).

Cette observation se vérifie également dans la vallée de la Guisane, comme en témoigne la relation inverse (*R= -0,65*) qu'entretient **la surface des bassins versants (A_{BV}) avec leur indice de rugosité (M_{BV})**.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr



	A_{BV} (km^2)	M_{BV}
Moy. (W)	**3,84**	**0,79**
Ecart-type (σ)	**4,9**	0,27
V. max.	24,43	1,30
V. min.	0,34	0,36
D1*(C10)*	**0,776**	**0,477**
Q1	1,498	0,601
Q2 *(Me)*	2,338	0,762
Q3	3,738	0,969
D9 *(C90)*	**8,332**	**1,166**
E (q)	2,24	0,37
E (d)	**7,56**	**0,69**

Figure 67: Relation entre la pente (M_{BV}) et la surface des bassins torrentiels (A_{BV}) de la vallée de la Guisane.

A noter que le *corpus* étudié est inscrit dans l'intervalle inter-décile *(D1-D9)*, et exclu donc les valeurs extrêmes *(20% de la série)*.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

Pour preuve, les 6 torrents de la vallée disposant d'un bassin supérieur à 5 km² ont un indice de rugosité de Melton inférieur à 0,60.

Néanmoins, **cette relation se fait bien plus étroite si l'on concentre l'étude sur les torrents inscrits dans l'intervalle interdécile** [Ed = (D1 ; D9)] **[Cf. Figure 67]**. Car manifestement, les torrents de plus de 10km² apparaissent comme des cas particuliers, et leurs valeurs extrêmes influent exagérément sur l'ensemble de la série. Sur les 25 torrents intégrant l'intervalle interdécile, un seul excède 5 km² de bassin versant (Torrent de la Salle [Id. 27]). Pour ce groupe, la relation devient très significative puisque, **pour près de 60% des cas, les variations de pente des bassins torrentiels sont liées à celles de leur surface.**

Ce qui induit manifestement des comportements dynamiques **dominants**[86] sensiblement différents **avec des torrents de taille plus modeste mais bien plus pentus**. Pour ces derniers et sur le long terme, l'occurrence et la propension à générer des laves torrentielles est plus importante que dans les torrents plus vastes et moins déclives, où les superficies considérées tendent à favoriser la dissipation de l'énergie et donc plutôt des dynamiques par charriage. Mais rappelons que **cette tendance globale demeure théorique** et repose sur les caractéristiques de modelés détritiques presque entièrement hérités de dynamiques passées. Sans autres éléments, elle ne peut donc suffire à caractériser l'aléa actuel.

[86] Le terme "dominant" ne prévaut que sur le long terme, comme à l'échelle de l'Holocène par exemple, car les stocks sédimentaires des bassins versants et les cônes torrentiels sont en grande partie hérités. D'autre part, cette typologie ne peut dégager qu'une tendance globale, et ne doit pas faire l'objet d'extrapolations trop hâtives dans le cadre d'un diagnostic. Confrontée à la réalité de l'aléa actuel, les comportements dissonants sont fréquents.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

Concernant l**es cônes de déjection**, une corrélation cette fois positive a pu être établie **avec la largeur de la vallée (L_{val}) [Cf. Figure 68]**. Cette relation de dépendance de la surface *(A_{BV})* et de la longueur des cônes torrentiels *(L_{CD})* avec la largeur de la vallée est cette fois nettement plus franche, avec des coefficients de corrélation s'élevant à 0,79 *(et $R^2 = 0,63$)*.

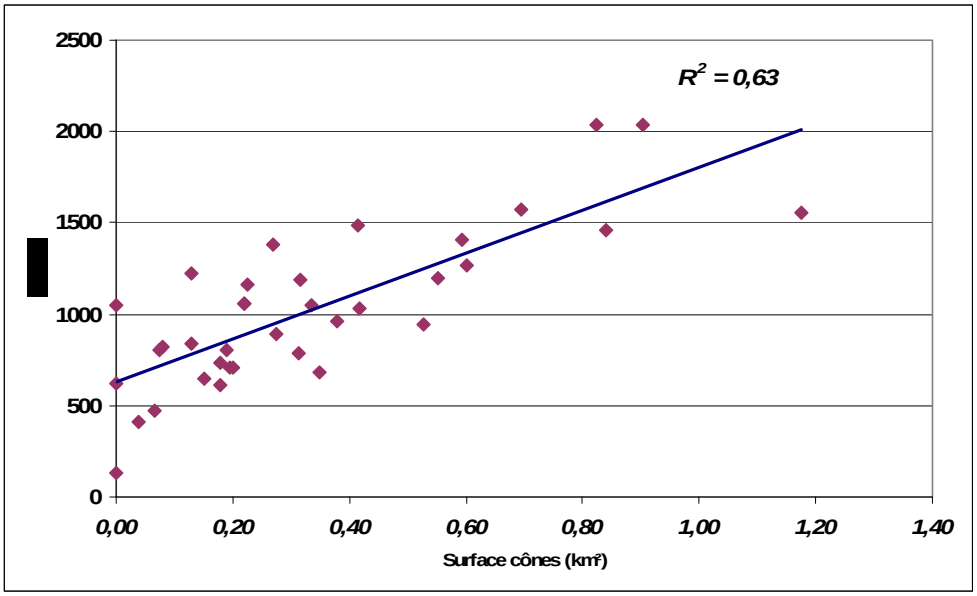


Figure 68: Relation entre la largeur de vallée et la surface des cônes torrentiels.

Corrélation positive *($R = 0,79$; $R^2 = 0,63$)* traduisant le rôle déterminant des conditions structurales locales sur la surface des cônes de déjection.

Cette connexion manifeste, et somme toute logique, entre la largeur de la vallée et la morphologie des cônes torrentiels traduit l'importance des **conditions structurales locales** (Piegay *et al*, 2000) pour l'établissement de ces édifices détritiques. Cela a d'ailleurs été relevé sur d'autres secteurs et mentionné à plusieurs reprises dans des publications scientifiques récentes (Marchi et Brochot, 2000 ; May et Gresswell, 2004 ; Garitte et Thénard, 2005 ; Garitte, 2006). Par ailleurs, l'influence de la configuration topographique d'une vallée a également été démontrée sur les styles fluviaux et plus largement sur la mosaïque fluviale (Piegay *et al*, 2000 ; Thénard, 2002). Cette constatation reste manifestement valable dans la vallée de la Guisane.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

Après la surface et la longueur, l'influence de la largeur de la vallée devrait logiquement se ressentir **entre la largeur de la vallée *(L_{val})*, et la pente moyenne des cônes *(P_{CD})* *[]***. Cette corrélation négative rend compte du lien inverse existant entre ces deux paramètres. C'est-à-dire lorsque le resserrement de la vallée n'autorise pas ou peu l'étalement de la charge en transit en fond de vallée et par conséquent limite l'évasement des cônes de déjection *(tant en surface qu'en longueur)*. Or, **en Guisane**, **la largeur de la vallée *(L_{val})* n'est responsable que pour un tiers des variations de pentes des cônes (*$R = -0,59$; $R^2 = 0,35$*)**.

En revanche, et compte tenu des conséquences dynamiques connues des variations de pentes dans les bassins torrentiels, il serait assez logique qu'apparaisse une relation étroite entre **la pente moyenne des bassins versant *(M_{BV}, R_R)* et celle des cônes de déjection *(P_{CD})***.

Il est désormais admis que, généralement, la pente des cônes torrentiels est en relation directe avec le mode de transport dominant, lui-même fonction de la déclivité du bassin versant (Melton, 1965 ; Marchi et al, 1993 ; Marchi et Tecca, 1995, Marchi et Brochot, 2000, De Scally et Owens, 2004, Garitte et Thénard, 2005 ; Garitte, 2006). Ainsi, à l'échelle du massif alpin, il semble qu'il y ait **un lien tangible entre la dénivelée spécifique des torrents *(M_{BV})* et le type de transport dominant observé** (Marchi et al, 1993, Marchi et Brochot, 2000). Cette relation s'est également confirmée dans une vallée du Briançonnais lors d'études récentes (Garitte et Thénard, 2005 ; Garitte, 2006) **[Cf. Figure 69]**, et où globalement, les torrents dits "à laves" présentent un coefficient de rugosité et une pente moyenne de leurs cônes plus élevée que celui de torrents à la dynamique dominée par des processus de charriage.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

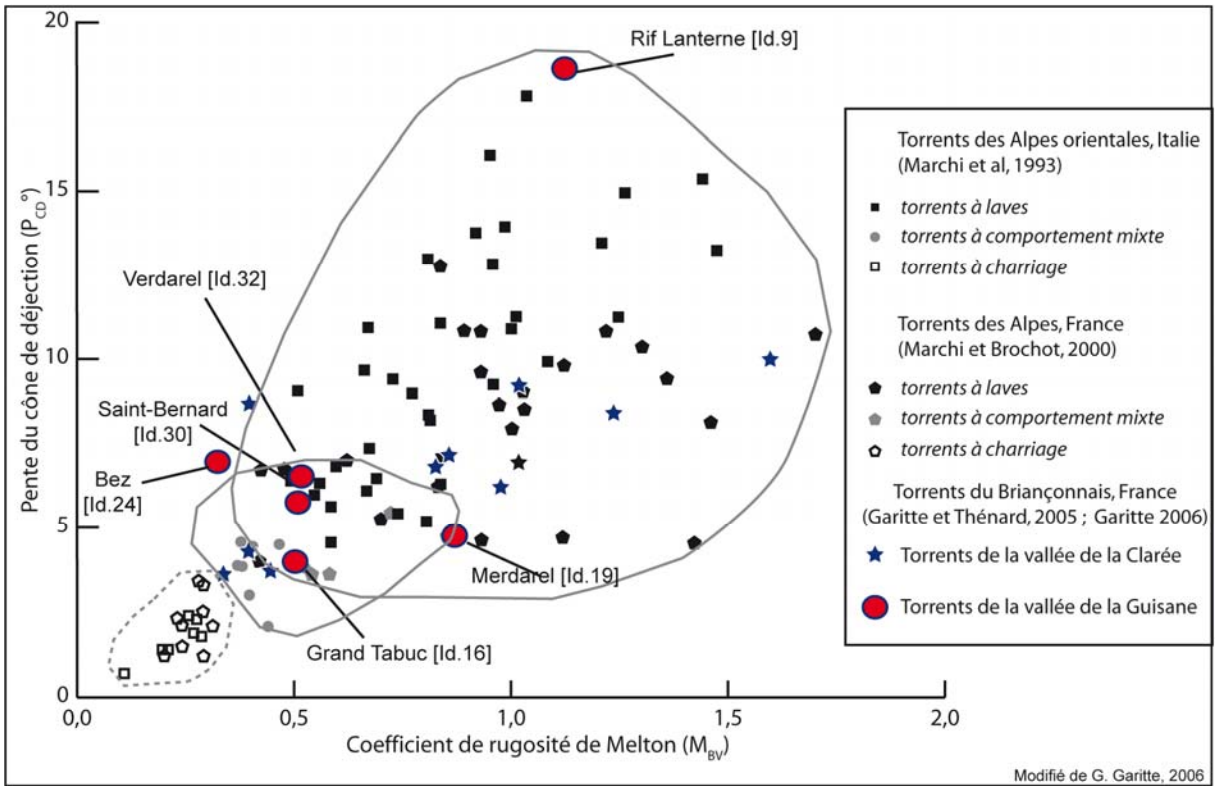


Figure 69: Typologie dynamique par l'analyse bivariée de paramètres de pente (PCD et MBV).
Modifiée de G. Garitte, 2006.

Or **dans la vallée de la Guisane**, ce lien entre l'indice de rugosité de Melton *(et/ou le relief ratio - R_R)* et la pente des cônes de déjection *(P_{CD})* est bien modeste *(R= 0, 46)*, et ne se vérifie que pour 1/5^{ième} des torrents *(R^2= 0,21)*.

Pour conclure, et malgré certaines insuffisances déjà mentionnées, l'approche morphométrique peut dans certains cas se révéler pertinente. En effet, certains torrents disposent de caractéristiques morphologiques *(morphométrie et contexte morphostructural)* sensiblement comparables, alors que leurs dynamiques diffèrent sensiblement. **En Guisane, l'un des exemples les plus évidents est celui constitué par les torrents concomitants du Saint-Bernard et du Verdarel** *(commune de Saint-Chaffrey)*. Nous avons donc tenté **une analyse comparative** de ces torrents pour déterminer le ou les facteurs expliquant des morphodynamiques actuelles aussi contrastées. Si son cône de déjection est le plus urbanisé de la vallée, le torrent de Saint-Bernard est néanmoins réputé peu dangereux. Une coupe ouverte à l'occasion des travaux d'implantation d'un bâtiment nous a effectivement permis de confirmer la faible capacité mobilisatrice de ce torrent, depuis plusieurs siècles au moins **[Cf. Figure 70]**. Or, en l'état actuel de nos recherches, **la densité de drainage et l'organisation des réseaux hydrographiques** ressortent comme les seuls véritables éléments distinctifs, fournissant une explication crédible.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

Il faut tout de même se garder d'une extrapolation trop hâtive basée sur une unique étude de cas, permettant sur le simple critère de la densité de drainage dans le bassin de réception de préjuger de l'intensité potentielle de l'aléa, et à terme du risque.

L'expérience montre que la disponibilité et la localisation d'une charge sédimentaire mobilisable, les pentes, et les interventions anthropiques demeurent des conditions *sine qua none* pour la genèse de crues torrentielles intenses et récurrentes. D'ailleurs, certains torrents de la haute vallée de la Guisane (Vallois [Id. 4 ; D_D= 3,36], Haut-Étret [Id. 7 ; D_D= 3,89], Étret [Id. 6 ; D_D= 2,55], Liche [Id. 5 ; D_D= 3,06]), courts et peu étendus, ne disposent pas, de fait, d'un réseau hydrographique très hiérarchisé, mais témoignent pourtant d'une activité régulière, le plus souvent dominée par des processus de type charriage hyperconcentré ou lave torrentielle[87].

Néanmoins, pour les torrents de moyenne altitude et au contexte géomorphologique "composite", la densité de drainage du bassin de réception apparaît comme une possible voie de recherche. En particulier, dans la capacité d'un torrent à capter et à concentrer les eaux de ruissellement à l'amont de son bassin, acquérant ainsi très rapidement une forte compétence. Pour espérer une quelconque crédibilité, ce type de recherches doit être étendue à un nombre de bassins torrentiels bien plus conséquents, et idéalement régionalisé. Si il ne nous appartient pas dans cette étude d'effectuer ces analyses au niveau départemental, ces résultats semblent aller dans le sens d'observations de terrain réalisés lors de reconnaissances dans d'autres torrents actifs de la Haute-Durance ou du Piémont Lombard.

[87] Cette affirmation s'appuie essentiellement sur notre connaissance du terrain et surtout sur les descriptions des crues contemporaines recensées, notamment celles issue des "fiches évènements" du service RTM 05.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

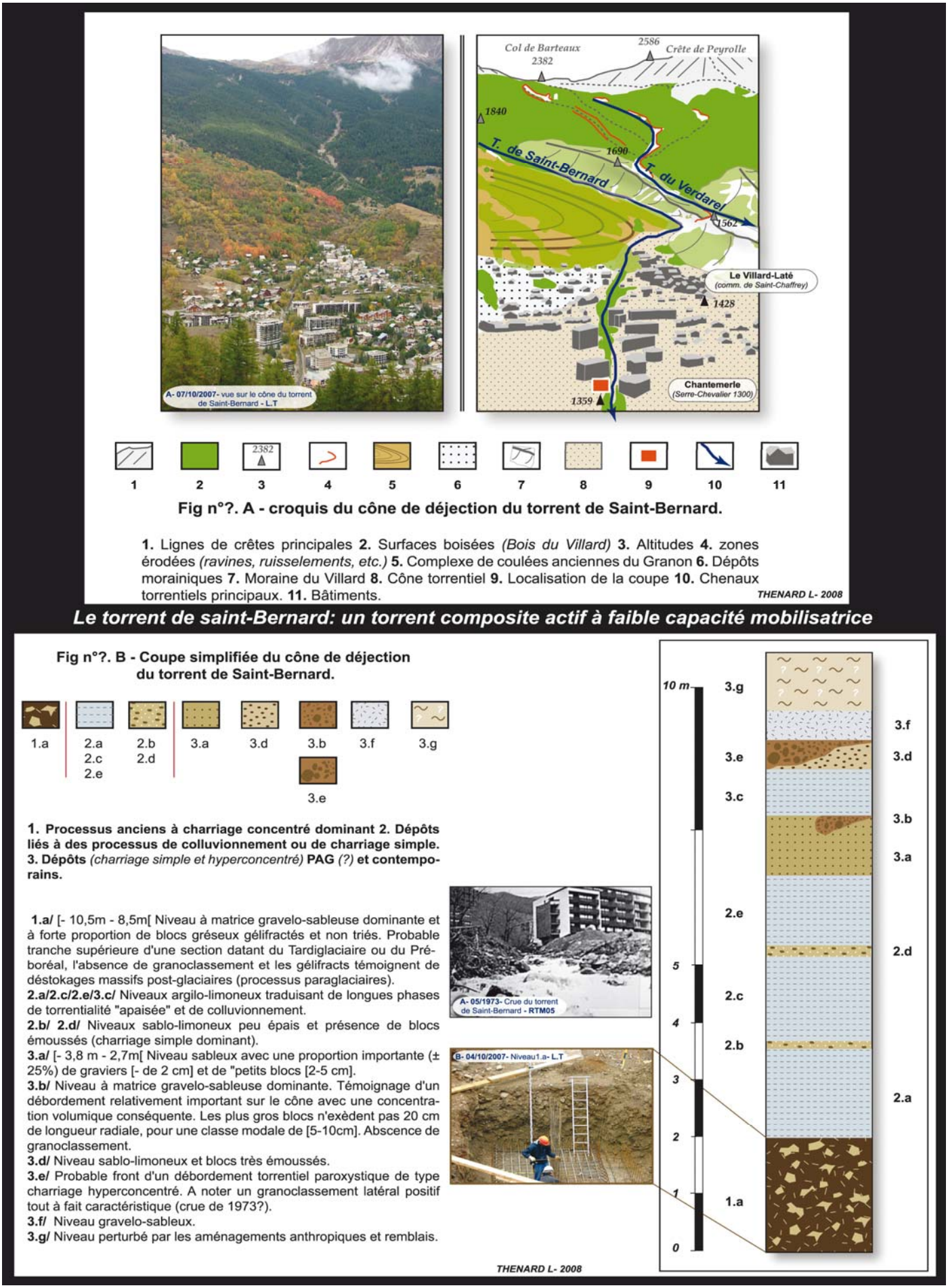


Figure 70: Coupe sur le cône du torrent de Saint-Bernard (octobre 2007).

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

2.3.2. Détermination de trois grands types de torrents aux caractéristiques morphométriques singulières et représentatives *(analyses multivariées)*.

Dans la vallée de la Guisane, une classification crédible *(synthétisant au mieux une réalité de terrain connue)* de l'aléa torrentiel ne saurait se contenter d'une analyse bivariée de paramètres morphométriques, fussent-ils fondamentaux. Pour répondre à cette problématique de diversité et d'hétérogénéité de l'aléa torrentiel à Serre-Chevalier, nous avons eu recours aux analyses multivariées en réalisant une **Analyse en Composantes Principales *(A.C.P)*** (Cf. 2.1). L'objectif est de proposer une typologie intégrant un maximum d'éléments, sans préjuger d'un quelconque facteur prédominant.

Pour cela, nous avons donc extrait 14 paramètres de la base "Morphométrie" créée à cet effet et dont la majorité a été étudiée précédemment. (Cf. tableau X).

Paramètres	Sigles	Paramètres	Sigles
Superficie totale *(km²)*	A_T	Largeur de la vallée *(m)*	L_{val}
Superficie bassin versant *(km²)*	A_{BV}	Relief Ratio *(°)*	R_R
Superficie cône de déjection *(km²)*	A_{CD}	Indice de rugosité de Melton	M_{BV}
Longueur radiale du cône *(m)*	I_{CD}	Pente moyenne du cône *(°)*	P_{CD}
Surfaces boisées *(km²)*	S_B	Pente moyenne du chenal principal *(°)*	P_{CP}
Altitude maxi. *(m)*	$Alt_{(MBV)}$	Indice de compacité de Gravelius	K_{Gr}
Dénivellation maxi. *(m)*	D_{mx}	Densité de drainage *(km.km²)*	D_D

TABLEAU X : PARAMETRES MORPHOMETRIQUES EMPLOYES DANS LE CADRE DES A.C.P

Sur les bases des 14 paramètres sélectionnés, et pour les 36 torrents étudiés dans la vallée de la Guisane, une première A.C.P, nous a permis de dégager deux grandes tendances, matérialisées dans le tableau des valeurs propres, lui-même constitué à partir de la matrice des corrélations linéaires de Pearson.

Or, cette première A.C.P ne s'est pas révélée concluante car en raison de leur taille, les torrents du Petit et Grand Tabuc participent à eux seuls **pour 50% de l'axe factoriel F1**, avec respectivement 30,2% et 19,8%. Leurs contributions au plan de projection sont telles, que cela se traduit naturellement par une surreprésentation visuelle de ces torrents dans le plan factoriel et le "nuage de point".

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

Dans ce cas, le risque le plus évident est de masquer des distinctions typologiques plus subtiles entre les torrents étudiés. Compte tenu de ces éléments, il n'est donc pas surprenant de les voir se dégager nettement dans le nuage de points, et leur "unicité hydro-géomorphologique" justifie amplement de les exclure provisoirement de l'analyse multivariée.

Pour y pallier, une **seconde Analyse en Composantes Principales *(A.C.P)*** a été entreprise en excluant arbitrairement et volontairement les torrents du Petit **[Id. 13]** et du Grand Tabuc **[Id. 16]**.

N°	Valeur propre	%	% cumulé
1	5,3788	38,42	38,42
2	2,5275	18,05	56,47
3	1,7876	12,77	69,24
4	1,1865	8,48	77,72
5	1,0564	7,55	85,26
6	0,7590	5,42	90,68
7	0,3655	2,61	93,29
8	0,3007	2,15	95,44
9	0,2415	1,72	97,17
10	0,1492	1,07	98,23
11	0,1198	0,86	99,09
12	0,0827	0,59	99,68
13	0,0448	0,32	100,00
14	0,0000	0,00	100,00

TABLEAU XI : TABLEAU DES VALEURS PROPRES (A.C.P N° 2)

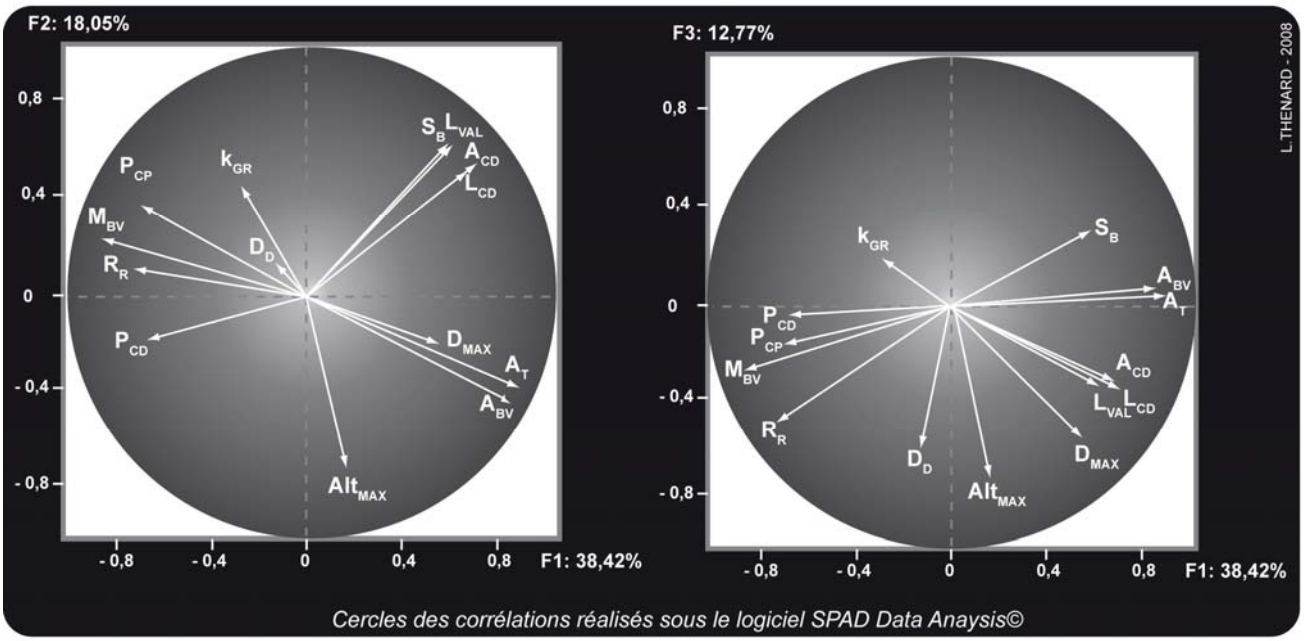


Figure 71: Cercles des corrélations (A.C.P n° 2)

Axes factoriels 1, 2 et 3 = 69,24% des contributions à la formation du plan

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

Au sortir de cette seconde A.C.P, les contributions des différentes variables à la constitution des plans factoriels s'équilibrent quelque peu (Cf. tableau XI et Figure 71).

Les **trois axes principaux sélectionnés représentent près de 70% de la variance totale** *(69,24%)*.

- L'axe F1b rassemble 38,42% de la variation totale et oppose une nouvelle fois l'ensemble des variables de superficies *(A_T, A_{BV}, A_{CD})* et de distances *(L_{val}, l_{CD})* avec les paramètres relatifs aux pentes *(R_R, M_{BV}, P_{CD}, P_{CP})*.
- Vient ensuite l'axe F2b *(ou la seconde tendance)* qui exprime 18,05% de la variance totale, et pour lequel contribuent fortement les variables de boisement *(A_b)*, l'altitude *(Alt_{max})*, et la largeur de la vallée *(L_{val})*. **[Cf. Figure 71]**
- Enfin l'axe F3b représente 12,77% de la variation d'ensemble. Dans sa partie négative, les paramètres contribuant le plus sont ceux renvoyant aux altitudes, à la déclivité des bassins versants *(R_R, M_{BV})* et à la densité de drainage *(D_D)*.

La **Classification Ascendante Hiérarchique *(C.A.H)*** révèle **3 groupes [Cf. Figure 72]** sur les 34 torrents concernés par l'ACP. Même si les paramètres de surfaces contribuent encore fortement à la constitution du plan, les nuages de points apparaissent un peu plus homogènes. **[Cf. Figure 73]**

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

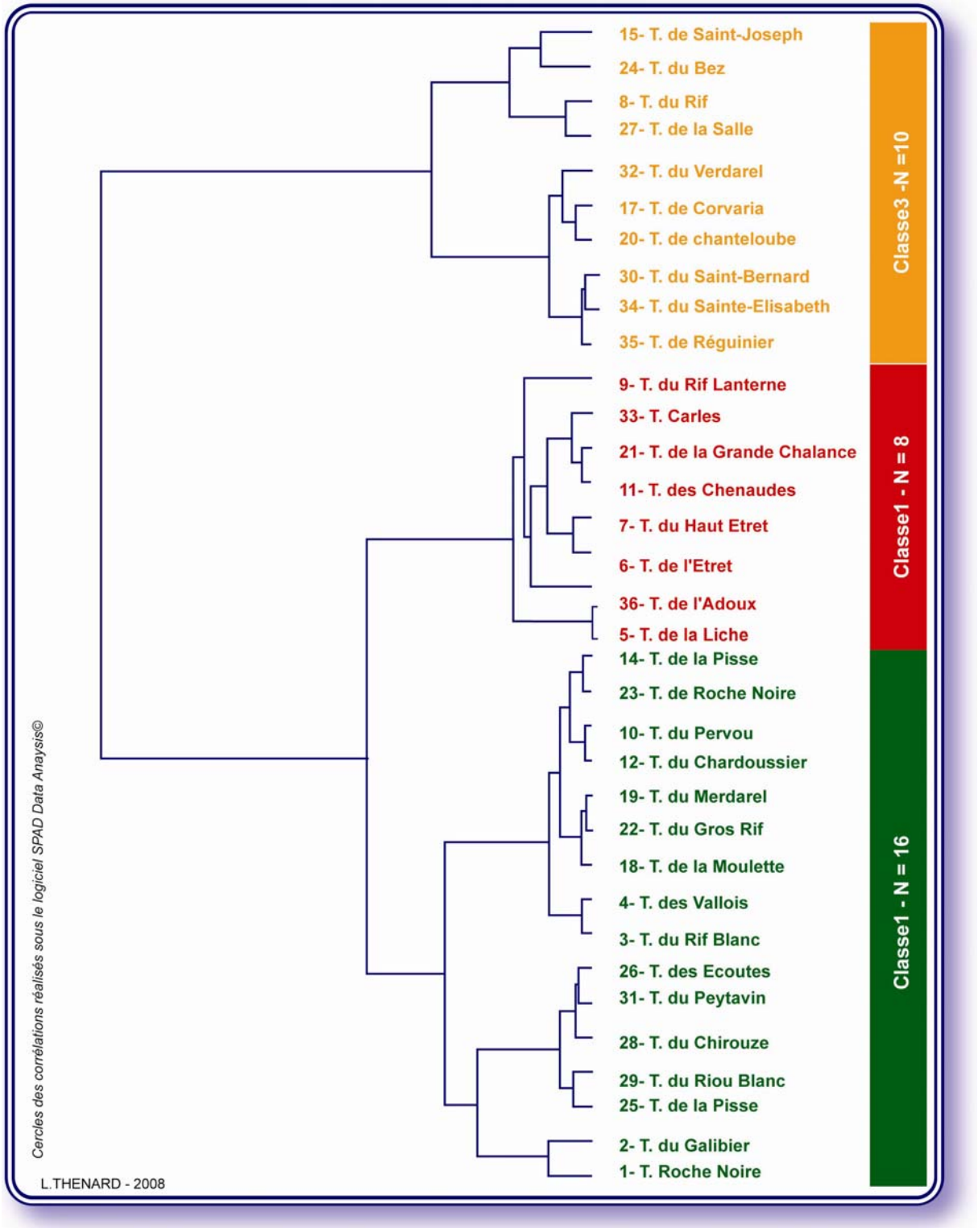


Figure 72 : Dendrogramme issue de la Classification Ascendante Hiérarchique n°2.

.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

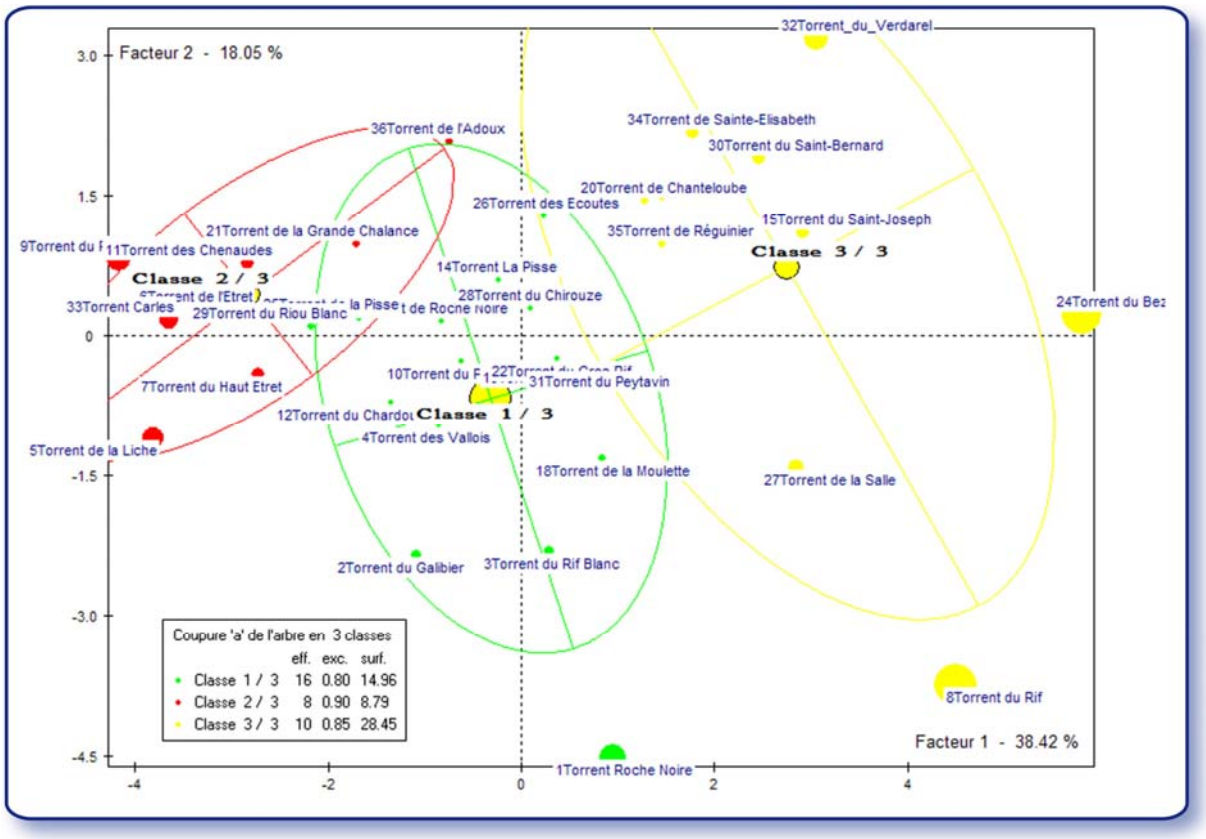


Figure 73: Nuages de points (F1-F2) et discrétisation graphique issue de la C.A.H (A.C.P n° 2)

- **Le premier groupe** ***(G1)*** renferme 16 individus ayant pour caractéristique première une surface totale *(A_T)* que l'on peut qualifier de moyenne ou d'intermédiaire dans la vallée de la Guisane *($W_{vallée}$ = 4,18 km² / W_{G1} = 2,71 km²)*, avec des valeurs le plus souvent comprises entre 1 et 4 km². L'autre spécificité commune à ces torrents du premier groupe est le caractère assez modéré des valeurs de pentes *(R_R, M_{BV}, P_{CD})* [Cf. tableau XII]

	R_R (°)	M_{BV}	P_{CD} (°)
W_{G1}	*16,8°*	*0,79*	*8,2°*
$W_{vallée}$	*17,4°*	*0,79*	*9,1°*

TABLEAU XII : INDICES DE PENTE DU GROUPE1 (A.C.P N° 2)

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

Aussi, ces torrents disposent de cônes de déjection dans l'ensemble assez peu étendus *(A_{CD})*, manifestement contraints par la largeur réduite de la vallée *($W_{vallée}$ = 1022 m / W_{G1} = 847 m)*. Concernant le boisement des bassins torrentiels de ce groupe, la tendance est plutôt à une faible couverture végétale. Mais de ce point de vue, et dans le détail, les choses apparaissent plus complexes et contrastées. Par exemple, le torrent du Peytavin, qui est intégré dans ce groupe en fonction des variables précédentes, et voit tout de même son taux de boisement atteindre les 41%.

- Vient ensuite **le deuxième groupe *(G2)*** composé de 8 torrents, qui se démarquent assez distinctement des autres organismes torrentiels de la vallée, essentiellement en fonction de leur exiguïté *(surfaces)* et de la sévérité de leurs pentes. Sur ces 8 torrents, 6 ont une superficie totale inférieure au kilomètre carré, avec une superficie moyenne pour le groupe G2 de 1,03 km² *($W_{vallée}$ = 4,18 km²)*.
  Particulièrement courts, ces torrents sont également très pentus, en lien direct avec la modestie de la superficie des bassins et de l'étroitesse de la vallée (Cf. tableau XIII)

	R_R (°)	M_{BV}	P_{CD} (°)	L_{val} (m)
W_{G2}	***23,2°***	***1,15***	***15,4°***	***786***
$W_{vallée}$	*17,4°*	*0,79*	*9,1°*	*1022*

TABLEAU XIII : INDICES DE PENTE DU GROUPE1 (A.C.P N° 2)

La tendance est, là encore au caractère peu végétalisés des bassins versants, essentiellement en raison de la localisation en haute vallée de la majorité des torrents de ce groupe G2 *(6 torrents sur 8 soit les ¾)*. Même si parmi eux se glissent les torrents Carles [Id. 33] et de l'Adoux [Id. 36], situés en basse vallée.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

- Les 10 torrents restants, intègrent donc **le troisième groupe *(G3),*** mis en exergue par la *Classification Ascendante Hiérarchique (C.A.H)*. Tous se situent en moyenne et basse vallée de la Guisane, à l'exception notable du torrent du Rif [Id. 8] qui, décidément, se révèle assez atypique.

Ces torrents du troisième groupe disposent de superficies globalement plus conséquentes que leurs homologues des groupes précédents. La superficie totale *(A_T)* pour ce groupe 3 s'élève en moyenne à 5,6 km² et on y retrouve fort logiquement les torrents du Rif *(12,6 km²)* [Id. 8], du Bez *(10,9 km²)* [Id. 24], de la Salle *(6,8 km²)* [Id. 27] ou encore du Verdarel *(4,27 km²)* [Id. 32], les deux premiers représentant d'ailleurs 29,6 % pour la formation de l'axe factoriel F1b.

Aussi, ces torrents présentent les valeurs de pentes moyennes *(R_R, M_{BV}, P_{CD},)* les plus faibles de la vallée, ce que suggère d'ailleurs les corrélations négatives de l'axe 1 en opposant les paramètres de pentes et ceux de superficies. Ces torrents disposent également, et toujours en moyenne, des cônes de déjection les plus étendus *(0,57 km²/ 57 ha)*.

La matrice ou les cercles des corrélations **[Cf. Figure 71]** montrent un lien étroit entre la superficie des cônes torrentiels *(A_{CD})* et la largeur de la vallée *(L_{val})*. Cela se vérifie effectivement puisque avec une largeur moyenne de l'ordre de 1287 mètres, ces torrents du troisième groupe *(G3)* bénéficient de conditions topographiques favorables pour l'étalement des épandages torrentiels *($W_{vallée}$ = 1022 m)*.

	R_R (°)	M_{BV}	P_{CD} (°)
W_{G3}	***14 °***	***0,59***	***7 °***
$W_{vallée}$	*17,4°*	*0,79*	*9,1°*

TABLEAU XIV : INDICES DE PENTE DU GROUPE 3 (A.C.P N° 2)

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

Au final, cette seconde A.C.P, par l'exclusion des torrents proglaciaires, nous a permis de réaliser des distinctions et une classification plus fines, sans aucun doute plus en phase avec la diversité des torrents de la vallée de la Guisane. Au-delà de considérations purement descriptives, cette analyse statistique associant les principaux paramètres morphométriques a, certes mis en exergue l'hétérogénéité des bassins torrentiels dans la vallée, mais elle a surtout permis de préciser les éléments essentiellement morphométriques à l'origine de cette diversité, et leurs éventuelles relations.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

2.4. PROPOSITION D'UNE TYPOLOGIE FONCTIONNELLE BASEE SUR LES PRINCIPALES CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES DES TORRENTS DE SERRE-CHEVALIER.

Peut-on objectivement déduire une typologie dynamique à partir des seules caractéristiques morphométriques ? Par exemple, le torrent du Merdarel [Id. 19] dispose d'un coefficient de rugosité de Melton de 0,87 *(W = 0,79)*, et d'une pente moyenne de son cône de 5,2°, donc parmi les plus faibles de la vallée. Sur ces seuls critères, et replacé dans le contexte alpin (Marchi et al, 1993 ; Marchi et Brochot, 2000 ; Garitte et Thénard, 2005), ce torrent à la toponymie pourtant peu engageante, se place tout juste dans l'enveloppe des torrents à comportement mixte. Or, et ne serait-ce que pour la période récente, les deux évènements recensés *(13/07/1987 & 12/07/1991)* font état de débordements sur le cône de déjection sous forme de laves torrentielles particulièrement denses **[Cf. Figure 74]**.

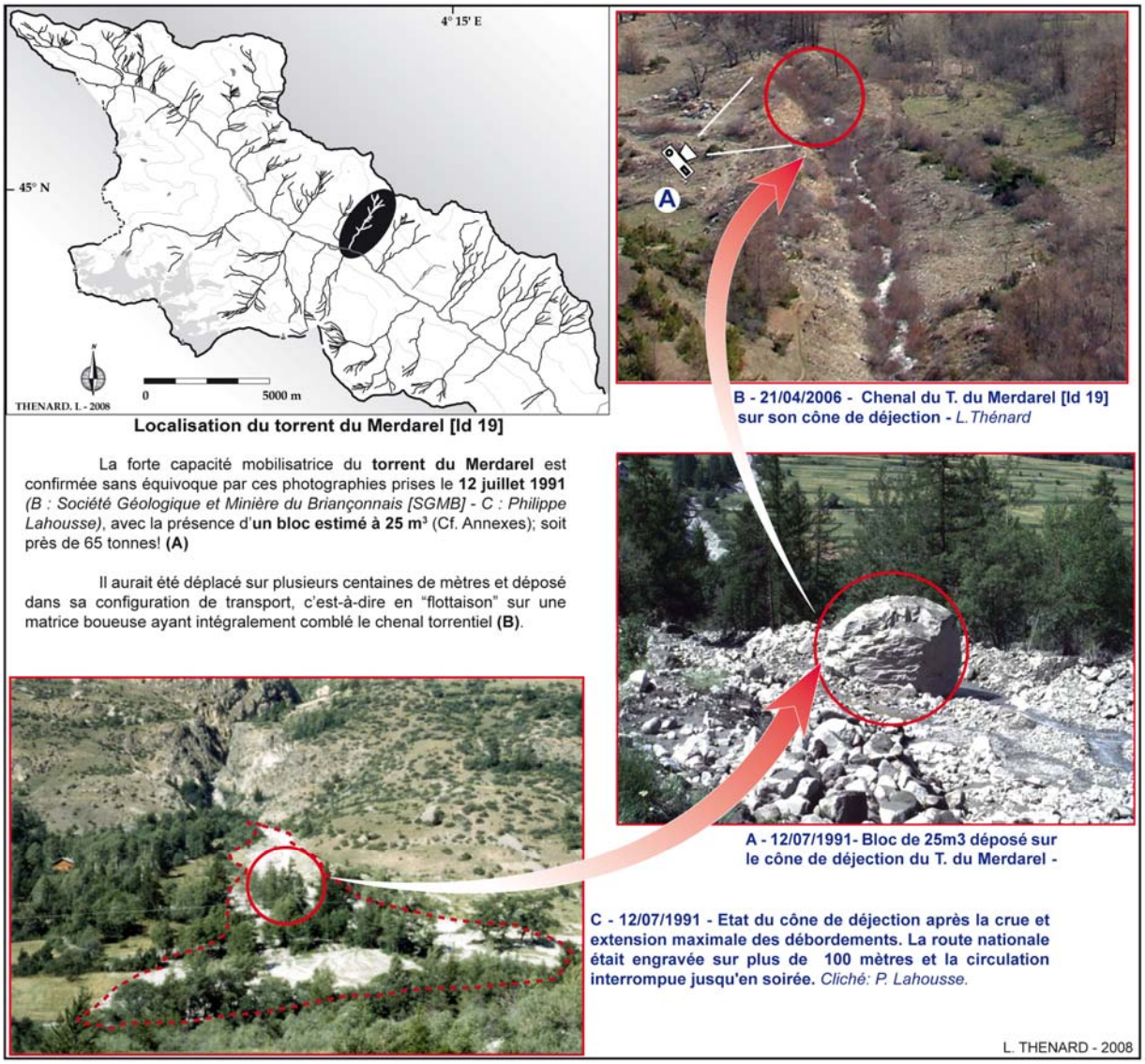


Figure 74: Lave torrentielle du Torrent du Merdarel [Id 19] le 12/07/1991.
Volume estimé ± 20 000 m^3 (RTM05)

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

Sur les bases de l'analyse morphométrique réalisée, et en y adjoignant certaines données issues d'études antérieures, tel que le contexte géomorphologique des bassins torrentiels (Lahousse, 1994), nous proposons en guise de synthèse et de conclusion de cette partie, une classification morphologique et fonctionnelle des torrents de la vallée de la Guisane, selon 3 grands morphotypes : les torrents **élémentaires** (A), les torrents **composites** (B), et les torrents **proglaciaires** (C). **[Cf. Figure 75]**.

Globalement, et outre les observations et les connaissances assimilées *in situ*, cette classification repose sur l'analyse des paramètres de superficies, de pentes et la nature des principales sources sédimentaires.

Evidemment, cette typologie est spécifiquement adaptée aux torrents de la vallée de la Guisane et n'a pas prétention de prévaloir à plus petite échelle. Néanmoins, par expérience, certains éléments de cette classification trouvent des analogies tangibles avec nombre de torrents alpins (Marchi et Brochot, 2000 ; Pech et Jomelli, 2001 ; Liébault, 2003), ou au moins du Briançonnais (Garitte et Thénard, 2005 ; Garitte, 2006), qu'il conviendrait peut-être dans de futures recherches d'identifier et d'analyser scrupuleusement pour affiner et étendre cet essai de typologie torrentielle. Aussi toute tentative de synthétisation implique nécessairement d'emprunter des "raccourcis" statistiques qui confrontés à chaque étude individualisée peuvent s'avérer peu concluants. Par exemple, l'illustration graphique des *Classification Ascendante Hiérarchique (C.A.H)* réalisée précédemment sur les "nuages de point" le démontre de manière significative. Les torrents situés sur les aires coalescentes des enveloppes typologiques montrent un certain nombre de caractéristiques morphologiques communes mais appartiennent pour autant à des groupes distincts…

Toute délimitation renferme donc une part d'arbitraire qu'il convient de définir et d'atténuer autant que faire se peut. Dans les paragraphes suivants, pour plus de souplesse et surtout de pertinence, aucune valeur "seuil" ne sera avancée sans qu'elle ne soit intégrée dans une fourchette statistique représentative d'une tendance dominante. Car parfois un seul paramètre morphométrique singulier ou légèrement déviant pourra justifier de l'appartenance d'un torrent à un morphotype déterminé.

Dans le même esprit, **des subdivisions *(A_1 ; A_2 ; B_1 ; B_2)* ont été opérées au sein des 3 morphotypes pour plus de représentativité**.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

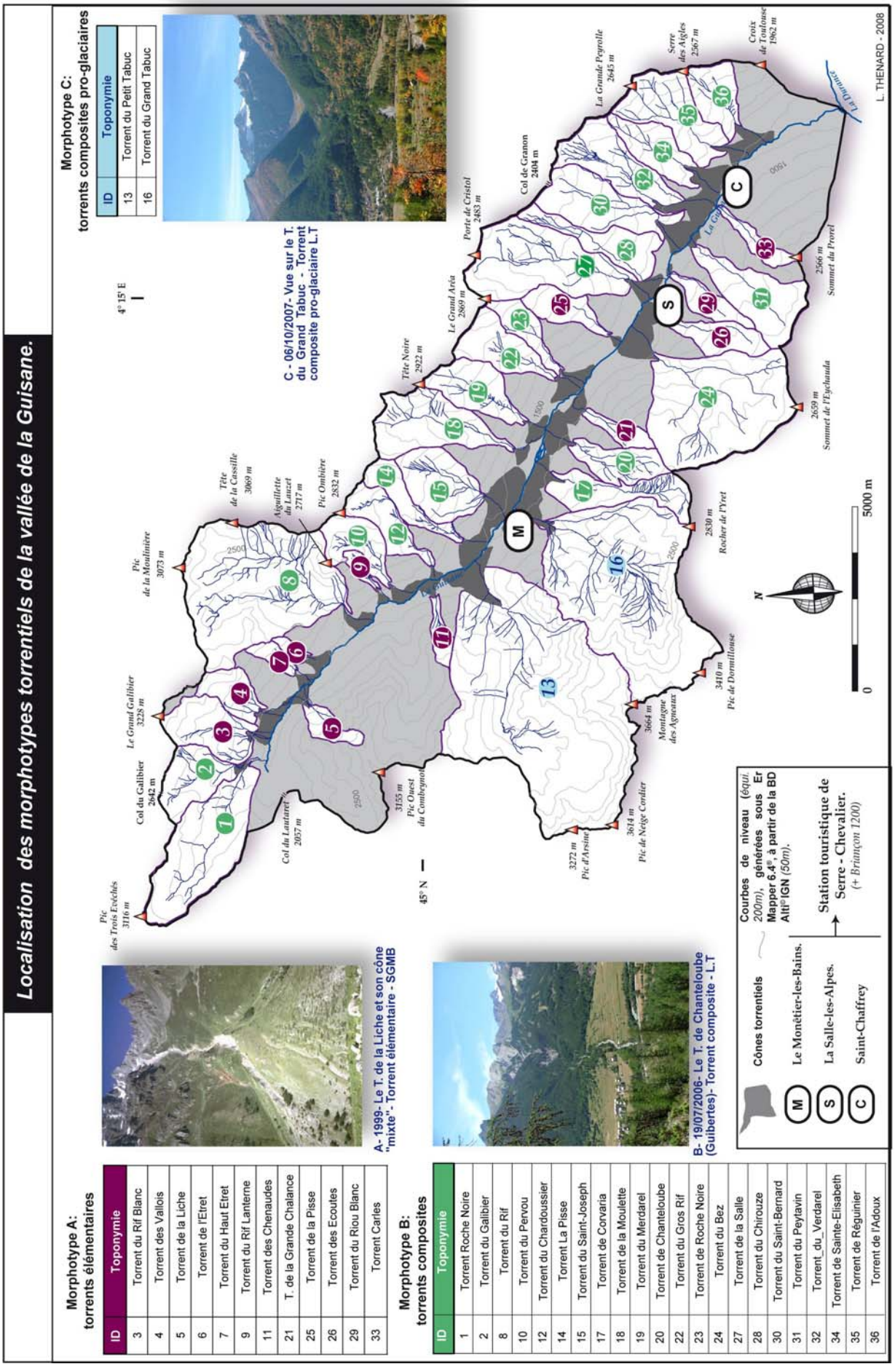


Figure 75: Localisation des morphotypes torrentiels en Guisane.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

2.4.1. Morphotype A : les torrents élémentaires.

A l'instar du groupe 2 mis en évidence dans la dernière *C.A.H*, et sur la base de nos réflexions de terrain mais aussi en s'inspirant d'observations issues d'études récentes (Garitte, 2006) et souvent conjointes[88] (Thénard, 2002 ; Lahousse *et al*, 2003 ; Garitte et Thénard, 2005 ; Thénard et Garitte, 2005 ; Garitte *et al*, 2008) réalisée dans une vallée circonvoisine de la Guisane *(Clarée)*, certaines caractéristiques morphologiques communes nous ont conduit à conserver le terme "élémentaire".

Ces torrents ont effectivement en commun des valeurs de surfaces très restreintes *(A_T, A_{BV} ; A_{CD})* et, à l'opposé, une grande sévérité des valeurs de pentes *(M_{BV}, R_R, P_{CD}, P_{CP})*. Pour certains, la limite entre le torrent et la simple coulée de débris sur versant réglé ou tablier d'éboulis est parfois ténue. (Cf. Tableau XV)

Dans la vallée de la Guisane, **12 torrents ont été reconnus et définis comme élémentaires, et 60 % d'entre eux se localisent en haute vallée.**

Ces torrents ont pour première caractéristique commune de drainer **des bassins particulièrement courts et peu étendus**. La surface moyenne des bassins versants de cette catégorie s'établie à environ 1 km² et plus de la moitié d'entre eux (7) ont des bassins inférieurs à cette valeur centrale. Globalement, ces torrents élémentaires n'excèdent pas les 2 km² dans cette vallée.

[88] Nos campagnes respectives de mesures topométriques nécessitaient obligatoirement la présence d'au moins deux opérateurs, tant d'un point de vue technique ou logistique qu'au niveau de la sécurité car l'évolution dans des secteurs aussi instables et isolés que les lits torrentiels implique des engagements parfois délicats. (Cf. 1.3)

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

ID	Toponymie	A_{BV}(km²)	A_{CD} (km²)	R_{CB} (%)	A_T (km²)	A_B (km²)	T_{Bt} (%)	Alt. max	Alt. Conf.	Dén. max.	l cd (m)	L val (m)	R_R (°)	P_{CD} (°)	P_{CP} (°)	K_{GR}	M_{BV}	D_D
3	T. du Rif Blanc	2,92	0,20	6,4	3,12	0,07	2,3	3228	1829	1399	615	705	20,8	7,4	7,3	1,30	0,76	3,49
4	T. des Vallois	1,54	0,35	18,4	1,89	0,21	11,2	3078	1800	1278	640	680	24,7	6,3	11,5	1,32	0,96	3,36
5	T. de la Liche	0,93	0,18	16,0	1,11	0,02	2,2	3145	1740	1405	540	610	28,1	25,8	22,2	1,46	1,13	3,06
6	T. de l'Etret	0,34	0,18	34,6	0,52	0,11	21,3	2521	1700	821	490	730	22,9	14,7	11,1	1,40	1,13	2,55
7	T. du Haut Etret	0,59	0,15	20,2	0,74	0,13	17,9	2871	1745	1126	530	650	25,3	10,6	12,9	1,36	1,30	3,89
9	T. du Rif Lanterne	0,42	0,07	15,0	0,49	0,01	1,1	2550	1605	945	475	800	27,3	18,5	16,9	1,54	1,16	7,47
11	T. des Chenaudes	0,70	0,19	21,4	0,89	0,14	15,9	2694	1540	1154	560	800	20,2	12,1	19,8	1,64	1,20	3,60
21	T. de la Gde Chalance	0,85	0,33	28,2	1,19	0,45	38,0	2562	1400	1162	405	1050	14,4	11,1	17,4	1,50	1,15	2,70
25	T. de la Pisse	1,56	0,00	0,0	1,56	0,36	23,1	2535		1085		1050	20,3		15,8	1,43	0,87	1,03
26	T. des Ecoutes	1,76	0,23	11,4	1,99	1,24	62,2	2450	1360	1090	760	1160	14,6	8,3	11,4	1,50	0,72	1,64
29	T. du Riou Blanc	1,21	0,04	3,0	1,25	0,83	66,6	2320	1355	965	177	410	15,1	11,4	13,1	1,61	0,84	1,77
33	T. Carles	0,92	0,00	0,0	0,92	0,66	71,8	2566	1310	1256		620	21,2		18,1	1,77	1,30	1,82

	A_{BV}(km²)	A_{CD} (km²)	R_{CB} (%)	A_T (km²)	A_B (km²)	T_{Bt} (%)	Alt. max	Alt. Conf.	Dén. max.	l cd (m)	L val (m)	R_R (°)	P_{CD} (°)	P_{CP} (°)	K_{GR}	M_{BV}	D_D
W	1,15	0,16	14,5	1,31	0,35	27,8	2710	1580	1141	519	772	21,3	12,6	14,8	1,49	1,04	3,03
Ecart-type	0,72	0,12	10,9	0,75	0,38	25,8	297	196	178	155	217	4,7	5,8	4,3	0,14	0,21	1,66
Valeur max.	2,92	0,35	34,6	3,12	1,24	71,8	3228	1829	1405	760	1160	28,1	25,8	22,2	1,77	1,30	7,47
Valeur min.	0,34	0,00	0,0	0,49	0,01	1,1	2320	1310	821	177	410	14,4	6,3	7,3	1,30	0,72	1,03
D1 (C10)	0,44	0,00	0,3	0,54	0,03	2,2	2457	1355	947	382	611	14,7	7,3	11,1	1,33	0,77	1,66
Q1	0,67	0,06	5,5	0,86	0,10	9,0	2532	1380	1055	479	643	18,9	8,9	11,5	1,39	0,86	1,81
Q2 (Me)	0,93	0,18	15,5	1,15	0,18	19,6	2564	1605	1140	535	718	21,0	11,3	14,4	1,48	1,13	2,88
Q3	1,55	0,21	20,5	1,64	0,50	44,1	2923	1743	1262	601	863	24,8	14,0	17,6	1,56	1,17	3,52
D9 (C90)	1,74	0,32	27,6	1,98	0,82	66,1	3138	1800	1387	652	1050	27,1	19,2	19,7	1,63	1,29	3,86
E (q)	0,87	0,14	14,9	0,79	0,40	35,1	391	363	207	123	220	5,9	5,2	6,1	0,17	0,31	1,71
E (d)	1,30	0,32	27,3	1,43	0,79	63,9	681	445	440	270	439	12,4	11,9	8,5	0,30	0,52	2,20

TABLEAU XV : PRINCIPALES CARACTERISTIQUES MORPHOMETRIQUES DES TORRENTS APPARTENANT AU MORPHOTYPE A

Données extraites de la base "Morphométrie" du SIRTOS.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Aussi, lorsque les conditions topographiques du fond de vallée leur ont laissé la possibilité d'édifier des cônes de déjection, ces derniers affichent également des superficies très modestes. Les valeurs oscillent entre 1 et 35 hectares, mais le plus souvent les cônes torrentiels de ces torrents sont inférieures à 20 ha *(Q_3 (75%)*= 0,21 km²).

L'**autre spécificité dominante** de ce groupe est la **sévérité des valeurs de pentes**. Majoritairement *(75%)*, ces torrents affichent un *relief ratio* *(R_R)* supérieur à 20° *(± 40%)*, et un indice de rugosité de Melton *(M_{BV})* supérieur à 0,8 *(W_A = 1,1)*. Pour ce dernier paramètre, les torrents du Haut Étret [Id. 7] et Carles [Id. 33] atteignent 1,30, ce qui constitue les valeurs de pentes relatives les plus élevées des bassins torrentiels en Guisane.

De même, l'inclinaison des cônes torrentiels est forte puisqu'elle varie de 6,3° à 25,8°, et sur les 12 torrents élémentaires disposant d'un cône de déjection, 7 dépassent 10° *(± 22%)* de pente moyenne *($W_{(A)\ Pcd}$ = 12,6°/ ± 28%)*.

Enfin, si la densité de drainage *(D_D)* s'est révélée peu discriminante et donc peu pertinente pour une quelconque classification, les **rapports de confluences** *(R_C)* apparaissent plus représentatifs et montrent un développement très sommaire et une organisation des réseaux hydrographiques *(Strahler, 1952)* des torrents élémentaires le plus souvent réduite à sa plus simple expression.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

Pour ces torrents et lorsque le réseau ne se réduit pas à un unique chenal, les différents segments recensés n'excèdent généralement pas les rangs 2 et 3 (Cf. Tableau XVI). Les fortes pentes et les caractéristiques géomorphologiques des bassins versants sont les éléments prépondérants dans la concentration très rapide des flux liquides. Par exemple, l'ordination du réseau hydrographique des torrents du Rif Lanterne [Id. 9] ou de Haut Etret [Id. 7] est assez emblématique (Cf. Tableau XVII).

ID Torrents	Toponymie	N Rang 1	N Rang 2	N Rang 3	N Rang 4
3	*Torrent du Rif Blanc*	16	4	5	2
4	*Torrent des Vallois*	10	6	2	2
5	*Torrent de la Liche*	2	2	0	0
6	*Torrent de l'Etret*	2	1	0	0
7	*Torrent du Haut Etret*	4	2	1	0
9	*Torrent du Rif Lanterne*	14	5	1	0
11	*Torrent des Chenaudes*	8	2	0	0
21	*Torrent de la Gde Chalance*	2	1	0	0
25	*Torrent de la Pisse*	1	0	0	0
26	*Torrent des Ecoutes*	1	0	0	0
29	*Torrent du Riou Blanc*	1	0	0	0
33	*Torrent Carles*	1	0	0	0
	W	**5**	**2**	**1**	**0**

Torrent 7	N	R_c
Rang 1	4	
Rang 2	2	*2,00*
Rang 3	1	*2,00*
Rang 4	0	

Morphotype A	N	Rc
Rang 1	62	
Rang 2	23	2,7
Rang 3	9	2,6
Rang 4	4	2.3

Torrent 9	N	R_c
Rang 1	14	
Rang 2	5	*2,80*
Rang 3	1	*5,00*
Rang 4	0	

TABLEAU XVI : ORGANISATION DES RESEAUX HYDROGRAPHIQUES *(STRAHLER, 1952)* DES TORRENTS ELEMENTAIRES [MORPHOTYPE A]. DENSITE DE DRAINAGE (D_D) ET (R_C)

Données extraites de la base "Morphométrie" du SIRTOS.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

Justifiants leur appartenance au morphotype *"élémentaire"*, ces derniers paramètres sont communs aux 12 torrents**, mais d'autres diffèrent sensiblement suivant les torrents et le plus souvent selon leur localisation.** Ce qui nous a logiquement amené à opérer une **subdivision de ce premier groupe** en distinguant les torrents élémentaires des hautes altitudes et ceux de la moyenne et basse vallée **de la Guisane**. Si leurs caractéristiques de pentes ou de superficies sont comparables, leur dissemblance tient certes dans leur localisation, mais surtout dans la nature de leurs principales sources sédimentaires, et par conséquent dans leurs dynamiques.

2.4.1.1. Les torrents élémentaires de la haute vallée (A_1).

Ces torrents sont à bien des égards, assez peu comparables à leurs homologues de la moyenne et basse vallée. On observe effectivement une meilleure correspondance entre les paramètres morphométriques fréquemment avancés dans la littérature scientifique *(M_{BV} - $P_{CD°}$ ou A_{BV} - A_C)* **et les processus dominants observés.** Ce que nous vérifions d'ailleurs car les torrents du Rif Blanc [Id. 3], des Vallois [Id.4], de la Liche [Id.5], du Haut-Etret [Id. 7] et de l'Etret [Id. 6], du Rif Lanterne [Id. 9], du Pervou [Id. 10], des Chenaudes [Id. 11], du Chardoussier [Id. 12] ou encore La Pisse [Id. 14], partagent un grand nombre de caractéristiques spécifiques aux torrents de la haute vallée.

Au nombre de 7, les torrents élémentaires de la haute vallée *(à l'amont du Monêtier-les-Bains)* s'apparentent à des organismes qualifiés localement de torrents "à clappes", "à dérochoirs" *(RTM)*, ou encore " à casses" **[Cf. Figure 76]**, dont les têtes de bassins sont dominés par de vastes abrupts rocheux *(calschistes néocrétacés, calcaires jurassiques, schistes dolomitiques, etc.)*, encore aujourd'hui efficacement soumis aux processus périglaciaires, et en particuliers cryoclastiques. Cette configuration est presque inexistante en moyenne et basse vallée. Autrement dit, cette terminologie traduit le fait que l'*impluvium*, et plus largement, le bassin versant de ces torrents est le plus souvent constitué de vastes affleurements rocheux, corniches, ou éperons, soumis à l'action érosive des agents atmosphériques et/ou gravitaires.

Tous ces torrents voient leur bassin versant évoluer entre 2000 et 3500 mètres d'altitude, autrement dit pour une grande part dans l'étage périglaciaire (≥ 2800 m *in Francou, 1988*). Aussi, ces 10 torrents ont une superficie totale *(A_T)* inférieure à 3,2 km². Plus précisément, si le torrent du Rif Blanc dépasse de peu les 3 km² *(3,12 km²)*, les autres s'étendent sur moins de 2,1 km², et tous présentent des dénivellations maximales comprises entre 800 et 1500 m.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Généralement, des cônes ou des tabliers d'éboulis s'étalent largement au pied de ces parois et constituent ainsi le foyer principal de la charge sédimentaire de ce type de torrents **[Cf. Figure 76]**. De plus, la nature peu cohésive des éboulis, associée aux pentes très marquées, en font des matériaux aisément mobilisables. D'autant que pour ces torrents élémentaires, les bassins de réception se situent tous au-delà des 2100 mètres d'altitude, où les processus cryoclastiques restent assez actifs, profitant notamment des zones de faiblesse des roches à l'affleurement.

Aussi, la plupart de ces torrents traversent et incisent dans leur section médiane des plaquages morainiques quaternaires ou d'anciens glissements qui concourent également à la recharge sédimentaire des lits et à la formation de laves torrentielles *(ex : Rif Blanc, Liche, Rif Lanterne, etc.)*. En dehors de la brève période de fusion printanière, ces torrents se distinguent également par l'intermittence des écoulements. Car le caractère particulièrement minéral des têtes de bassins, les superficies restreintes et l'énergie des pentes interdisent tout écoulement pérenne dans ce type de torrents.

Ces éléments induisent bien au contraire **une forte réactivité des bassins versants** qui se traduit par des écoulements essentiellement paroxystiques ; par définition courts, intenses et de grande compétence. Aussi, des torrents comme celui du Rif Blanc [Id. 3], des Vallois [Id. 4], ou de la Liche [Id. 5] sont-ils régulièrement affectés par des processus avalancheux.



Figure 76: 13/10/2007 - Vue sur le bassin versant du Rif Blanc.

Torrent très réactif en raison de la forte déclivité de son bassin et de sa modeste taille. Organisme torrentiel de haute altitude, il se distingue par la mixité de sa dynamique (torrentielle et avalancheuse). Son alimentation sédimentaire est assurée par éboulisation des versants périglaciaires et par l'incision des plaquages morainiques quaternaires. *Cliché : L.Thénard*

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

Si cela ne constitue pas une règle systématique, la physionomie des lits torrentiels "élémentaires" est globalement assez caractéristique, en particulier dans les torrents de la haute vallée.

Les chenaux principaux présentent un aspect généralement très rectiligne dans l'axe d'écoulement et un profil transversal prenant la forme d'un V tronqué dans sa partie basale (Garitte, 2006) et particulièrement étroit *(ex : 9,5 m de largeur moyenne de la bande active du torrent de la Liche [Id. 5] en 2003)*. Ces lits torrentiels prennent fréquemment un aspect assez chaotique *(enchevêtrement de blocs parfois plurimétriques)*, avec une absence d'organisation et de cohésion des dépôts *(typique des laves torrentielles/coulées de débris)*, ce qui témoigne de processus morphogènes réguliers.

Les fortes pentes, la morphologie des chenaux principaux, et surtout l'état de charge apparent, confirment donc une dynamique de forte occurrence et une grande compétence. D'ailleurs, les témoignages morphologiques des divagations de certains torrents sur leurs cônes de déjection attestent d'une dynamique torrentielle active **[Cf. Figure 77].** Mais paradoxalement, ces éléments interdisent tout stockage conséquent et durable dans les chenaux principaux. A ces altitudes, les lits torrentiels de la haute vallée subissent assez fréquemment et à toutes les saisons, **des "purges" sédimentaires** *(processus torrentiels ou avalancheux)*. Conséquence directe, les volumes de matériaux directement mobilisables dans les chenaux torrentiels sont de très loin inférieurs à ceux des torrents de moyenne altitude.

Aussi, ces torrents de la haute vallée se démarquent-ils par la faiblesse de leur couverture forestière, notamment dans les bassins de réception. La plupart d'entre eux *–où se localisent les principales sources sédimentaires–* sont dénués d'arbres[89], ce qui naturellement favorise un peu plus le ruissellement des eaux précipitées ou de fusion. La rigueur climatique des hautes altitudes et les conditions édaphiques étant évidemment les raisons principales du caractère dénudé des bassins de réception. En revanche, plus à l'aval *(dans les bassins)* les taux de boisement apparaissent très inégaux en fonction des torrents.

De ce point de vue, les torrents de l'Etret [Id. 6] et du Haut Etret [Id. 7] sont de loin les torrents élémentaires les plus boisés de la haute vallée avec des taux de boisement respectifs de 21% et 17%. Ces disparités sont essentiellement dues aux initiatives de plantations des services RTM dans les zones médianes des torrents élémentaires les plus actifs de la haute vallée afin de tempérer quelque peu une activité torrentielle assez impétueuse.

[89] Malgré les campagnes de reboisement RTM des bassins torrentiels du versant "adret" *(rive gauche de la rivière Guisane)* de la haute vallée de la Guisane. Les altitudes atteintes par ces plantations n'excèdent pas les 2200 m ; altitude que l'on peut considérer comme étant la limite supérieure de l'arbre dans ce secteur (Belingard *et al*, 1998 ; Talon *et al*, 1998 ; Nakagawa *et al*, 2000 ; Carcaillet et Muller, 2005)

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

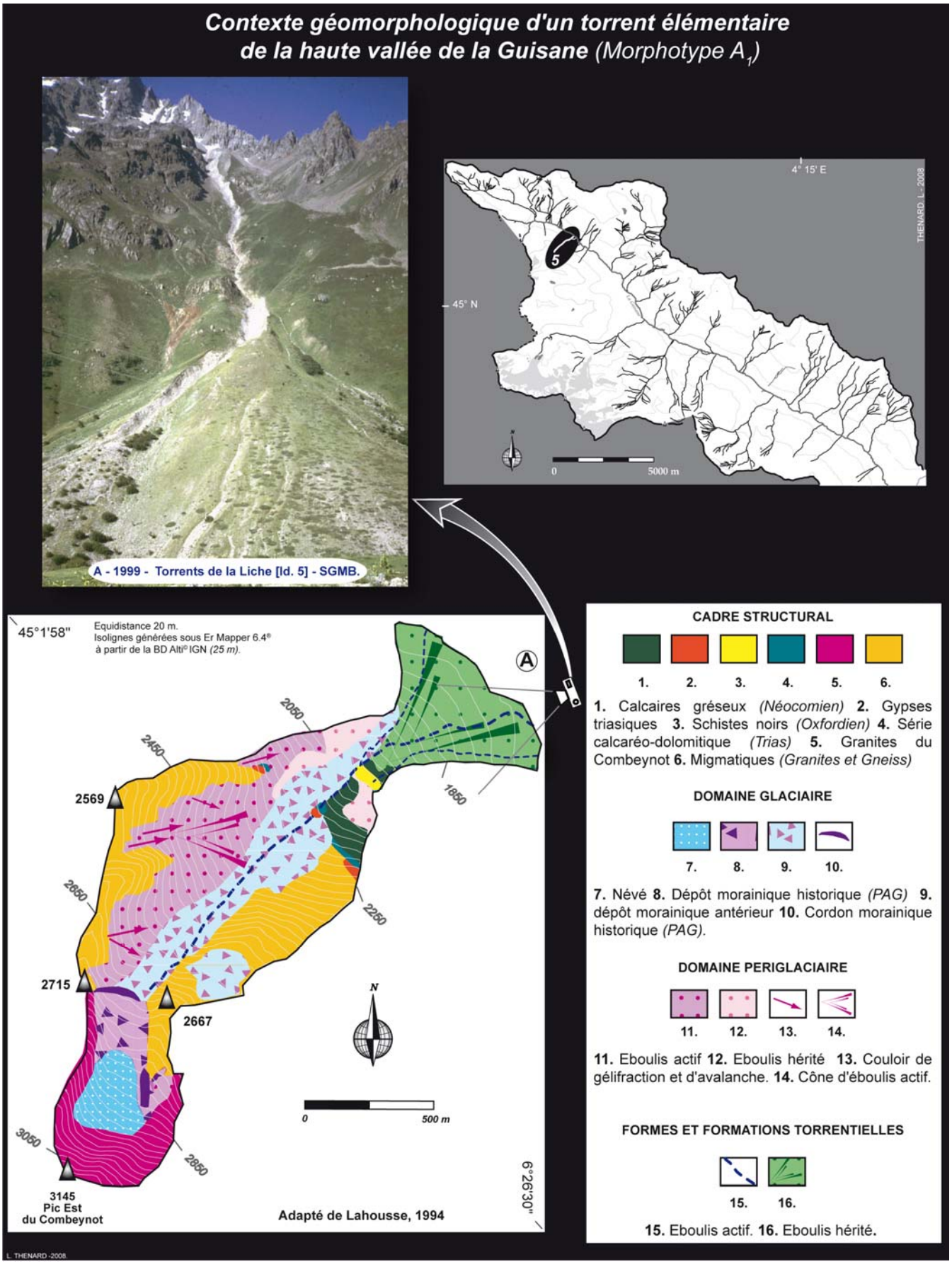


Figure 77: Croquis géomorphologique du torrent de la Liche [ID. 5].
Adapté de Lahousse, 1994

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Évidemment tous les torrents de la haute vallée ne présentent pas ces caractéristiques, mais les torrents répondant aux critères évoqués se localisent exclusivement dans la section supérieure de la vallée. Les torrents de moyenne altitude *(à l'aval du Monétier-les-Bains)*, disposent quant à eux, de bassins versants plus hétérogènes et plus étendus ; en somme, bien plus complexes au niveau de leur contexte géomorphologique et dans les possibles interactions.

2.4.1.2. Les torrents élémentaires de la moyenne et basse vallée (A_2).

Dans cette section de la vallée, nous avons choisi **d'intégrer 5 torrents à la catégorie des morphotypes élémentaires A_2**, essentiellement en fonction de caractéristiques de taille *(≥ 2 km² de bassin versant)* et de pente *(≤ 14° de relief ratio)* assez comparables à celles des torrents du type A_1.

Ce qui distingue nettement ces torrents de leurs homologues de la haute vallée est **la nature de leurs sources sédimentaires**, et par voie de conséquence, **leurs dynamiques.**

Sur ce dernier point, les torrents élémentaires de la moyenne et basse vallée de la Guisane apparaissent comme de parfaits antagonistes. Car à la morphodynamique active et au caractère chaotique des bandes actives de la haute vallée, répondent des lits étroits, ombragés, et parfois même pavés de blocs émoussés témoignant manifestement d'une dynamique "apaisée". Pour autant, et même si les manifestations apparaissent bien moins spectaculaires qu'en haute vallée, ces torrents demeurent et doivent être considérés comme actifs.

Car en tant qu'échancrures topographiques naturelles, ces bassins particulièrement pentus restent l'exutoire privilégié des eaux de ruissellement. D'ailleurs, aucun des 5 torrents appartenant à ce morphotype *(A_2)* n'apparaît dans les archives avant 1995. Il faut attendre l'aménagement des pistes de ski de Serre-Chevalier 1400 dans le bois de Goudissart, pour que le torrent des Écoutes [Id. 26] entre à deux reprises *(juillet 1995 et mai 1999)* dans la longue liste des crues dommageables des torrents de la vallée de la Guisane. Néanmoins, ces deux évènements ne font état que d'affouillements mineurs et de débordements ponctuels.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

A l'heure actuelle, la dynamique de ces torrents du type A_2 apparaît assez calme et les rares phases de crues semblent dominées par des processus de charriage[90]. Cette constatation résulte du faible développement du réseau hydrographique parfois réduit à un unique chenal torrentiel *($D_{D(A2)} \leq 2$ km.km²)*, et à l'importance de la couverture forestière des bassins versants. Dans ces torrents élémentaires des moyennes altitudes, les taux de boisement varient effectivement de 23% pour le torrent de la Pisse [Id. 25] à près de 72% pour le torrent Carles [Id. 33], la moyenne étant de 52% pour l'ensemble de la vallée. (Cf. tableau XVI)

En conséquence, ces torrents élémentaires des moyennes altitudes se distinguent également par la relative stabilité de leur bassin versant, liée à une certaine léthargie des processus morphogéniques, comparativement à la haute vallée. Aussi, le contexte géomorphologique de leurs bassins versants apparaît généralement un peu plus complexe que dans les bassins élémentaires de la haute vallée. Et ceci tient en grande partie à la diversité géologique du secteur *(zone de contact entre les séries de la zone briançonnaise avec les séries cristallines et métamorphiques de la zone externe)* et l'importance des héritages géomorphologiques.

Par exemple, le torrent Carles [Id. 33] prend sa source au pied du sommet cristallin du Prorel, puis son chenal torrentiel serpente entre 2000 et 1500 mètres d'altitude dans d'anciens mouvements de terrain[91] *(dépôts de pentes polygéniques remaniés),* aujourd'hui globalement stabilisés. Ce torrent traverse ensuite dans sa section inférieure, des formations morainiques quaternaires presque intégralement végétalisées *(1500-1315m)*. Quelques biefs s'individualisent dans le lit torrent par l'affleurement de séries du Carbonifère dominées dans ce secteur par des schistes du "Houiller" charbonneux.

[90] Évidemment, même s'il n'existe pas de précédent connu, un évènement d'intensité exceptionnelle ne peut être complètement exclu dans ces torrents élémentaires, car les bassins versants ont potentiellement la capacité d'engendrer des processus hydro-géomorphologiques massifs *(glissements massifs, rupture d'embâcle, changement de lit, etc.)*. Néanmoins, pour la période contemporaine, ces torrents ne témoignent pas d'instabilités chroniques de leurs bassins, et les évènements de forte magnitude (Fasseta *et al*, 2004) ne s'apparentent pas à un mode de fonctionnement "habituel".

[91] Des niches d'arrachement bien individualisées de plusieurs dizaines de mètres de longueur sont encore visibles dans la partie supérieure du bassin versant du torrent Carles en particulier, et du bois du Prorel en général…

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

2.4.2. Morphotype B : Les torrents composites (B).

Cette seconde catégorie de torrents est **de loin le plus imposant *corpus* de cette typologie, puisqu'elle rassemble 22 torrents, soit près de 60% des torrents de la vallée.**

A l'exception de la densité de drainage *(D_D)*, l'ensemble des critères morphométriques des torrents composites *(B)* présente des valeurs que l'on peut qualifier d'intermédiaires entre les torrents élémentaires *(A)* et les torrents composites proglaciaires *(C)*.

Tout d'abord, ils se caractérisent par des surfaces moyennes bien plus conséquentes que pour les torrents élémentaires. La taille moyenne des bassins versants *(A_{BV})* atteint cette fois près de 4 km² *(3,82)*, mais avec de fortes disparités puisque 75% *(Q3)* des torrents composites ont des bassins versants inférieurs à cette valeur moyenne. Certains font aussi plus de 10 km², comme le torrent du Rif [Id. 8] ou celui du Bez [Id. 24].

Si l'énergie des pentes et des bassins versants demeure importante ($W_{(B)\ Mbv}$ = 0,69), les torrents composites sont généralement moins pentus que les torrents élémentaires ($W_{(A)\ Mbv}$ = 1,04). Par exemple, 70% des bassins versants composites ont un indice de rugosité de Melton inférieur à 0,8 ; tendance d'ailleurs confirmée par les valeurs de *relief ratio* presque intégralement inférieures à 20° *($W_{(B)\ Rr}$ = 15,46°)*. De ce point de vue, et en lien direct avec la taille généreuse de leurs bassins versants, les torrents de Roche Noire [Id. 1], du Rif [Id. 8] et du Bez [Id. 24] se singularisent par des indices de dénivelées spécifiques en deçà de 0,40 *(respectivement 0,94 ; 0,37 ; 0,36)*.

De la même manière, et si tous n'en disposent pas, ces torrents ont édifié des cônes assez étendus *($W_{(B)\ Acd}$ = 38 ha)* et dans l'ensemble à la déclivité modérée *($W_{(B)\ Pcd}$ = 7,6°)* par rapport au groupe précédent.

Mais une nouvelle fois, que ce soit en terme de surfaces ou de pentes, l'éclectisme est de règle. Car, par exemple, avec un bassin d'à peine plus de 3 km², le torrent de Saint-Joseph [Id. 15] a façonné le plus vaste cône torrentiel de la vallée *(118 ha)*, tandis qu'avec un bassin de superficie équivalente, le torrent de Peytavin dispose d'un cône de déjection particulièrement restreint *(13 ha)*.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Le caractère composite de ces torrents tient aussi et surtout à la diversité géomorphologique de leurs bassins versants, et donc à la pluralité des sources sédimentaires. D'ailleurs, il n'est pas surprenant que 72% des torrents composites se situent en moyenne et basse vallée, où le contexte géologique et les héritages géomorphologiques superficiels sont les plus complexes. Ainsi, dans un bassin torrentiel composite, les sources sédimentaires susceptibles d'être mises à contribution sont multiples, ce qui, lorsque les conditions sont réunies, favorise le développement des laves torrentielles : éboulis gélifractés et/ou issus d'abrupts rocheux "broyés" par la tectonique, formations meubles sous-jacentes en place ou glissées, anciens glissements massifs plus ou moins stabilisés, glissements actifs, placages morainiques, etc. **[Cf. Figure 78]**.

De plus, comme évoqué précédemment, la taille de ces torrents *(plusieurs km²)* implique qu'ils s'inscrivent et traversent généralement plusieurs étages morphoclimatiques. Ce qui évidemment induit des dynamiques complexes, pouvant varier considérablement d'un évènement à un autre, et parfois même lors d'un seul épisode de crue. Et ceci, en raison de la multitude des combinaisons "offertes" aux torrents par les interactions qu'entretiennent les différents agents régissant leur dynamique. Dès lors, et même si des tendances morphodynamiques peuvent être mises en évidence, chaque évènement paroxystique présente des différences tantôt subtiles tantôt majeures avec le précédent. Cette réflexion ne s'applique d'ailleurs pas uniquement à la phase de déroulement d'un processus hydro-géomorphologique, mais aussi aux phases de préparation et de déclenchement.

En effet, la contribution de chaque agent exogène *(ex : précipitations orageuses)* et/ou endogène *(ex : mouvements de terrain)* au bassin versant peut varier sensiblement d'un évènement à l'autre. Pour preuve, et pour ne citer que ce seul exemple, si le torrent du Verdarel [Id. 32] a bien généré 5 épisodes par laves torrentielles durant la période récente *(30 dernières années)*, les scénarios de crues ont tous été sensiblement différents, que ce soit en terme d'intensité *(durée, localisation, volumes mobilisés)* que de manifestations *(embâcles, débordements, dommages, etc.)*.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

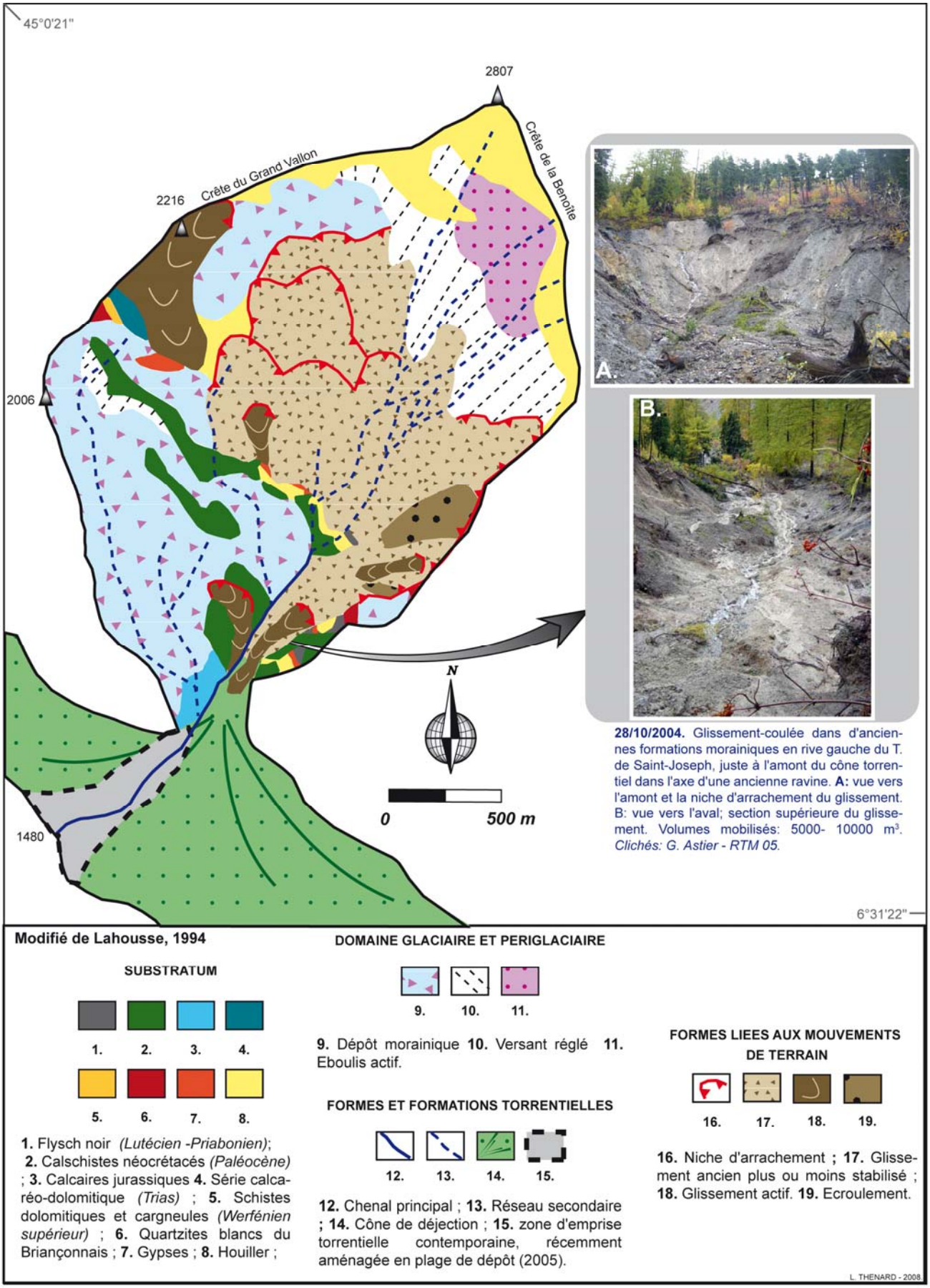


Figure 78: Croquis géomorphologique du T. de Saint-Joseph [Id. 15] : exemple de la diversité des sources sédimentaires d'un torrent composite.

(Modifié de Lahousse, 1994)

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Avec la complexité des torrents composites de la vallée de la Guisane, on mesure d'autant plus la difficulté d'appréhender précisément et surtout durablement les modalités de fonctionnement des bassins torrentiels. Caractériser *(processus, volumes, etc.)* et fixer *(cartographie, zonages, etc.)* la dynamique torrentielle d'un torrent, par définition particulièrement variable, et *à fortiori* évaluer la dangerosité d'un torrent à un instant donné, reste un exercice particulièrement délicat. Notamment, lorsque l'on est en face de morphologies torrentielles chenalisées *(naturelles ou anthropiques)* sur les cônes de déjection, ce qui est le cas de la grande majorité des torrents composites dans la vallée de la Guisane **[Cf. Figure 79]**

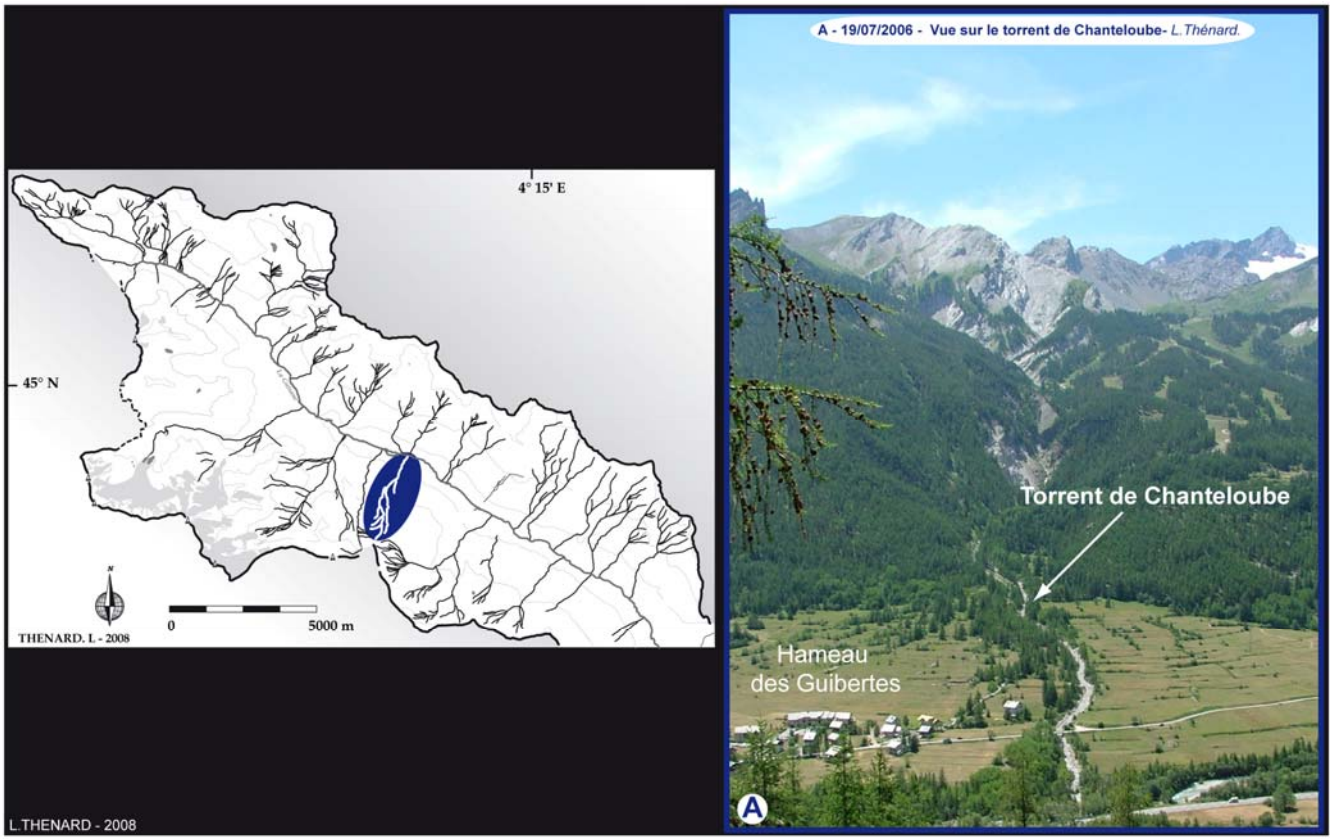


Figure 79: Torrent de Chanteloube (ou des Guibertes) [Id 20].
Un exemple de torrent composite de la moyenne vallée de la Guisane "naturellement" chenalisé sur son cône de déjection

Lorsque les bandes actives ou les zones d'emprises ne sont pas ou plus visibles *in situ*, **les gênes ou les dommages occasionnés résultent le plus souvent de débordements ponctuels et aléatoires, déterminés par les circonstances de chaque crue.** D'autant que la chenalisation des torrents sur leur cône de déjection induit un lit étroit et une concentration de l'énergie de crue.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

ID	Toponymie	A_{BV}(km²)	A_{CD} (km²)	R_{CB} (%)	A_T (km²)	A_B (km²)	T_{BI} (%)	Alt. max	Alt. Conf.	Dén. max.	l cd (m)	L val (m)	R_R (°)	P_{CD} (°)	P_{CP} (°)	K_{GR}	M_{BV}	D_D
1	T. Roche Noire	6,37	0,00	0,0	6,37	0,00	0,0	3116	1866	1250	130	130	10,40		6,23	1,37	0,44	1,84
2	T. du Galibier	2,53	0,07	2,5	2,59	0,00	0,0	2842	1866	976	380	470	12,63	19,18	9,14	1,24	0,51	4,16
8	T. du Rif	12,28	0,27	2,2	12,56	0,19	1,5	3073	1630	1443	840	890	12,28	8,04	6,92	1,23	0,37	3,22
10	T. du Pervou	2,01	0,31	13,5	2,32	0,20	8,7	2785	1575	1210	640	790	18,91	8,79	13,37	1,48	0,77	2,84
12	T. du Chardoussier	1,97	0,08	3,9	2,05	0,14	6,9	2817	1540	1277	411	820	17,57	12,04	13,52	1,63	0,83	3,01
14	T. La Pisse	1,62	0,53	24,6	2,14	0,19	9,0	2832	1490	1342	620	940	16,28	4,35	13,10	1,77	1,01	2,43
15	T. du Saint-Joseph	3,25	1,18	26,5	4,43	0,89	20,1	2807	1480	1327	900	1560	17,83	5,50	9,46	1,10	0,67	2,82
17	T. de Corvaria	2,90	0,41	12,5	3,32	1,09	32,9	2830	1450	1380	920	1490	13,80	6,85	10,33	1,91	0,73	4,16
18	T. de la Moulette	4,17	0,13	3,0	4,30	0,12	2,8	2898	1445	1453	430	1220	14,32	7,85	11,65	1,44	0,68	3,08
19	T. du Merdarel	2,60	0,27	9,4	2,87	0,08	2,9	2922	1440	1482	610	1380	19,16	5,16	14,59	1,33	0,87	3,31
20	T. de Chanteloube	2,03	0,59	22,6	2,62	0,97	37,0	2698	1440	1258	900	1410	15,68	5,50	10,32	1,45	0,81	3,75
22	T. du Gros Rif	2,44	0,32	11,4	2,76	0,22	8,1	2834	1405	1429	650	1190	18,43	6,58	11,34	1,42	0,85	2,66
23	T. de Roche Noire	1,36	0,22	13,9	1,58	0,12	7,3	2869	1400	1469	690	1060	19,50	6,52	12,58	1,61	1,17	3,08
24	T. du Bez	10,08	0,84	7,7	10,92	2,48	22,7	2698	1375	1323	1110	1460	11,43	7,09	8,78	1,16	0,36	1,75
27	T. de la Salle	6,58	0,22	3,2	6,80	0,58	8,5	2869	1375	1494	910	1060	10,96	6,43	9,42	1,34	0,53	3,62
28	T. du Chirouze	2,54	0,19	7,1	2,74	0,73	26,5	2561	1375	1186	590	710	12,30	5,72	10,54	1,78	0,70	2,73
30	T. du Saint-Bernard	3,91	0,55	12,4	4,47	2,27	50,9	2516	1345	1171	1040	1200	12,92	6,71	10,64	1,55	0,51	2,29
31	T. du Peytavin	3,72	0,13	3,3	3,85	1,56	40,6	2566	1315	1251	303	840	14,47	5,20	11,65	1,42	0,63	0,98
32	T. du Verdarel	3,58	0,69	16,3	4,27	2,03	47,5	2606	1315	1291	1490	1570	11,77	7,10	10,20	1,79	0,56	5,80
34	T. de Sainte-Elisabeth	2,23	0,60	21,2	2,83	1,91	67,4	2606	1299	1307	1190	1270	16,03	7,60	10,89	1,52	0,74	2,19
35	T. de Réguinier	3,78	0,38	9,1	4,15	2,04	49,0	2645	1250	1395	960	960	17,25	9,38	13,21	1,51	0,61	2,70
36	T. de l'Adoux	1,98	0,42	17,4	2,40	1,82	75,5	2567		1147	940	1030	26,20		21,78	1,29	0,81	2,72

	A_{BV}(km²)	A_{CD} (km²)	R_{CB} (%)	A_T (km²)	A_B (km²)	T_{BI} (%)	Alt. max	Alt. Conf.	Dén. max.	l cd (m)	L val (m)	R_R (°)	P_{CD} (°)	P_{CP} (°)	K_{GR}	M_{BV}	D_D
W	3,82	0,38	11,1	4,20	0,89	23,9	2771	1461	1312	757	1066	15,5	7,6	11,3	1,47	0,69	2,96
Ecart-type	2,76	0,28	7,8	2,79	0,86	22,9	164	163	129	321	362	3,8	3,2	3,1	0,21	0,20	0,99
Valeur max.	12,28	1,18	26,5	12,56	2,48	75,5	3116	1866	1494	1490	1570	26,2	19,2	21,8	1,91	1,17	5,80
Valeur min.	1,36	0,00	0,0	1,58	0,00	0,0	2516	1250	976	130	130	10,4	4,4	6,2	1,10	0,36	0,98
D1 (C10)	1,97	0,09	2,6	2,16	0,09	1,6	2566	1315	1173	383	718	11,5	5,2	8,8	1,24	0,45	1,88
Q1	2,08	0,20	3,5	2,60	0,15	7,0	2616	1375	1250	595	853	12,4	5,7	9,6	1,33	0,54	2,49
Q2 (Me)	2,75	0,31	10,4	3,09	0,65	14,5	2812	1440	1315	765	1060	15,1	6,8	10,8	1,44	0,69	2,83
Q3	3,88	0,55	15,7	4,40	1,75	39,7	2862	1490	1421	935	1353	17,8	7,9	13,0	1,60	0,81	3,29
D9 (C90)	6,56	0,69	22,4	6,76	2,04	50,7	2920	1630	1467	1103	1487	19,1	9,6	13,5	1,78	0,87	4,12
E (q)	1,80	0,35	12,2	1,80	1,60	32,6	247	115	170	340	500	5,4	2,2	3,3	0,27	0,27	0,80
E (d)	4,59	0,60	19,9	4,60	1,95	49,1	354	315	295	720	769	7,7	4,4	4,7	0,54	0,42	2,24

TABLEAU XVII : PRINCIPALES CARACTERISTIQUES MORPHOMETRIQUES DES TORRENTS APPARTENANT AU MORPHOTYPE B

Données extraites de la base "Morphométrie" du SIRTOS.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Si traditionnellement les ouvrages de passages comme les ponts, les passerelles ou les gués sont des points d'origine privilégiés des débordements torrentiels *(favorisant par rétrécissement les phénomènes d'aggradation et d'embâcle)*, ces derniers peuvent également survenir de manière hasardeuse à la faveur d'un embâcle quelconque ou d'une brèche dans les berges ou les digues. Malgré la qualité des modèles utilisés, ces évènements demeurent parfaitement imprévisibles.

Paradoxalement, l'incision des lits torrentiels composites de la vallée de la Guisane implique de plus grandes incertitudes dans la détermination précise des zones soumises à l'aléa torrentiel que sur les cônes où les bandes actives et les zones d'emprises sont mieux individualisées *(morphotypes A & C)*.

Pour ce type de torrents *(B)*, une approche globale *(transversale)*, multiscalaire et individualisée apparaît incontournable dans une démarche de diagnostic.

D'autre part, la plupart des torrents composites se localise en moyenne et basse vallée, où **l'Homme** intervient de façon ancestrale dans les bassins torrentiels, et notamment sur le versant d'*adret (pratiques agro-pastorales, exploitation de la ressource forestière, activités minières, correction torrentielle, etc.)* de la vallée de la Guisane. A ce titre, l'Homme est donc bien souvent devenu un agent fondamental dans les systèmes torrentiels. **Parvenir à définir la contribution respective des facteurs naturels et anthropiques dans l'évolution des morphodynamiques torrentielles contemporaines reste fréquemment un exercice particulièrement complexe** (Arnaud-Fassetta et Fort, 2004).

Aussi, et comparativement aux torrents élémentaires de la haute vallée, la morphologie des lits des torrents composites diffère notablement et présente une grande diversité des configurations. Globalement, les tracés des réseaux hydrographiques sont plus sinueux et les profils en long nettement plus contrastés. En lien direct avec les superficies et les pentes, il faut y voir l'influence fondamentale du cadre morphostructural sur la dynamique torrentielle.

Par ailleurs, le **profil en travers** des chenaux torrentiel du morphotype B se présente le plus souvent **sous la forme d'un chenal ou d'une bande active plus ou moins encaissée, et variant de 7 à 20 mètres de largeur**. Pour autant, les passages en gorge et les formes en V ne sont pas rares dans ces bassins composites, en particulier lors du passage de seuils rocheux. Tout cela se traduit généralement par des profils en long assez contrastés, où les ruptures de pentes sont légion. Associée à la nature des sources sédimentaires et à leur disponibilité, **et lorsqu'elles ne constituent pas une contrainte pour la dynamique torrentielle**, les variations de pentes confèrent aux torrents composites de sérieuses prédispositions au développement de relais sédimentaires propices à la formation des laves torrentielles.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

Une fois de plus, cette description globale ne doit pas "masquer" la diversité des configurations au sein même des torrents composites. Par exemple, les faciès des lits torrentiels peuvent se révéler très changeants d'un torrent à l'autre. Par exemple, les torrents composites de grande superficie *(≥ 5 km²)* disposent d'une réserve aquifère plus conséquente et plus complexe que les torrents composites de moindre superficie, et généralement d'un réseau hydrographique plus développé. D'ailleurs les rapports de confluences *(R_C)* (Cf. Tableau XVIII) en témoignent bien mieux que les densités de drainage *(D_D)*, trop intimement corrélées à la taille des bassins et donc au facteur d'échelle.

ID Torrents	Toponymie	N Rang 1	N Rang 2	N Rang 3	N Rang 4
1	Torrent Roche Noire	14	3	1	0
2	Torrent du Galibier	20	5	2	0
8	Torrent du Rif	64	15	2	1
10	Torrent du Pervou	19	5	1	0
12	Torrent du Chardoussier	18	4	1	0
14	Torrent La Pisse	17	4	1	0
15	Torrent du Saint-Joseph	22	4	2	0
17	Torrent de Corvaria	28	6	2	1
18	Torrent de la Moulette	21	3	0	0
19	Torrent du Merdarel	30	6	2	1
20	Torrent de Chanteloube	14	4	1	0
22	Torrent du Gros Rif	18	4	3	0
23	Torrent de Roche Noire	5	2	1	0
24	Torrent du Bez	19	7	3	0
27	Torrent de la Salle	20	6	2	0
28	Torrent du Chirouze	7	2	2	0
30	Torrent du Saint-Bernard	5	2	2	0
31	Torrent du Peytavin	1	0	0	0
32	Torrent du Verdarel	28	8	2	1
34	Torrent de Sainte-Elisabeth	8	2	2	0
35	Torrent de Réguinier	12	4	2	0
36	Torrent de l'Adoux	13	2	1	0
	W	18	4	2	0

Torrent du Rif

Torrent 8	N	R_c
Rang 1	64	
Rang 2	15	*4,27*
Rang 3	2	*7,50*
Rang 4	1	*2,00*

Torrent du Merdarel

Torrent 19	N	R_c
Rang 1	30	
Rang 2	6	*5,00*
Rang 3	2	*3,00*
Rang 4	1	*2,00*

Torrent du Verdarel

Torrent 32	N	R_c
Rang 1	28	
Rang 2	8	3,50
Rang 3	2	4,00
Rang 4	1	2,00

Morphotype B	N	Rc
Rang 1	403	
Rang 2	98	4,1
Rang 3	35	2,8
Rang 4	4	8,8

TABLEAU XVIII : ORGANISATION DES RESEAUX HYDROGRAPHIQUES *(STRAHLER, 1952)* DES TORRENTS ELEMENTAIRES [MORPHOTYPE B]. DENSITE DE DRAINAGE (D_D) ET (R_C)

Données extraites de la base "Morphométrie" du SIRTOS.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Pour preuve, l'aspect souvent émoussé des blocs composants la charge graveleuse de surface témoigne d'écoulements réguliers *(saisonniers)*, qui en dehors des phases paroxystiques, tendent à stabiliser le lit torrentiel.

Ce type de faciès correspond assez bien aux lits actuels de torrents tel que celui de Roche Noire [Id. 1], du Rif [Id. 8], du Saint-Joseph [Id. 15], de la Salle [Id. 27], du Peytavin [Id. 31] **[Cf. Figure 80]** ou même de la section inférieure du Sainte-Elisabeth [Id. 34].

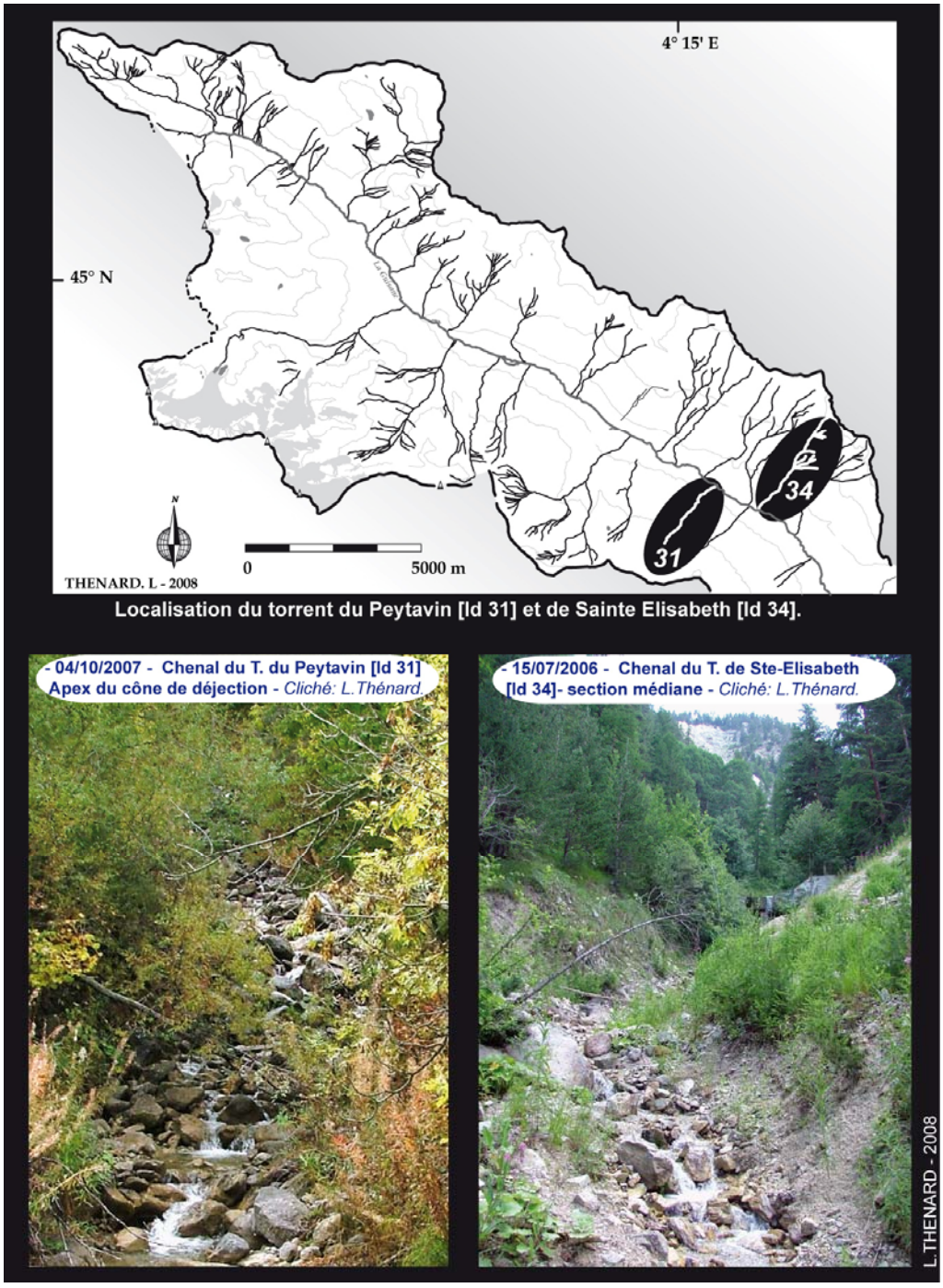


Figure 80: Physionomie et stabilité actuelle de certains lits torrentiels composites en basse vallée de la Guisane.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

Néanmoins, la stabilité apparente de certains lits est souvent relative car elle n'exclue en rien la survenue d'un évènement de forte intensité et ne traduit parfois qu'un état passager de répit de la dynamique torrentielle. Par exemple, depuis 1995 le torrent du Bez [Id. 24] a vu la physionomie de son chenal principal profondément et durablement bouleversé suite à un évènement d'une exceptionnelle intensité et particulièrement morphogène.

La **réversibilité brutale** des dynamiques torrentielles suite à un évènement extrême est un phénomène assez fréquent dans les torrents du Briançonnais. **Donc, un état apparent d'équilibre ou de stabilité ne préjuge pas systématiquement de l'absence d'aléa torrentiel et de la capacité d'un torrent à développer une crue de forte intensité.**

D'autres torrents composites généralement moins étendus, disposent de lits à l'apparence plus tourmentée. Ce qui traduit des remaniements dynamiques récurrents et/ou une recharge sédimentaire active et des transferts de charge récurrents dans le chenal torrentiel. De ce point de vue, les torrents de Chanteloube [Id. 20] ou celui du Verdarel [Id. 32] sont assez représentatifs.

Outre la taille des bassins et les caractéristiques granulométriques de la charge sédimentaire, les **contraintes structurales** interviennent parfois de façon déterminante dans la dynamique torrentielle[92]. Par exemple dans certains bassins versants composites, les sections supérieures se présentent sous la forme de vastes replats structuraux et prenant généralement l'aspect d'un large vallum faiblement incliné. Souvent, ces hauts bassins versants étaient durant le Würm, des vallées glaciaires secondaires *(aujourd'hui "perchées")*, et confluaient avec le glacier principal de la Guisane. Ce dernier aurait atteint près de 1000 mètres d'épaisseur au Pléniglaciaire (Lahousse, 1994 ; Cossart, 2005).

Si ces secteurs conservent des réserves sédimentaires parfois considérables *(blocs erratiques, moraines, tabliers d'éboulis, etc.)*, la taille des bassins de réception et surtout **la faiblesse des pentes ne permettent pas actuellement une concentration rapide et efficace des ruissellements, et d'acquérir une compétence suffisante pour opérer des déstockages massifs** *(laves torrentielles)*.

[92] Ce qui nous permet au passage de souligner l'intérêt de procéder à une analyse du cadre statique de l'aléa torrentiel, préambule indispensable avant d'étudier plus avant les processus torrentiels.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

Pour la période contemporaine, ces torrents ont le plus souvent des comportements morphodynamiques très largement dominés par des processus de charriages **[Cf. Figure 81]**.

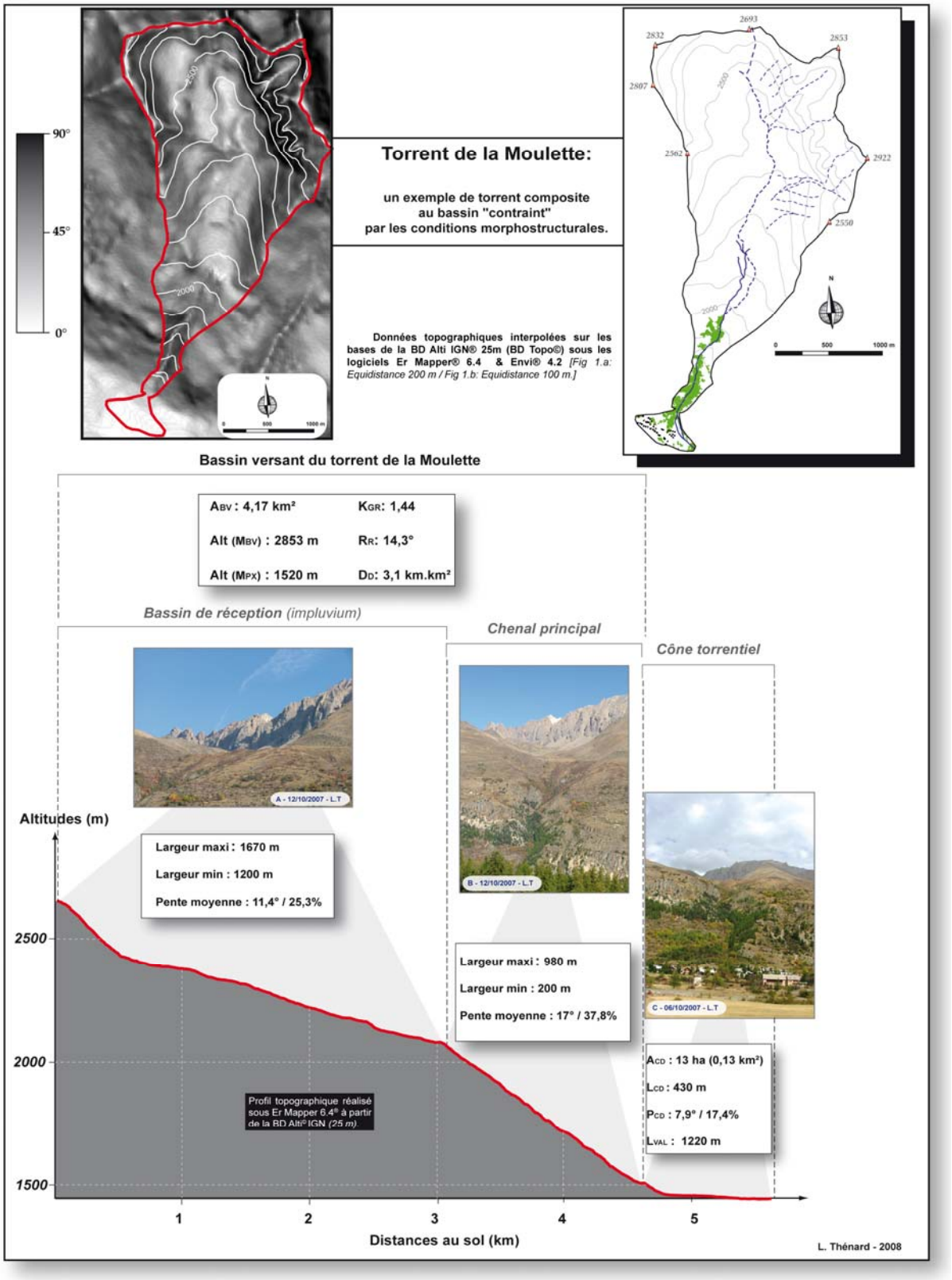


Figure 81: Torrent de la Moulette [Id18] .
Un exemple de torrent composite "contraint" par le cadre morphostructural

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Des torrents tels que ceux de Roche Noire [Id. 1], du Rif [Id. 8] ou encore de la Moulette [Id. 18] sont assez caractéristiques d'organismes de cette catégorie **[Cf. Figure 81]** et ne sont d'ailleurs pas considérés par la population locale comme étant des torrents particulièrement actifs ou problématiques. Pour ces torrents, et plus encore que des agents plus dynamiques *(climat, végétation, Homme, etc.)*, **le cadre morphostructural conditionne de façon essentielle les processus torrentiels dominants.**

Cela nous a naturellement conduit dans notre typologie, à opérer une subdivision supplémentaire afin de distinguer les **torrents composites *(non contraints)* [B_1], des torrents composites contraints [B_2].**

A l'inverse donc, les **torrents composites "non contraints" [B_1] disposent généralement d'un plus grand potentiel en terme d'aléa** *(intensité)*.

Par exemple, lors d'un évènement météorologique de forte intensité *(orage)*, les différents éléments[93] de la morphologie torrentielle peuvent alors interagir, et sans contrainte véritable, favoriser des réactions en chaîne, développant alors des processus hydro-géomorphologiques particulièrement morphogènes. En effet, pour ce type de torrents, les caractéristiques morphologiques leur permettent d'acquérir une forte capacité érosive grâce une combinaison subtile, réunissant à la fois suffisamment d'inertie *(surface des bassins)* et de célérité *(pentes moyennes)* dans la concentration des flux *(intensité)* pour mobiliser leurs différentes sources sédimentaires, dans des volumes parfois considérables.

Aussi, leurs profils longitudinaux[94], le plus souvent assez contrastés *(ruptures de pentes)*, tendent à faciliter les phénomènes de substitution de charge et, en conséquence, une compétence croissante du processus enclenché. Cela se traduit généralement par une succession de "bouffées" torrentielles. De ce point de vue, la crue du torrent du Bez [Id. 24] le 24 juillet 1995 ou plus récemment celle du torrent du Verdarel [Id. 32] *(01/09/2005)*, en sont probablement les illustrations les plus éloquentes.

[93] En particulier la surface des bassins torrentiels (A_{BV}), les pentes moyennes (M_{BV}, R_R) et l'abondance et la disponibilité des sources sédimentaires.

[94] Dans ces torrents "non contraints", le cadre morphostructural ne constitue plus une contrainte au transit sédimentaire, mais au contraire un facteur aggravant.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

En résumé, et pour toutes les raisons évoquées au préalable, les **torrents composites "non contraints" [B_1] de la moyenne et de la basse vallée disposent sans conteste de la plus forte potentialité du point de vue de l'aléa.** Or, en plus de leur localisation dans les sections médianes et inférieures de la vallée, la quasi absence de contrainte structurale en fond de vallée leur ont permis d'édifier de vastes cônes de déjection, faiblement pentus. Ce qui, paradoxalement, a très largement contribué et facilité l'urbanisation de ces secteurs dans le cadre du développement de la station touristique de Serre-Chevalier.

En bref…

En résumé, les disparités, tant topographiques que géomorphologiques, entre la plupart des torrents de la haute vallée *(hors torrents proglaciaires du Petit [Id. 13] et du Grand Tabuc [Id. 16] et le torrent du Rif [Id. 8])* **et ceux de la moyenne et basse vallée, induisent des dynamiques sensiblement distinctes ; cela non pas tant en terme de processus qu'en terme de potentialité, pour laquelle les dimensions spatio-temporelles apparaissent fondamentales.**

Evidemment, en haute vallée, la recharge des lits torrentiels est probablement plus active qu'à plus basse altitude car les processus cryogéniques poursuivent efficacement l'érosion des vastes affleurements rocheux à l'amont des bassins versants et fournissent l'essentiel de la charge sédimentaire des torrents.

L'éboulisation des versants de l'étage périglaciaire de la haute vallée de la Guisane *(combe de Laurichard et massif de Cerces)* **a d'ailleurs fait l'objet d'études de référence, tant d'un point de vue quantitatif que qualitatif** (Delion, 1986 ; Francou, 1988)**. Mais le facteur pente demeure fondamental, et conduit à des "purges sédimentaires régulières »** *(processus torrentiels et avalancheux)* **dans ces torrents de la haute vallée, ce qui évidemment réduit considérablement les volumes directement mobilisables.**

A l'inverse, et nous l'avons vu les torrents de moyenne altitude présentent des pentes moins marquées et disposent surtout de sources sédimentaires de nature très différente des organismes de la haute vallée. Ces formations sont majoritairement héritées *(notamment les formations glaciaires quaternaires)***, et couvrent souvent de plus grandes surfaces. Les volumes sédimentaires potentiellement mobilisables en un seul évènement s'en trouvent renforcés et sans commune mesure avec les volumes considérés dans les torrents de la haute vallée…**

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

2.4.3. Morphotype C : Les torrents composites proglaciaires.

Ce troisième grand morphotype torrentiel **ne rassemble que deux torrents** : le **Petit Tabuc** [Id. 13] et le **Grand Tabuc** [Id. 16]. Tous deux se localisent sur le versant d'*ubac* et leurs bassins constituent une bonne part de la retombée orientale du massif du Pelvoux *(Parc National des Écrins)* dans la vallée de la Guisane.

Comme démontré précédemment, ils se démarquent nettement des autres torrents de la vallée par **leurs caractéristiques morphométriques** et leur **régime hydrologique** *(glacio-nival)*, spécifique aux torrents émissaires.

A l'instar des torrents composites du groupe précédent (B), le cadre morphostructural de leurs bassins versants présente également une grande diversité. Pour l'un comme pour l'autre, les hauts bassins versants sont majoritairement dominés par des affleurements migmatiques *(Gneiss et granites du Combeynot)* dont est essentiellement issu le till glaciaire. Aussi, les versants ainsi que le fond des talwegs torrentiels présentent une empreinte glaciaire, actuelle et héritée, particulièrement marquée.

ID	Toponymie	Périmètre *(km)*	A_{BV} *(km²)*	A_{CD} *(km²)*	A_{CD} *(% de At)*	A_T (km²)	S_{BOIS} (km²)	S_{BOIS} *(% de At)*
13	T. du Petit Tabuc	24,55	**24,43**	**0,90**	3,56	25,33	2,875	11,35
16	T. du Grand Tabuc	20,59	**16,17**	**0,82**	4,84	16,99	2,723	16,03

TABLEAU XIX : PRINCIPAUX INDICES RELATIFS AUX SURFACES DES TORRENTS DU MORPHOTYPE C

En premier lieu, ce sont les **uniques torrents proglaciaires** de la vallée de la Guisane, ce qui en soit est déjà un facteur discriminant fondamental. Ensuite, ils se distinguent par leur **taille** (Cf. Tableau XIX) puisqu'ils couvrent à eux seuls 42,3 km², soit près de 30% de la surface totale des torrents de la vallée de la Guisane *(150,4 km²)*.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

Vecteurs sédimentaires principaux entre les glaciers et le fond de vallée, ces torrents ont également édifié au fil des siècles de vastes cônes torrentiels, compris entre 80 et 100 ha, témoignant ainsi d'une compétence suffisante *(passée et/ou actuelle)* pour assurer un transit sédimentaire efficace. Là encore, l'étendue des cônes de déjection apparaît comme un élément distinctif lorsqu'on la compare aux 38 ha de surface moyenne des cônes des torrents composites *(morphotype B)*.

En lien direct avec leur taille, ces torrents disposent de faibles valeurs de **pentes**, tant pour les bassins versants que les cônes torrentiels qui leur sont associés (Cf. Tableau XX), ces derniers n'excédant pas 5° de pente moyenne. De plus, l'étalement des épandages torrentiels a été facilité par une largeur de vallée conséquente *(de l'ordre de 2000m)*.

ID	Toponymie	R_R °	M_{BV}	K_{GR}	P_{CD} (°)	D_D (°)
13	**T. du Petit Tabuc**	16,7	**0,41**	**1,39**	3,63	**2,875**
16	**T. du Grand Tabuc**	13,3	**0,51**	**1,43**	4,57	**2,723**

TABLEAU XX : PRINCIPAUX INDICES RELATIFS AUX PENTES DES TORRENTS DU MORPHOTYPE C.

De la même manière, les densités de drainage apparaissent assez modestes car fortement corrélées à la surface des bassins *(< 3km.km²)*. En revanche, et conséquence directe des pentes et du régime hydrologique, l'organisation des réseaux hydrographique est plus développée que dans les torrents des morphotypes A et B, en particulier concernant le réseau secondaire (rangs 1 et 2), mais sans pour autant dépasser le rang 4 (Cf. Tableau XXI).

ID Torrents	Toponymie	*N Rang 1*	*N Rang 2*	*N Rang 3*	*N Rang 4*
13	***Torrent du Petit Tabuc***	**38**	**9**	**2**	**0**
16	***Torrent du Grand Tabuc***	**62**	**18**	**4**	**1**
	W	**50**	**14**	**3**	**1**

TABLEAU XXI : ORGANISATION *(STRAHLER, 1952)* DES RESEAUX HYDROGRAPHIQUES DES TORRENTS COMPOSITES PROGLACIAIRES *(MORPHOTYPE C)*.

Par ailleurs, pour l'un comme pour l'autre, l'englacement des bassins versants reste conséquent car les glaciers dont ils sont tributaires couvrent près de 1/5^{ième} de leur surface. Aussi, cette alimentation glaciaire leur assure durant la période de fusion nivale et glaciaire des écoulements permanents et conséquents. Ce qui, là encore, est un élément distinctif de la grande majorité des torrents guisanais.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

A ce titre, ils constituent **d'ailleurs les principaux affluents de *la Guisane*** (Cf. Tableau XXII), et contribuent durant la période estivale à soutenir en partie le débit de la rivière.

Torrents/mois	J	F	M	A	M	J	Jt	Â	S	O	N	D	Moyenne annuelle
Petit Tabuc	21	16	15	17	27	54	110	145	114	73	39	27	54,8
Grand Tabuc	16	12	12	14	30	133	120	139	92	66	35	19	57,3

TABLEAU XXII : DEBITS SPECIFIQUES (L/S/KM²) DES TORRENTS DU PETIT ET DU GRAND TABUC EN 1980 (D'APRES CARENCO, 1982)

Alors que durant cette période, la majorité des torrents se caractérise par la faiblesse ou l'intermittence de leurs écoulements, les torrents proglaciaires du Petit et du Grand Tabuc se démarquent par l'abondance de leurs débits journaliers et spécifiques. Au mois d'août de l'année 1980, correspondant au paroxysme de l'ablation glaciaire, il a été établi que le torrent du Petit Tabuc participait à plus de 63% du volume d'eau écoulé dans la Guisane à la hauteur de la confluence (Carenco, 1982).

2.4.3.1. *Le torrent du Petit Tabuc.*

Avec 24,5 km², le torrent du Petit Tabuc [Id. 13] est de loin le plus vaste torrent de la vallée, mais aussi un des moins pentus *(M_{BV} = 0,41)*. Ce torrent concentre les eaux de fusion des glaciers du cirque d'Arsine et du glacier du Casset **[Cf. Figure 82]**. Il prend sa source au pied de l'imposante moraine frontale du glacier noir d'Arsine *(commandement d'environ 100m)*.

Depuis 1986, le torrent du Petit Tabuc est relié au front du glacier par un chenal artificiel, calibré pour maintenir le niveau de deux lacs proglaciaires, aujourd'hui insérés entre le front actuel du glacier d'Arsine et sa moraine frontale historique *(PAG)*. A noter que ces lacs se sont essentiellement formés et développés au cours des 5 dernières décennies. Faisant craindre un risque majeur de débâcle glaciaire par rupture de la moraine frontale du glacier d'Arsine[95], des aménagements d'ampleur et d'urgence ont été réalisés avec succès durant le printemps 1986, nécessitant un acheminement complexe de moyens matériels et humains sur site (Lahousse et Guen, 1998). Dès lors, le niveau des lacs a fait l'objet d'une attention particulière et ne semble plus susciter l'inquiétude dans la vallée.

[95] A l'époque, les études et les estimations avançaient des volumes potentiels d'eaux boueuses de l'ordre de 800 000 m³ (Vallon, 1986) une submersion du hameau du Casset en 8 à 12 minutes! (Vila, 1986)

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

Si effectivement, une rupture de la moraine frontale liée à la pression imprimée par les lacs reste plausible mais peu probable, **nous nous interrogeons sur la possibilité de déstabilisation de cet édifice naturel dans un secteur aussi actif d'un point de vue sismique.** D'autant qu'au milieu des années 1980, il n'existait qu'un seul lac de 5,9 ha (L.G.G.E, 1987), alors qu'aujourd'hui, on dénombre 4 lacs, dont les 2 lacs principaux proglaciaires s'étendent respectivement sur 5,3 ha et de 2,9 ha *(reconnus sur la BDOrtho IGN 2003©)*. Compte tenu des évolutions récentes et rapides, ce site doit manifestement continuer à faire l'objet d'une grande vigilance et d'études régulières.

Par ailleurs, si le torrent du Petit Tabuc [Id. 13] est un affluent majeur de la *Guisane* d'un point de vue hydrologique, il n'apparaît pas à l'échelle contemporaine être un agent de transport sédimentaire de premier plan. Sans avoir pu le quantifier précisément, l'étude du profil longitudinal et de la morphologie du lit torrentiel est déjà riche d'enseignements. En effet, sur son cône de déjection, le torrent du Petit Tabuc présente une physionomie chenalisée.

Loin d'une véritable bande active torrentielle, il se présente sous la forme d'un lit unique, peu incisé et juste calibré pour contenir les variations journalières des écoulements glaciaires *(durant la période estivale)*. D'autre part, ce chenal est encadré par une ripisylve centenaire, et on ne trouve pas trace sur le cône de déjection *(pourtant peu aménagé)* de quelconque débordement ou divagation torrentiel. **[Cf. Figure 82]**

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

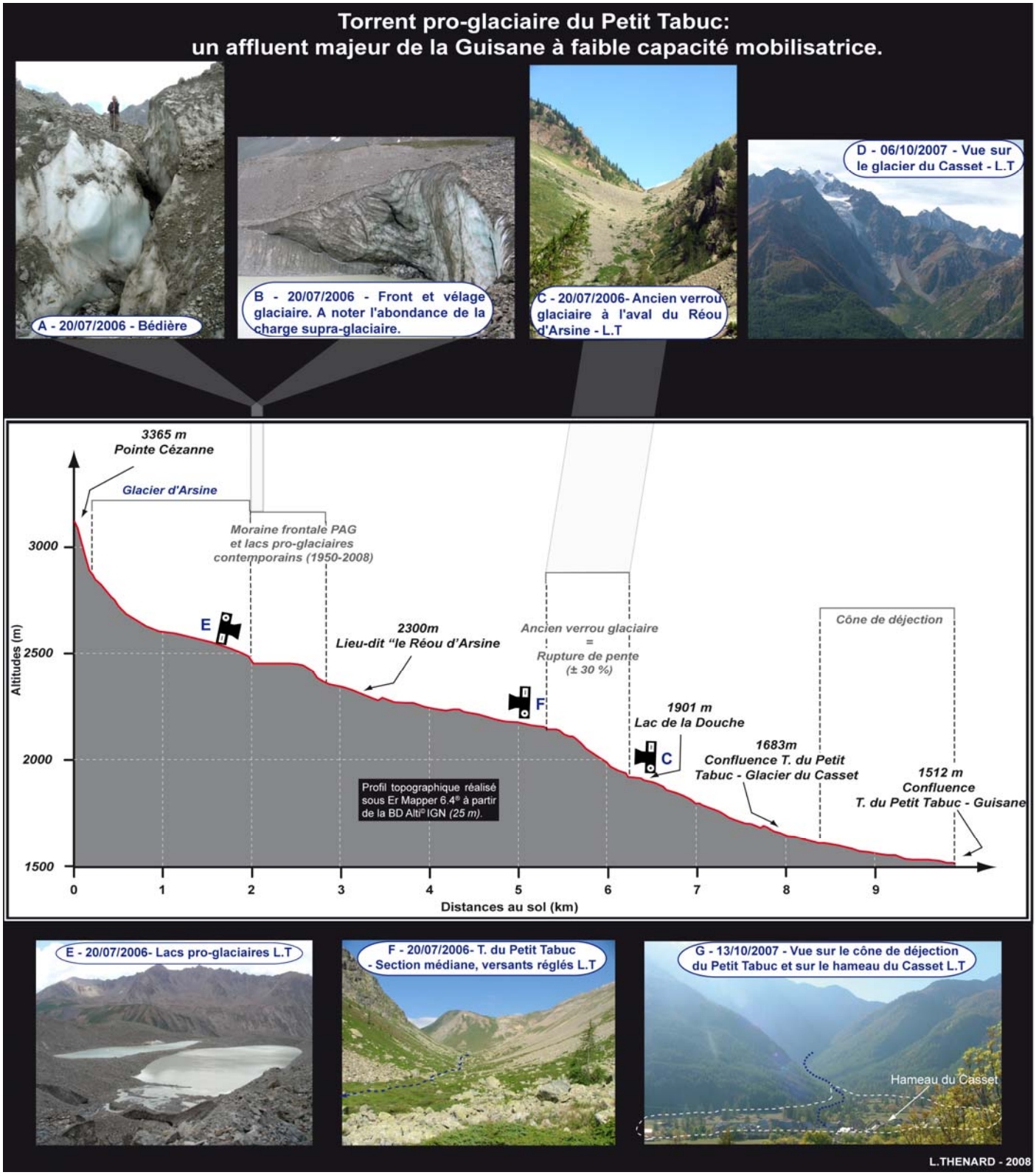


Figure 82: Le torrent pro-glaciaire du Petit Tabuc : Un affluent majeur de la Guisane à faible capacité mobilisatrice

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

D'après notre analyse, la faiblesse de la charge sédimentaire transportée **actuellement** par le torrent du Petit Tabuc [Id. 13] tient en 4 éléments majeurs :

- Tout d'abord, les **caractéristiques morphométriques** du bassin versant, notamment la taille *(25 km²)* et la pente impliquent *(M_{BV}= 0,41)*, lors d'évènement orageux ou pluvieux, une grande inertie dans la concentration des flux, et donc un lissage du pic de crue. A l'amont des bassins versants torrentiels, la pente demeure un élément capital pour assurer une montée en compétence rapide et efficace. Or, la configuration topographique du bassin de réception du Petit Tabuc *(replat du Riou d'Arsine),* conjuguant une grande surface et une faible pente, implique une forte dissipation de l'énergie des eaux de ruissellement. Conséquence directe de la faiblesse des pentes sur ce secteur, le réseau hydrographique est réduit à sa plus simple expression car en dehors du chenal principal, le réseau secondaire est particulièrement sommaire.

- Ensuite, et en lien avec ce qui vient d'être évoqué **le profil en long** du torrent s'avère également peu favorable au transit sédimentaire **[Cf. Figure 82]**. En effet, le secteur comprenant le glacier d'Arsine ainsi que sa zone périglaciaire *stricto sensu*, l*e Réou d'Arsine*, sont implantés sur un vaste replat structural. Par exemple, entre le pied de la moraine frontale d'Arsine *(2340m)* et le secteur aval du Réou d'Arsine *(2240m)*, la pente moyenne n'est que de 3,6° *(8%)*. Évidemment, la modestie de ces pentes ne permet pas au torrent du Petit Tabuc d'acquérir une compétence suffisante pour un transit sédimentaire efficient.

- Aussi, et malgré l'abondance de la charge sédimentaire en tête de bassin, la **puissante moraine frontale du glacier d'Arsine** constitue un rempart détritique quasi infranchissable. D'ailleurs, la simple présence de cette moraine et son importance témoigne bien d'un défaut de compétence et de l'impossibilité des reprises fluvio-glaciaires sur ce secteur. Cette affirmation se voit confirmée sur le site du Réou d'Arsine car le Petit Tabuc se présente plus sous la forme d'un torrent bucolique de haute montagne chargé de farine glaciaire, que sous celle d'un torrent émissaire entretenant une vaste bande active. Enfin, et peut-être surtout,

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

l'éloignement progressif du front glaciaire du glacier du Casset[96] (Garitte et Lahousse, 2000), et la végétalisation spontanée des moraines latérales **(Cf. photo B, Figure 83)**, impliquent à l'heure actuelle un tarissement des flux hydriques et une stabilisation des sources sédimentaires principales du torrent émissaire du Casset, affluent direct du torrent du Petit Tabuc [Id. 32].

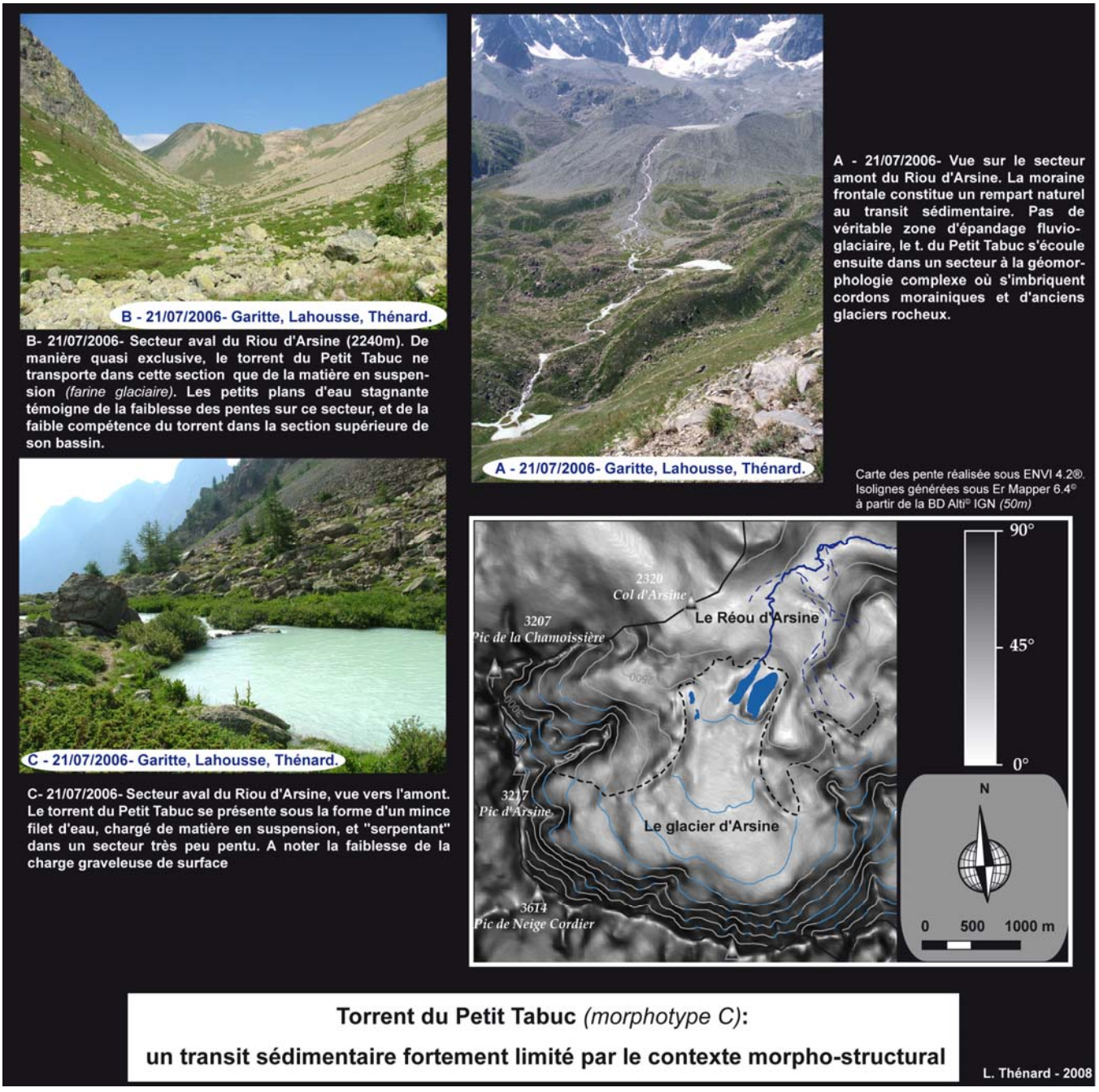


Figure 83: Une dynamique torrentielle fortement contrainte par le cadre morpho-structural de son bassin de réception.

[96] Résultant de la remontée progressive et contemporaine de l'isotherme 0°C *(ligne d'équilibre aux alentours de 3100m d'altitude)*

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

Si d'un point de vue hydrologique, le torrent du Petit Tabuc est donc un affluent majeur de la *Guisane* à l'amont du Monêtier-les-Bains, il ne semble pas en mesure de contribuer de manière significative à la recharge sédimentaire de cette dernière. La raison essentielle relève des caractéristiques morphométriques de son bassin versant. Néanmoins, la taille de son cône de déjection *(A_{CD} = 90 ha)* témoigne de dynamiques torrentielles bien différentes et surtout bien plus aggradantes, soit durant le Remblaiement Holocène Principal *(déstockages paraglaciaires)*, soit plus généralement au cours des différentes péjorations climatiques ayant jalonné l'Holocène, notamment durant le Remblaiement Historique Principal [PAG] *(efficacité des processus cryogéniques et avancées des fronts glaciaires)*.

Si l'on excepte une hypothétique mais catastrophique débâcle glaciaire, ce torrent ne semble pas, actuellement, prédisposé à des déstockages sédimentaires massifs et brutaux. D'ailleurs, et malgré la prudence qu'elle suppose, l'enquête historique ne fait état d'aucune crue majeure ou dommageable. En conséquence, et pour la période contemporaine et actuelle, il est raisonnable de considérer que ce torrent présente **un faible potentiel** en terme d'**aléa torrentiel**.

2.4.3.2. Le torrent du Grand Tabuc.

Le Grand Tabuc se trouve également être le réceptacle des eaux de fusions des reliquats glaciaires du glacier des Prés-les-Fonts **[Cf. Figure 84]**, par l'intermédiaire du torrent du même nom. La jonction entre ces deux torrents s'effectue dans la zone apicale du cône de déjection, vers 1560 m d'altitude. Puis, le torrent du Grand Tabuc conflue avec *la Guisane (en rive droite)* aux alentours de 1475 m.

Bien mal nommé car sa surface est de 8 km² inférieure au Petit Tabuc, le torrent du Grand Tabuc [Id. 16] demeure néanmoins le deuxième plus vaste torrent de la vallée de la Guisane *(A_T ± 17 km²)*. Tout comme le précédent, les valeurs de pentes moyennes de son bassin versant ou de son cône de déjection apparaissent bien modestes *(M_{BV} = 0,51 ; R_R = 13,3° ; P_{CD} = 4,6°)* avec les torrents appartenant aux morphotypes A et B.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

Néanmoins, et en dépit de leur caractère proglaciaire, les torrents du Petit et du Grand Tabuc diffèrent sensiblement en raison de la physionomie de leurs lits torrentiels, et des morphodynamiques les régissent.

Le Grand Tabuc est également l'unique torrent de la vallée à disposer d'une bande active *stricto sensu*. Cela traduit manifestement des transferts de charge sédimentaire réguliers et conséquents.

Par ailleurs, et toujours sur le cône torrentiel, les différentes strates arborées de sa ripisylve s'identifient aisément à la première observation et témoignent d'une végétalisation contemporaine et, sans nul doute, d'un important processus de rétraction de la bande active torrentielle **[Cf. Figure 84]**, alors que ce torrent n'est pas périmétré RTM et qu'il n'a jamais fait l'objet d'aménagements spécifiques ou d'une campagne de correction torrentielle.

La présence de cette bande active torrentielle est l'indice d'une abondante charge de fond et d'un remaniement régulier sous une forme multichenalisée. Nous avons pu d'ailleurs observer ce remodelage journalier de la bande active torrentielle par des processus de charriage au paroxysme de la période de fusion glaciaire *(15 juillet-15 août)*, les eaux claires du début de matinée laissant progressivement la place à des eaux de plus en plus turbides et presque boueuses en fin de journée **[Cf. Figure 85]**. A la confluence, le contraste de teinte des eaux du torrent du Grand Tabuc et de la Guisane est assez saisissant. Durant cette période et sur ce secteur, le torrent du Grand Tabuc est incontestablement un affluent sédimentaire majeur pour le drain principal de la vallée.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

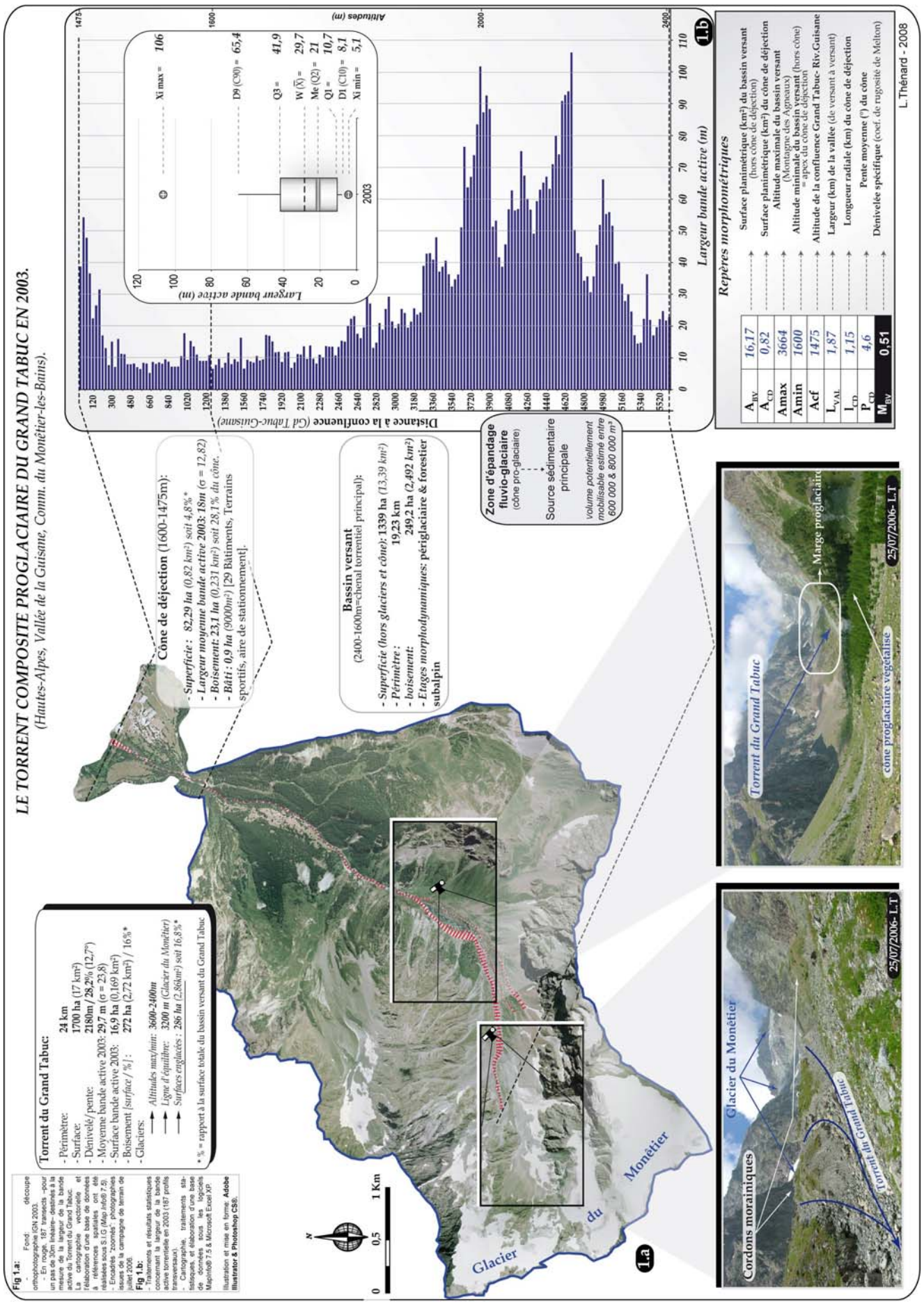


Figure 84 : Le torrent composite proglaciaire en 2003 (morphotype C).

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

La partie supérieure du bassin torrentiel *(le vallon du Grand Tabuc)* se présente sous la forme **d'une auge glaciaire**. Les versants abrupts méridionaux sont constitués par la crête des Grangettes et la crête de Cibouit, tandis que la crête du Lauzas charpente le non moins abrupt versant septentrional **[Cf. Figure 85]**. Appartenant en grande partie à l'étage périglaciaire, ces versants présentent dans leur partie sommitale des affleurements rocheux, essentiellement cristallins, fortement soumis à la gélifraction. A leur base, ces versants en partie régularisés, sont également tapissés d'anciens placages morainiques (Cossart, 2005) que recouvrent un grand nombre de tabliers d'éboulis actifs, régulièrement retouchés par des processus mixtes *(avalanches, coulées de débris)*. A noter que ces derniers sont bien souvent directement reliés au torrent du Grand Tabuc et participent ainsi activement à son alimentation sédimentaire.

Outre les moraines à proximité immédiate du front glaciaire, le fond du vallon du Grand Tabuc est quant à lui marqué par la présence **d'une vaste et ancienne zone d'épandage fluvio-glaciaire présentant clairement une forme en dôme** *(sandur)*. Ce secteur est manifestement en cours de stabilisation car il fait l'objet d'une végétalisation spontanée et régressive. Ce considérable stockage sédimentaire s'est réalisé à la faveur d'un léger replat topographique, d'origine structurale.

Adoptant un style, sinon tressé, du moins multichenalisé, le torrent du Grand Tabuc continue encore actuellement et malgré des évolutions sensibles, à remanier régulièrement et partiellement ce secteur. Les largeurs cumulées des bandes actives de ce secteur dépassent régulièrement les 100 m. **[Cf. Figure 84]**. **Cet espace de divagation fluvio-glaciaire constitue indiscutablement la source sédimentaire principale du torrent.**

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

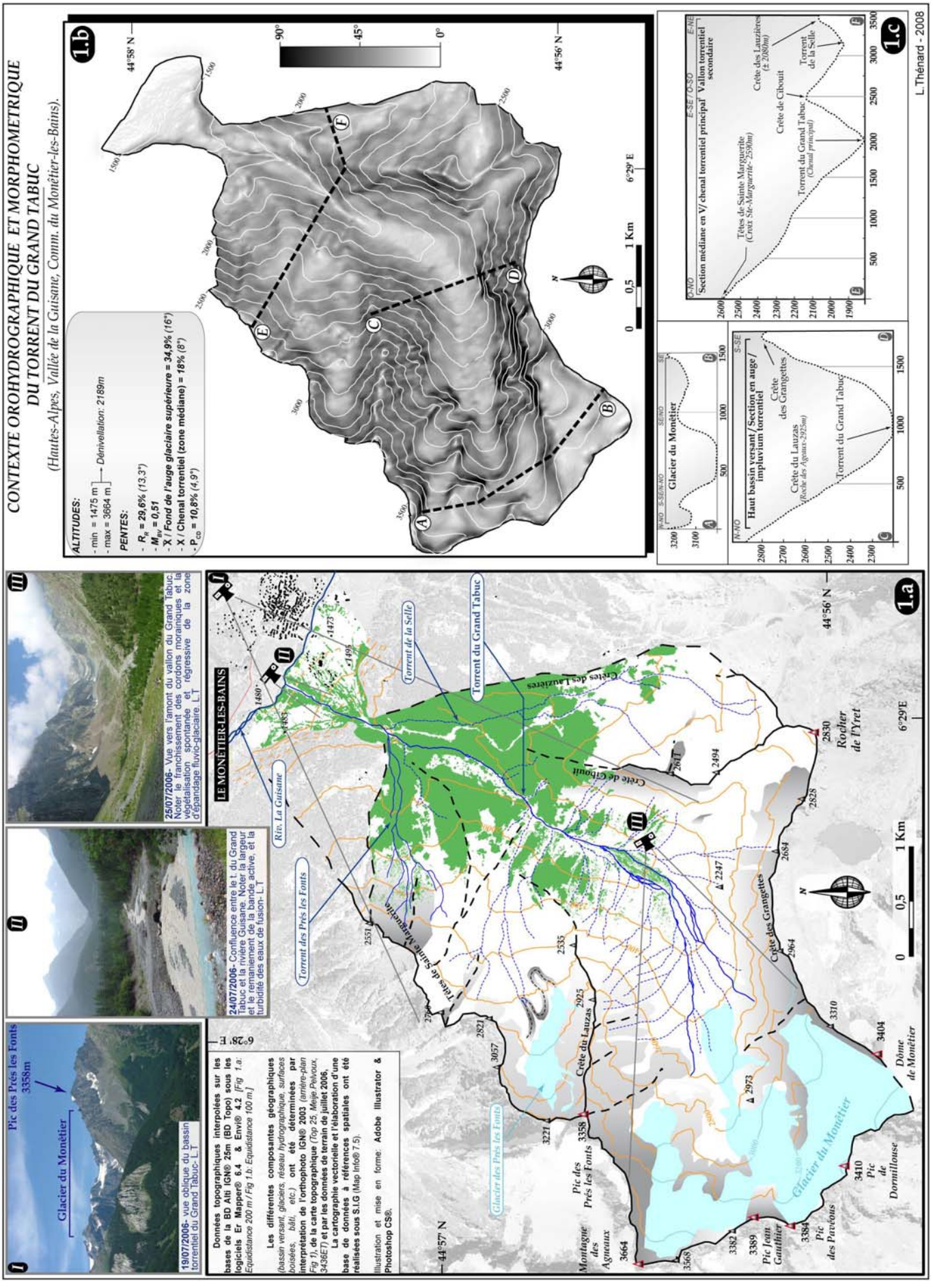


Figure 85: Les grandes caractéristiques morphométriques du torrent du Grand Tabuc

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

A l'inverse du torrent du Petit Tabuc, la forte capacité mobilisatrice du Grand Tabuc est en grande partie liée aux caractéristiques morphométriques de son bassin :

- En tête de bassin notamment car si la déclivité moyenne du torrent du Grand Tabuc apparaît plus faible encore que celle du Petit Tabuc, le profil longitudinal ne constitue pas une contrainte à la dynamique torrentielle, et plus encore au transit sédimentaire.

  En effet, le profil en long du talweg torrentiel se présente schématiquement sous la forme de trois ruptures de pentes successives, que l'on individualise aisément sur la carte des pentes **[Cf. Figure 85]**.

  La section supérieure comprise entre le front actuel du glacier du Monêtier *(2574m)* et 1a cote 1932 m présente une valeur de pente moyenne de l'ordre de 16° *(35%)*, tandis que la section médiane du torrent est nettement moins déclive, avec des valeurs de pente avoisinant les 8° *(18%)*. Vient ensuite le cône de déjection avec 4,6° de pente moyenne.

  Même si elle ne justifie pas à elle seule la capacité de prise charge sédimentaire du Grand Tabuc, cette configuration topographique, avec des valeurs de pente conséquentes dans la section supérieure, apparaît tout de même plus favorable que précédemment (Cf. Petit Tabuc) pour une montée précoce en compétence.

En outre, l'organisation actuelle du réseau hydrographique du torrent du Grand Tabuc lui permet de concentrer rapidement les eaux de fusion. Pour commencer, l'ensemble de ces eaux proviennent des différents fronts de la calotte glaciaire locale du Monêtier, et confluent rapidement dans la section supérieure du bassin. A partir du front glaciaire actuel, et en une distance d'environ 1500 m, le torrent du Grand Tabuc atteint déjà le rang 3 de l'ordination de Strahler, alors qu'à la confluence avec la Guisane il ne dépasse pas le rang 4 !

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

- Par ailleurs, au sortir des fronts glaciaires principaux, ces chenaux émissaires traversent un enchevêtrement relativement complexe de cordons morainiques hérités des stades de stagnations glaciaires du PAG et de la période contemporaine (Cossart, 2005).

L'érosion journalière de ces édifices, en période de fonte, est une manne sédimentaire fondamentale dans la dynamique torrentielle du Grand Tabuc, car le franchissement de ces moraines permet au torrent de se charger en matrice fine, lui conférant un aspect particulièrement turbide en fin de journée.

- Enfin, et comme mentionné précédemment, le torrent traverse une vaste zone d'épandages fluvio-glaciaires *(essentiellement héritée)* qui constitue l'origine essentielle de la charge graveleuse du torrent.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

Si à l'instar du Petit Tabuc, le torrent du Grand Tabuc doit son appartenance au morphotype C à son origine proglaciaire et aux spécificités morphométriques de son bassin, il apparaît clairement que ces organismes torrentiels se distinguent l'un de l'autre par leurs morphodynamiques actuelles. Nous l'avons démontré, dans son fonctionnement "habituel" ou au moins saisonnier, le torrent du Grand Tabuc rassemble à la fois une forte capacité mobilisatrice ainsi que des sources sédimentaires abondantes et surtout facilement mobilisables, ce que traduit la large bande active sur son cône de déjection.

Lors d'évènements paroxystiques, ces éléments constituent également des **prédispositions particulièrement favorables à des mobilisations sédimentaires massives.** Même si évidemment, la taille conséquente du bassin et la modestie des pentes lui confère une certaine inertie, et réduit donc la probabilité d'évènements brutaux récurrents. Néanmoins, en pleine phase d'évolution morphodynamique (Cf. 3.3.4.2) ce torrent nous paraît disposer d'**une forte potentialité concernant l'aléa torrentiel.**

D'ailleurs, l'enquête historique tend à le confirmer *(malgré une urbanisation récente et modeste de son cône et donc un probable défaut de recensement)* puisque le torrent du Grand Tabuc apparaît à 5 reprises dans les archives (1434, 1447, 1744, 1856 et 1997). Le dernier évènement, celui du 05 août 1997, prouve l'aptitude de ce torrent à mobiliser des volumes sédimentaires conséquents en un seul évènement. Un orage de convection, localisé sur le Pic des Prés-les-Fonts, semble être à l'origine du déclenchement de la crue torrentielle, sous forme d'un charriage hyperconcentré (Ancey, 1997). Après avoir emporté quelques bovins et 3 passerelles, le torrent du Grand Tabuc aurait déposé sur son cône entre 5000 et 10 000 m^3 de dépôts hétérométriques, alors que l'ensemble de son bassin versant *(notamment la section supérieure)* n'a pas été sollicité au cours de cet évènement.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

2.5. CONCLUSION DU CHAPITRE 2 : DISCUSSION SUR LA NOTION DE POTENTIALITE.

Ce chapitre consacré à l'analyse des grandes caractéristiques morphologiques des torrents de la vallée de la Guisane nous paraissait un préalable indispensable pour ensuite s'interroger sur la réalité du risque torrentiel à Serre-Chevalier. En effet, l'évaluation et le diagnostic de l'aléa et du risque torrentiel ne peuvent s'exonérer, dans une démarche initiale, d'une connaissance fine des torrents.

Après avoir déterminé et analysé leurs spécificités morphologiques *(morphométrie, géomorphologie, etc.)*, et en y adjoignant des considérations plus dynamiques, nous avons donc mis en évidence et proposé une **typologie fonctionnelle** avec 3 grands morphotypes torrentiels dans cette vallée : torrents élémentaires (A), torrents composites (B), torrents composites proglaciaires (C). Ces différentes catégories torrentielles et leurs subdivisions ont été synthétisées et cartographiées **[Cf. figure 86]**.

Cette proposition, spécifiquement adaptée aux torrents de la Guisane, sera sans nul doute amenée à évoluer au cours des prochaines années, en élargissant notamment le nombre de torrents étudiés et la zone géographique couverte. Dans le cadre d'**un diagnostic préliminaire de l'aléa torrentiel,** les données accumulées et leurs analyses permettent néanmoins d'affiner la connaissance scientifique sur **l'ensemble des torrents de la vallée.** Dans une démarche plus prospective et durable du risque torrentiel *(par exemple l'urbanisation de nouveaux cônes torrentiels)*, cela pourrait permettre d'accéder rapidement aux données portant sur l'aléa *(données intégrées sous SIG)* et surtout d'intégrer le fait torrentiel à tout projet de développement et d'aménagement.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

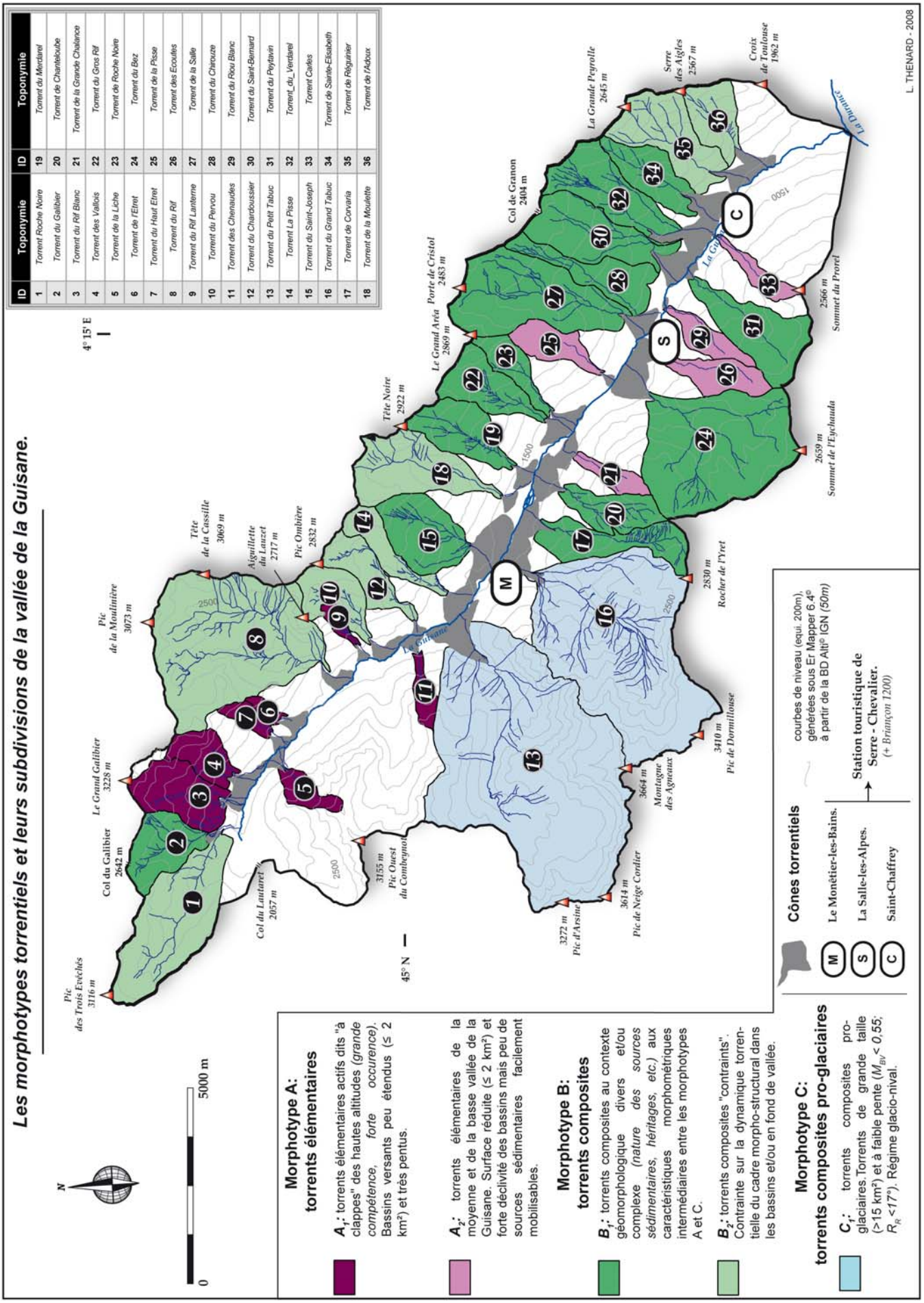


Figure 86: Spécificités fonctionnelles et morphologiques des morphotypes torrentiels.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Sur les bases de cette analyse, et afin de répondre à la problématique initiale de l'évaluation de l'aléa torrentiel à Serre-Chevalier, il nous semble plus judicieux dans le cadre d'un diagnostic d'avoir une approche basée sur la **notion de potentialité**.

Pour l'évaluation de l'aléa torrentiel, cette **notion de potentialité** doit être définie **comme la capacité maximale *(prévisible)* d'un torrent à mobiliser un volume sédimentaire donné lors d'un seul évènement**.

Cette notion permet d'éviter une approche trop exclusivement centrée sur celle d'occurrence[97] *(recensement historique)*. Evidemment, de nombreuses conditions doivent être réunies pour qu'un torrent atteigne son potentiel maximal *(sols et formations superficielles saturés, déstabilisation et participation de l'ensemble du bassin versant, phénomène météorologique extrême, etc.)* et par conséquent l'occurrence de tels évènements est relativement faible. Toutefois, cette notion de potentialité permet de se détacher des crues de référence trop souvent évoquées, car leur fiabilité dépend essentiellement de la qualité du recensement.

Aussi, peut-on raisonnablement penser que durant la période contemporaine, tous les torrents *(en particulier les torrents composites)* ont déjà connu un évènement exploitant leur potentiel maximal ? Nul doute que la crédibilité et les perspectives de la gestion du risque torrentiel passent par une démarche non plus seulement diachronique mais aussi plus **prospective.** Dans cette étude, c'est essentiellement en ce sens qu'est formulée et proposée la notion de potentialité.

Par ailleurs, dans une phase d'étude préliminaire cette approche permet également d'appréhender les torrents et l'aléa à une échelle intermédiaire entre des analyses plus régionales et des études ponctuelles par définition très localisées (*torrents ou cônes torrentiels)*, dont les conclusions sont parfois difficiles à replacer dans un contexte élargi.

Cette notion de potentialité replace également l'aléa torrentiel et d'une certaine manière l'approche hydro-géomorphologique au cœur de l'étude du risque, car bien souvent *"la composante physique a été largement évacuée, du moins chez les géographes, qui tendent à considérer l'aléa comme un acquis élaboré par les sciences de l'ingénieur, acquis sur lequel se construit l'analyse territoriale et/ou sociétale"* (Bravard, 2007).

[97] Cette dernière demeure la plus fréquemment employée dans l'établissement des P.P.R.N *(Plans de Préventions des Risques Naturels)*

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

D'autre part La "potentialité" permet de se détacher de typologies strictement "comportementalistes", dans lesquelles la **nature des processus** dominants en jeu *(lave torrentielle, charriage hyperconcentré, charriage)* pourrait être interprétée à tort comme d'éventuels degrés de dangerosité. Si cette démarche est intéressante d'un point de vue dynamique, elle se heurte généralement dans un diagnostic de risque à trois écueils essentiels : i) l'échelle temporelle considérée car un comportement morphodynamique dominant à l'échelle de l'Holocène peut-être bien différent de l'actuel ; ii) **les comportements dominants peuvent également masquer des évènements plus extrêmes et de faible occurrence mais dont on cherche et doit se prémunir prioritairement dans la gestion du risque** ; iii) que des vies soient malheureusement emportées par une lave torrentielle ou un phénomène de charriage hyperconcentré, ne constitue pas en une différence fondamentale dans le risque encouru.

Evidemment, une démarche axée sur la potentialité exige une approche globale du bassin torrentiel mais **ne peut s'exonérer d'études fines et à grande échelle**, de reconnaissance, d'interprétation, de quantification et de suivis, réalisés *in situ.* D'ailleurs, par des biais différents mais complémentaires, des études axées sur les prédispositions des torrents ont été récemment employées en France, avec des résultats probants et prometteurs (Veyrat-Charvillon, 2005 ; Remaître, 2006), même si elle demeurent spécifiquement adaptées aux cas étudiés.

En Guisane, des études récentes ont également été réalisées en employant, sans la nommer directement, cette notion de potentialité (Lahousse et Salvador, 1998a et 2002). Par exemple, concernant le torrent du Verdarel [Id. 32], et suite à une expertise géomorphologique régulière et à une somme considérable de mesures faites sur le terrain, il a été déterminé que ce torrent était potentiellement capable de mobiliser plus de 60 000 m^3 au cours d'un seul évènement (Lahousse et Salvador, 2002). Ce à quoi, grâce aux mesures topométriques que nous avons réalisées au lendemain de la crue du 01 septembre 2005, il est possible d'additionner au moins 10 000 à 15 000m3 provenant directement du chenal principal.. Or, les modélisations *(SOGREAH, 1997)* et les ouvrages de protection réalisés à l'apex du cône de déjection ont été calibrés pour contenir un volume maximal de 40 à 50 000 m^3 ; c'est-à-dire le volume mobilisé lors de la lave torrentielle du 09 juillet 1981, prise comme référence.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

Nous n'avons évidemment pas pu réaliser de telles études sur l'ensemble des torrents de Serre-Chevalier mais il a été possible, à partir de notre analyse des bassins torrentiels, des études ciblées, et de la description détaillée des évènements récents *(notamment les estimations des volumes déposés- archives RTM 05)* d'établir **des degrés de potentialité** que la figure n° retranscrit sous forme cartographique :

- Potentialité faible : 0 à 5000 m^3
- Potentialité moyenne : 5000 à 20 000 m^3
- Potentialité forte : plus de 20 000 m^3

Cette proposition ne relève évidemment que d'une première démarche qu'il conviendrait de compléter et d'affiner très largement par de nouvelles recherches à grande échelle dans les bassins torrentiels.

Pour cette évaluation de la potentialité des torrents guisanais, 5 grands paramètres ont été choisis [Cf. Tableau 23] **:**

- Les données et mesures de terrain.
- Analyse sous SIG de différentes données "indirectes" : photo-interprétation de la BDAlti IGN, étude de la carte géomorphologique de la vallée au 1/5000^{ième} (Lahousse, 1994), bases "morphométrie" et "hydrographie" du SIRTOS.
- L'enquête historique sur les crues torrentielles en Guisane.
- La présence ou non d'une correction active qui influence sensiblement l'aléa torrentiel.
- L'existence d'une contrainte structurale pouvant conditionner l'occurrence et l'intensité de l'aléa torrentiel.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

PROTOCOLE PROVISOIRE POUR L'ÉVALUATION DE LA "POTENTIALITÉ" DES TORRENTS GUISANAIS.

[A]: Reconnaissances et données de terrains. Etat de charge des lits torrentiels et état d'instabilité berges. Ces estimations sont basées soit sur des données de terrains, soit sur des données provenant de la littératures scientifique. Pour certains torrents de la haute vallée, cette estimation demeure essentiellement empirique et devra à l'avenir faire l'objet de mesures in situ. 1=Faible; 2= Moyen; 3 = Fort.

[B]: Analyse sous SIG: Photointerprétation, carte géomorphologique (Lahousse, 1994), Morphométrie.
"Buffer" d'un rayon de 30 mètres le long des cheneaux principaux. Etablissement du rapport entre la surface totale étudiée et les surfaces instables (%). **1**= <25% ; **2** = [25-50%[; **3** = + de 50%.

[C]: Enquête historique:

- Pas d'évènement recensés = -1
- de [1-5[évènements = 1
- de [5-10[évènements = 2
- de [10-15[évènements = 3

[D]: Correction torrentielle active:

- oui* = -2
- non = 0

**ayant un impact significatif sur l'aléa.*

[E]: Paramètres structuraux agissant sur la dynamique torrentielle

- Forte contrainte structurale *(pente, rupture de pente, etc.)* = -2
- Pas de contrainte structurale sur la torrentialité = 1

Potentialité:
[0-2[= Faible.
[2-4[= Faible à moyenne.
[4-6[= Moyenne.
[6-8[= Moyenne à forte.
+ de 8 = Forte

ID	Toponymie	Reconnaissance de terrain [A]	Photointerprétation, carte géomorphologique et analyse sous SIG [B]	Archives [C]	Correction torrentielle active [D]	Contrainte structurale [E]	Total	Potentialité
1	T. de Roche Noire	2	1	-1	0	-2	0	faible
2	T. du Galibier	3	2	-1	0	1	5	moyenne
3	T. du Rif Blanc	3	3	1	0	1	5	moyenne
4	T. des Vallois	2	2	1	0	1	6	moyenne à forte
5	T. de la Liche	2	2	-1	0	1	4	moyenne
6	T. de l'Etret	2	2	1	-2	1	4	moyenne
7	T. du Haut Etret	2	2	1	-2	1	4	moyenne
8	T. du Rif	2	1	1	0	-2	2	Faible à moyenne
9	T. du Rif Lanterne	1	1	1	0	1	4	moyenne
10	T. du Pervou	1	1	-1	0	1	2	Faible à moyenne
11	T. des Chenaudes	1	1	-1	0	1	2	Faible à moyenne
12	T. de Chardoussier	2	1	-1	0	1	3	Faible à moyenne
13	T. du Petit Tabuc	2	2	-1	0	-2	1	Faible à moyenne
14	T. la Pisse	1	1	1	0	1	4	moyenne
15	T. de Saint-Joseph	3	3	3	-2	1	8	Forte
16	T. du Grand Tabuc	2	2	2	0	1	7	moyenne à forte
17	T. de Corvaria	1	1	1	0	1	4	moyenne
18	T. de la Moulette	2	2	1	0	-2	3	Faible à moyenne
19	T. du Merdarel	3	3	1	0	1	8	Forte
20	T. de Chanteloube	2	3	1	0	1	7	moyenne à forte
21	T. de la Grande Chalance	1	1	-1	0	1	2	Faible à moyenne
22	T. du Gros Rif	2	1	-1	0	1	3	Faible à moyenne
23	T. de Roche Noire	2	1	-1	0	1	3	Faible à moyenne
24	T. du Bez	3	3	1	0	1	8	Forte
25	T. de la Pisse	1	1	-1	0	1	2	Faible à moyenne
26	T. des Ecoutes	1	1	1	0	-2	1	faible
27	T. de la Salle	3	3	3	-2	1	8	Forte
28	T. du Chirouze	2	2	2	0	1	7	moyenne à forte
29	T. du Riou Blanc	1	1	-1	0	1	2	Faible à moyenne
30	T. du Saint-Bernard	1	1	2	0	1	5	moyenne
31	T. du Peytavin	1	1	1	0	1	4	moyenne
32	T. du Verdarel	3	3	3	-2	1	8	Forte
33	T. Carles	1	1	-1	0	1	2	Faible à moyenne
34	T. de Sainte-Elisabeth	2	3	3	-2	1	7	moyenne à forte
35	T. de Réguinier	2	3	-1	0	-2	2	Faible à moyenne
36	T. de l'Adoux.	1	1	-1	0	-2	0	faible

L. Thénard - 2009.

TABLEAU XXIII: PROTOCOLE PROVISOIRE POUR L'EVALUATION DE LA POTENTIALITE DES TORRENTS GUISANAIS.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Cette première spatialisation de la potentialité démontre à l'évidence que **les torrents disposant des plus fortes capacités mobilisatrices** en un seul évènement **se concentrent en moyenne et basse vallée**, et la grande majorité appartient au morphotype B des torrents composites. Sans véritable surprise, mais cette fois sur des bases scientifiques, les torrents de **Merdarel** [Id. 19], du **Bez** [Id. 24], de la **Salle** [Id. 27], et du **Verdarel** [Id. 32] se démarquent nettement par leur forte potentialité. A noter que nous avons choisi d'appliquer un fort degré de potentialité au torrent de **Saint-Joseph** [Id. 15] non pas tant par les caractéristiques de sa dynamique torrentielle contemporaine *(aucune crue dommageable recensée depuis 1880)* que par les prédispositions géomorphologiques de son bassin versant à déclencher des mouvements de terrain massifs **[Cf. figure 87]**. D'ailleurs, l'évènement du 28 octobre 2004 *(glissement en rive droite dans des formations morainiques quaternaires)* rappelle cette prédisposition particulière et l'éventualité d'évènements bien plus conséquents *(volumes et intensité)*.

A terme, et même si un certain nombre d'investigations ont été réalisées dans ce sens, mon objectif est de créer **un indice de potentialité** couplant des paramètres morphométriques et dynamiques, qu'il serait possible de compléter et/ou d'actualiser par son intégration sous SIG, la base "morphométrie" étant un des socles de cette entreprise. L'ensemble de ce travail relève d'ailleurs de cette première démarche de réunion et d'organisation d'une vaste base de données spatialisées tant sur l'aléa torrentiel que sur la vulnérabilité.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

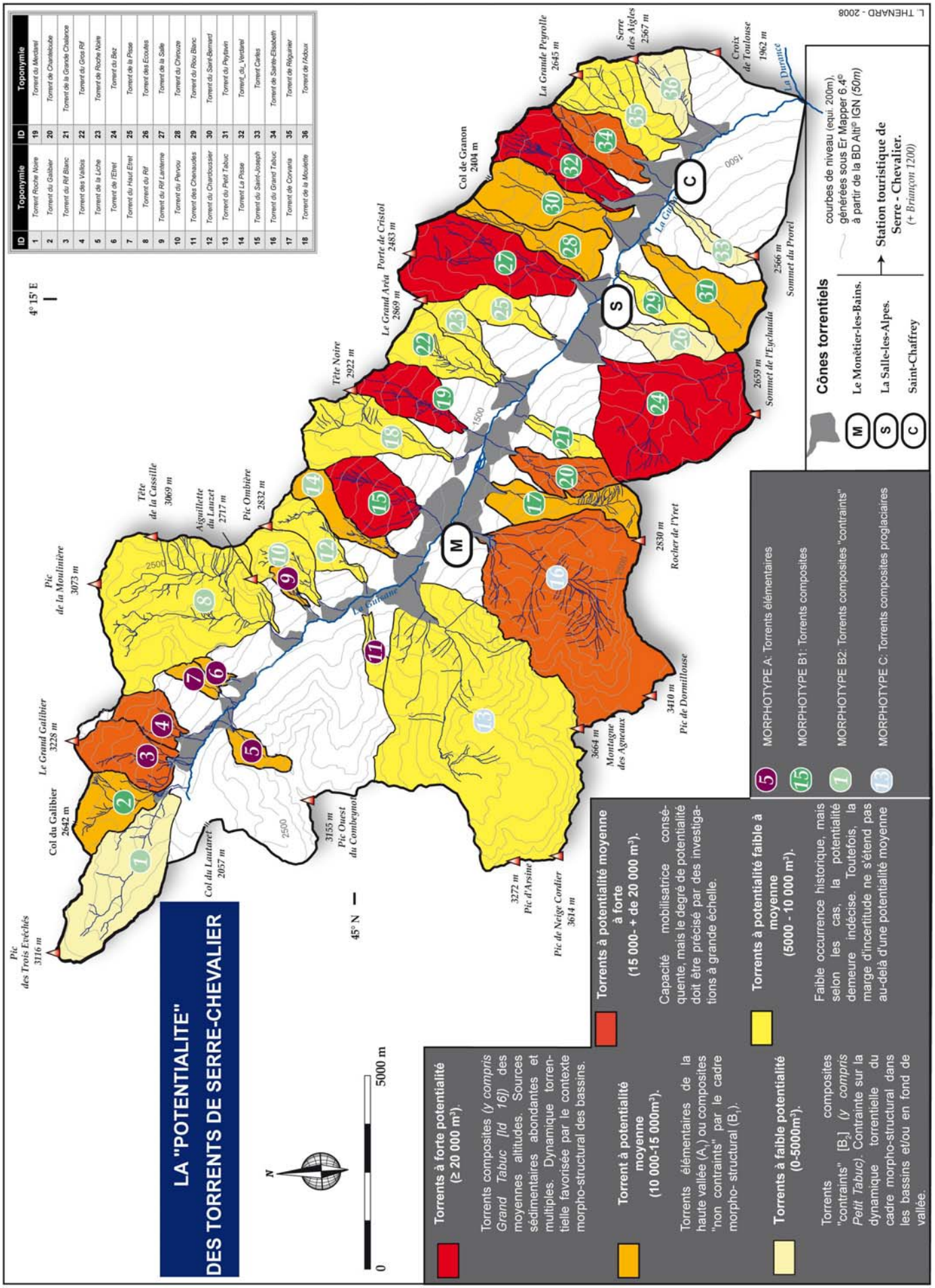
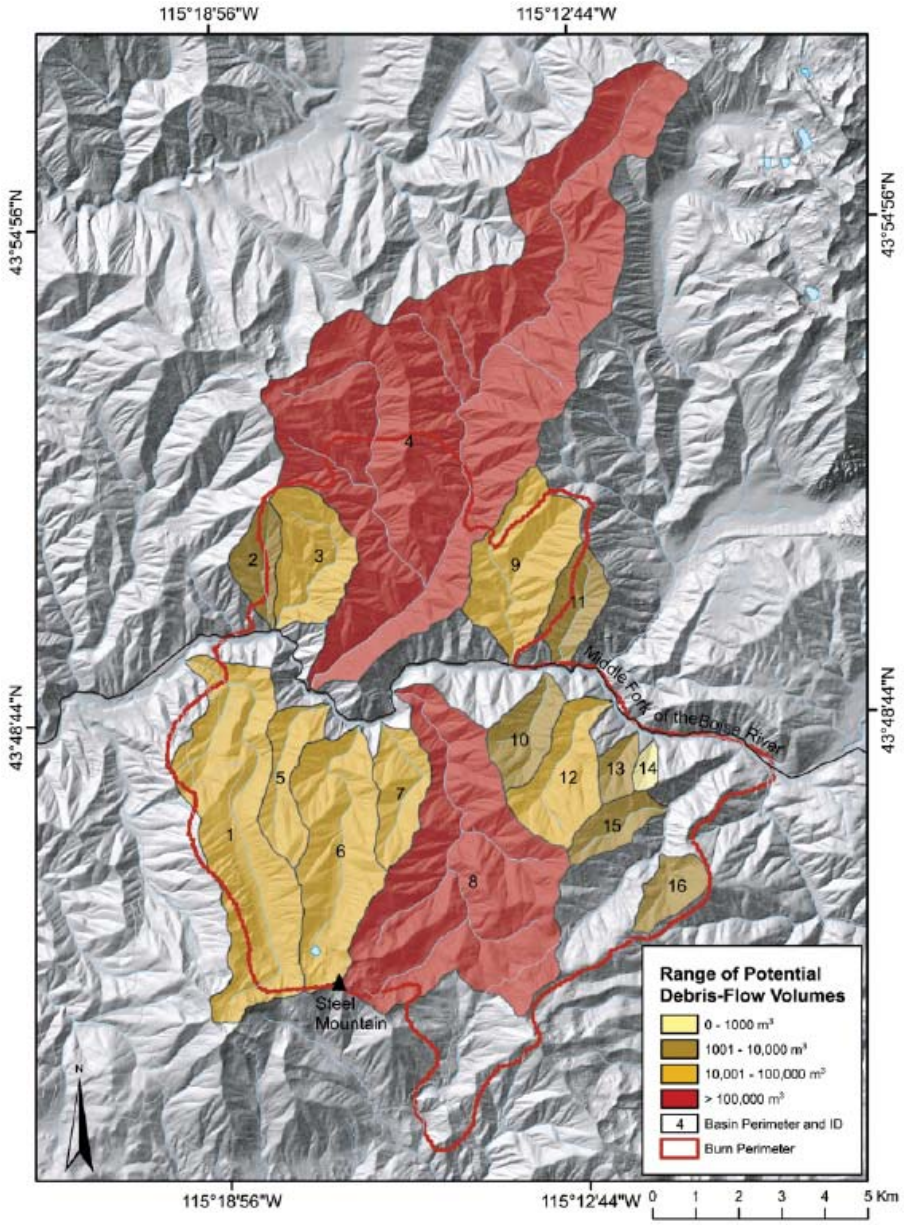


Figure 87: Cartographie de la "potentialité" de l'aléa torrentiel à Serre-Chevalier.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr



D'ailleurs et dans le même esprit, des recherches actuelles menées dans l'ouest des Etats-Unis tentent de créer **des modèles empiriques afin d'estimer le volume potentiel de laves torrentielles** dans des bassins versants ayant été récemment affectés par des incendies de forêt (Gartner et al, 2008) **[Cf. figure 88]**.

Les évènements de faible occurrence et de forte intensité sont évidemment les plus dommageables ; avérés ou potentiels *(sans précédents historiques connus)*, leur évaluation précise garantirait sans aucun doute à moyen et long terme, une plus grande efficience de la prévention et surtout une gestion plus durable de l'aléa et du risque torrentiel.

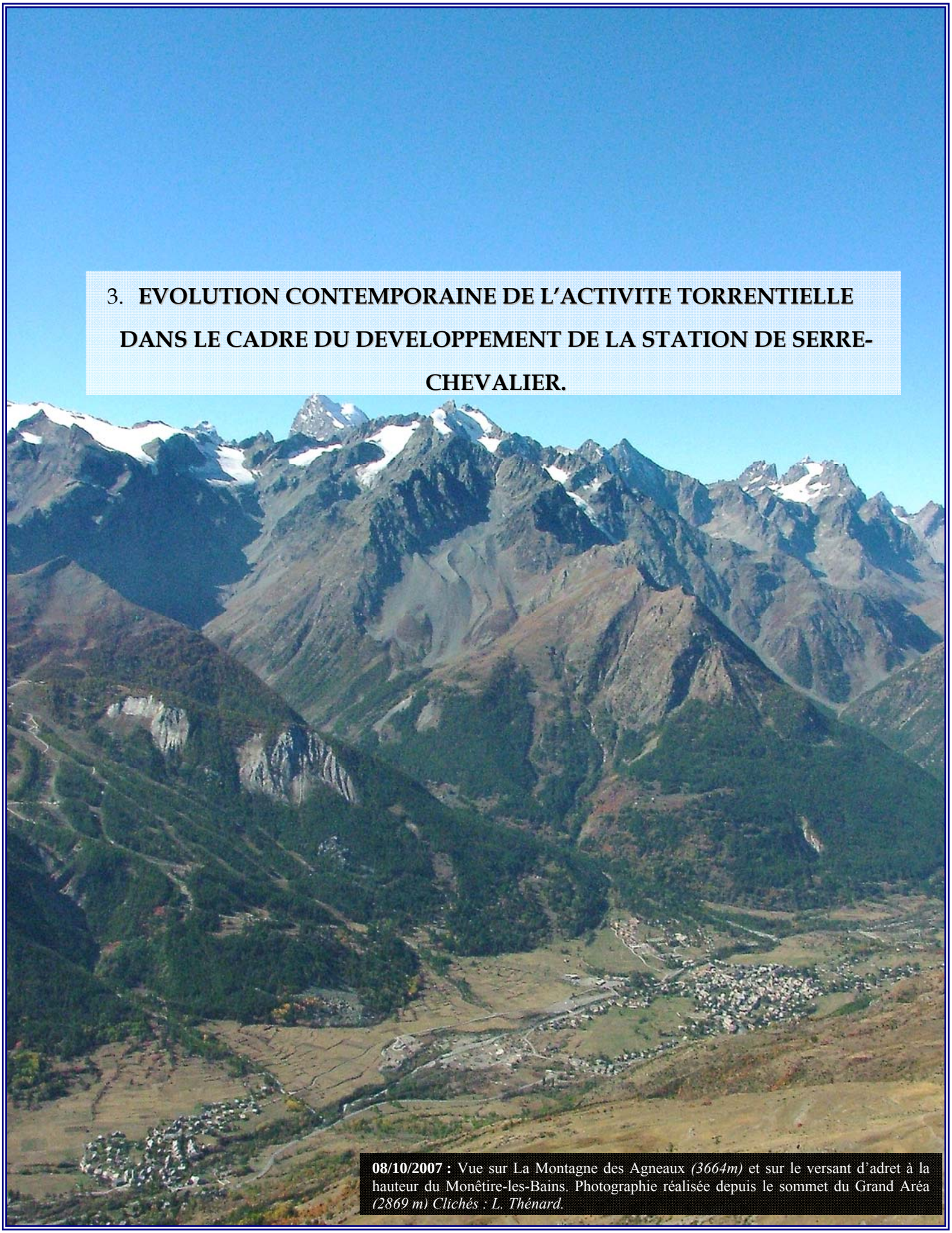
Figure 88: Example of a debris flow hazard map for an area near Boise, Idaho, taht indicates potential volumes for debris flows geberated by burned b aisns in response to 10 mm of rainfall.

Source: Gartner et al, 2008.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

3. EVOLUTION CONTEMPORAINE DE L'ACTIVITE TORRENTIELLE DANS LE CADRE DU DEVELOPPEMENT DE LA STATION DE SERRE-CHEVALIER.



08/10/2007 : Vue sur La Montagne des Agneaux *(3664m)* et sur le versant d'adret à la hauteur du Monêtire-les-Bains. Photographie réalisée depuis le sommet du Grand Aréa *(2869 m) Clichés : L. Thénard.*

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

> *« […] abusant des richesses naturelles de leurs montagnes, par un pâturage excessif de leurs nombreux troupeaux, les habitants sont parvenus à déboiser presque entièrement tous les versants de la rive gauche, et sur un grand nombre de points du bassin, le sol mis à nu n'est plus protégé par le gazonnement contre la force destructrice des eaux et autres agents atmosphériques si énergiques dans ces hautes régions. Les conséquences inévitables de cette fatale imprudence ne se sont pas faites attendre… A la suite des débordements de 1846 et 1856, de grandes étendues autrefois de riches cultures ont été transformées en plaine de graviers… La route impériale est menacée… et la Guisane est toute encombrée de nouveaux matériaux… »*
>
> **Délibération municipale à Saint-Chaffrey en 1862. Source : Moyrand-Gattefossé 1982.**

Les réflexions du chapitre précédent, aboutissant à une typologie fonctionnelle des torrents de la Guisane et à la définition de leur potentialité, nous amène désormais à intégrer des analyses portant sur l'ajustement des morphodynamiques contemporaines à l'évolution des paramètres environnementaux *(climat, végétalisation, interventions anthropiques, etc)*. Leurs conséquences cyndiniques récentes et actuelles seront plus largement évoquées dans la quatrième partie de l'étude. Cela afin d'atteindre notre objectif initial d'une contribution au diagnostic et à la gestion du risque torrentiel dans cette vallée. Il s'agit effectivement de positionner notre analyse sur le risque torrentiel, à l'interface des implantations ou des activités humaines et de leur exposition à l'aléa.

Les **ajustements** dynamiques des torrents depuis la sortie de la crise morphoclimatique du *Petit Âge Glaciaire (PAG*) seront étudiés dans un premier temps. En lien avec la diversité des torrents mis en avant précédemment, nous verrons effectivement qu'il existe en Guisane différents modes d'ajustement dynamique. Nous nous attacherons par quelques exemples à mieux cerner les grands traits de cette évolution à l'échelle contemporaine et ces conséquences en terme d'aléa et de risque. Aussi, nous verrons que **la reconversion socio-économique de la vallée de la Guisane vers la station de Serre-Chevalier** s'est traduite par une vulnérabilité croissante vis-à-vis de l'aléa torrentiel, et comment d'une menace hypothétique ou latente, le risque torrentiel est devenu un fait avéré.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

3.1. CONSIDERATIONS GENERALES.

Dans le massif alpin, le PAG a été marqué par une avancée conséquente de la plupart des glaciers **(Cf. figure 89)**, par une plus grande efficacité des processus périglaciaires et, au final, par une forte augmentation des apports sédimentaires dans les torrents et les rivières.



Figure 89 : 08/10/2007 - Moraines "historiques" (PAG) du glacier des Prés-les-Fonts. Cliché : L. Thénard.

Même si les connaissances restent partielles, il ne fait aujourd'hui plus de doute que cette péjoration climatique s'est traduite dans les rivières et les torrents par un élargissement et un exhaussement des bandes actives torrentielles. S'étendant de la fin du Moyen-Âge et sur toute l'époque moderne, cette évolution morphodynamique des rivières alpines a été d'ailleurs qualifiée de véritable *métamorphose* (Bravard, 1989).

Mais déjà le rôle de l'Homme durant cette période est considérée comme particulièrement prépondérant puisque, par exemple dans bien des vallées, les défrichements opérés sur les versants ont accentué les processus érosifs, et exacerbé les dynamiques torrentielles.

Globalement, la période contemporaine *(1850-aujourd'hui)* se caractérise par un climat moins contrasté, exprimant une augmentation progressive des températures moyennes *(réchauffement manifestement accéléré et accentué au cours des dernières décennies par les activités humaines)*. Parallèlement, ou peut-être pour partie en conséquence, cette évolution climatique s'est accompagnée de changements profonds dans l'utilisation du sol et plus généralement du milieu montagnard. Par exemple à la fin du Petit Âge glaciaire, suite à une recrudescence de crues catastrophiques *(notamment celles de 1856)* dont la répétition, l'ampleur et l'intensité furent en partie attribuées aux défrichements des versants, il a été décidé par les autorités étatiques, représentées sur le terrain par les services forestiers, de lancer un vaste programme de reboisement des terrains en montagne *(loi du 28 juillet 1860)*.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Mais, loin de faire l'unanimité, car considérée comme une contrainte supplémentaire par les éleveurs et perçue par les populations locales comme une dépossession arbitraire, cette loi sera finalement abrogée en 1874. Il faudra attendre 1882, pour qu'une nouvelle loi institue la restauration des terrains en montagne, et les "périmètres RTM". (De Crecy, 1988). A cette date, le service de Restauration des Terrains en Montagne *(R.T.M)* était fondé. Jusqu'à la veille de la première guerre mondiale de nombreux bassins torrentiels ont été mis en protection et ont fait l'objet de reboisements ou de programmes de correction active des lits torrentiels.

Par ailleurs, ces actions se sont accompagnées d'un recul progressif des pratiques agro-pastorales, de l'abandon d'un grand nombre de terres cultivées. Souvent, les activités et les infrastructures se sont concentrées en fond de vallée, réduisant alors la pression sur les versants. Conjugués à une rigueur moins prononcée du climat, de nombreux secteurs ont vu s'opérer une colonisation végétale spontanée. Celle-ci se poursuit toujours sur certains versants, des tabliers d'éboulis, d'anciennes marges périglaciaires **[Cf. figure 90]**, ou même sur les cônes de déjection torrentiels sous forme de ripisylve.

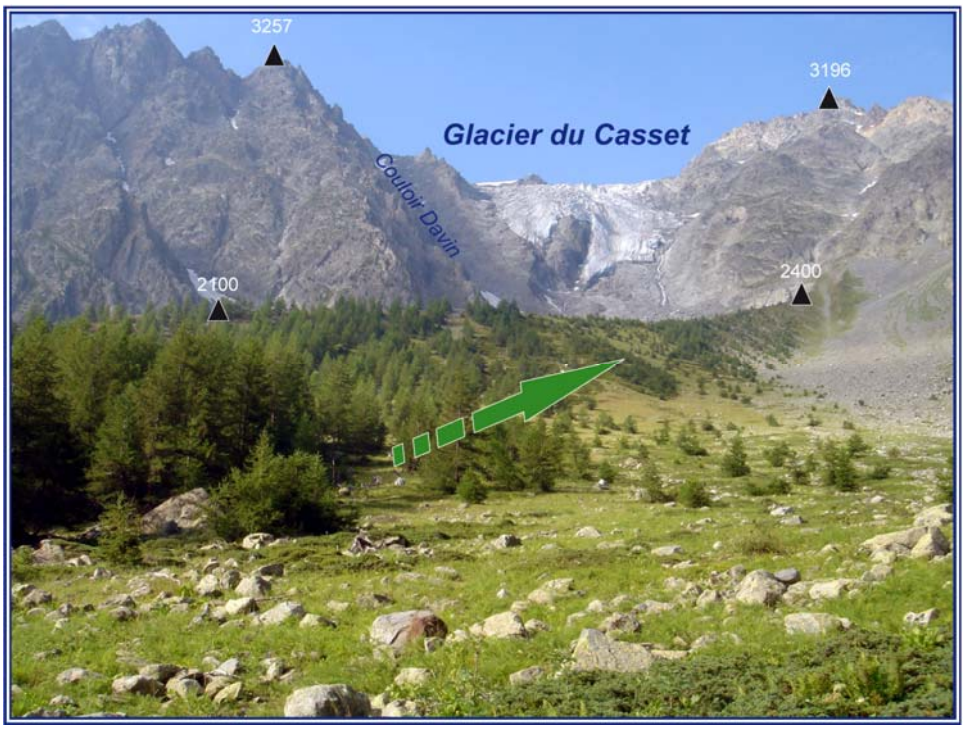


Figure 90: 21/07/2006. Végétalisation "progressive" de la moraine PAG du glacier du Casset.
Cliché : L.Thénard.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Les interventions anthropiques sur les versants, s'effectuent généralement de manière pragmatique pour répondre un besoin social ou économique *(défrichement pour aménagements ou cultures, et reboisement pour lutter contre l'érosion par exemple)*. Dans les bassins torrentiels, ces changements dans l'exploitation du milieu naturel *(ex : correction RTM des lits torrentiels)* impliquent des évolutions morphodynamiques parfois importantes, à intégrer dans toute expertise de l'aléa et du risque.

Dans les Alpes du nord, il a ainsi été démontré que durant la période contemporaine les extractions de granulats, les barrages, les endiguements, ou le reboisement des bassins versants des torrents et des rivières avait eu pour conséquence la quasi disparition du tressage des rivières et une incision généralisée des lits torrentiels *[ex :gêne ou arrêt du transit sédimentaire = abaissement local du niveau de base = érosion régressive]* (Bravard et Peiry, 1993 ; Peiry *et al.*, 1994 ; Bravard *et al.*, 1997 ; Landon et Piegay, 1999 ; Bravard *et al.,* 1999 ; Liébault et Piegay, 2002 ; Piegay *et al.*, 2004).

On l'aura donc compris, la part des facteurs naturels et anthropiques dans l'évolution des dynamiques torrentielles demeure délicate à déterminer, en particulier lorsque les documents d'archives font défaut ou que les témoignages morphologiques ont été largement perturbés ou effacés *(aménagements)*. **D'autant que le synchronisme de l'évolution des dynamiques torrentielles et des activités ou des aménagements humains rend parfois ce "décryptage" complexe, et qu'il n'existe pas de modèle d'évolution unique.**

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

3.2. RESULTATS ET ENSEIGNEMENTS DE L'ENQUETE HISTORIQUE.

Un des biais les plus représentatifs et fréquemment employé pour apprécier l'évolution de cette relation "torrent-société" est probablement **le recensement historique des crues torrentielles**. En préambule de ce chapitre, il nous paraissait donc indispensable de revenir sur les résultats et les enseignements de l'enquête historique en Guisane.

Au cours des dernières années, plusieurs recherches ont porté sur le recensement historique des crues torrentielles en montagne (Warner, 2000 ; Carrara *et al.*, 2003 ; Tropeano et Turconi, 2004 ; Decaulne, 2005 ; Payrastre *et al.*, 2006). Dernièrement, de telles recherches ont été effectuées à propos de l'activité torrentielle dans les Hautes-Alpes. Elles ont ainsi permis d'enrichir considérablement la base de données "évènements" du service RTM des Hautes-Alpes (Gambier *et al*, 1991, Fanthou, 1994 ; Baraille, 2001 ; Blanchard *et al*, 2006).

Dans la vallée de la Guisane, des analyses relativement récentes sur les apports et les limites de l'enquête historique nous ont permis de disposer d'une base de données très complète (Lahousse, 1994 et 1997). Nos investigations personnelles *(RTM-archives municipales, archives départementales des Hautes-Alpes, etc.)* ont ensuite permis de d'actualiser cette base.

Ces dernières recherches ont bien démontré que l'intérêt principal de l'enquête historique réside probablement plus dans les informations que l'on peut en extraire que dans sa réelle représentativité de l'activité torrentielle. Et généralement, cela se vérifie d'autant plus que l'échelle de temps considérée est importante. Cette réflexion ne s'applique évidemment qu'au strict recensement des crues torrentielles car, par exemple, l'apport des documents iconographiques *(photographies et cartes anciennes, aquarelles, etc.)* est important pour évaluer les évolutions environnementales contemporaines.

Malgré ces réserves, le recensement historique et son analyse demeurent incontournables pour qui veut étudier, appréhender et *"préciser les interactions entre le fonctionnement du milieu naturel et la société humaine"* (Lahousse, 1997).

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Il ressort de toutes ces études dans les Hautes-Alpes, et plus encore dans le Briançonnais, **que les crues torrentielles sont de très loin l'aléa le plus fréquemment recensé.** Sur tous les aléas naturels retrouvés en archives *(avalanches, chutes de blocs, incendies, écroulement, mouvement de terrain, etc.)*, **les crues torrentielles représentent en effet plus des ¾ des évènements recensés !** Et cela tient certainement au fait que les torrents épandent généralement leur énergie et leur charge sédimentaire dans des fonds de vallée densément urbanisés, où donc les dégâts occasionnés sont les plus importants. La prépondérance des crues torrentielles dans les archives provient certes du nombre considérable de torrents dans ce département et à la forte occurrence de l'aléa torrentiel, mais aussi à leur caractère dommageable.

D'ailleurs, les communes de la Guisane ressortent assez nettement dans l'enquête historique. Le village de **Saint-Chaffrey** se démarque même franchement car, avec 57 crues recensées en 2001 *(tout comme la commune de Pelvoux)*, il se place en tête des communes les plus fréquemment touchées par les crues torrentielles (Baraille, 2001). D'après nos recherches, et même si certaines ont été plus morphogènes que dommageables dans la période récente, le nombre de crues recensées pour cette seule commune depuis 1394 s'établie désormais à **60**, ce qui représente tout de même 43% des crues torrentielles recensées en Guisane. Viennent ensuite la commune du **Monêtier-les Bains** qui suit de près avec 51 crues, et **la Salle-les-Alpes** avec "seulement" 28 crues sur la même période (1394-2008).

Au final, le nombre total de crues recensées dans la vallée de la Guisane à **139 *(rivière et torrents)*, dont 114 directement imputables aux torrents** *(soit 82% du total!).*

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Si à l'évidence les communes de la Guisane ont toujours été particulièrement exposées à l'aléa torrentiel, l'observation de la distribution annuelle des crues torrentielles depuis la fin du 14ième siècle **[Cf. figure 91]** jusqu'aujourd'hui, montre **une discontinuité majeure entre 1450 et la premier quart du 18ième siècle** *(1725)*.

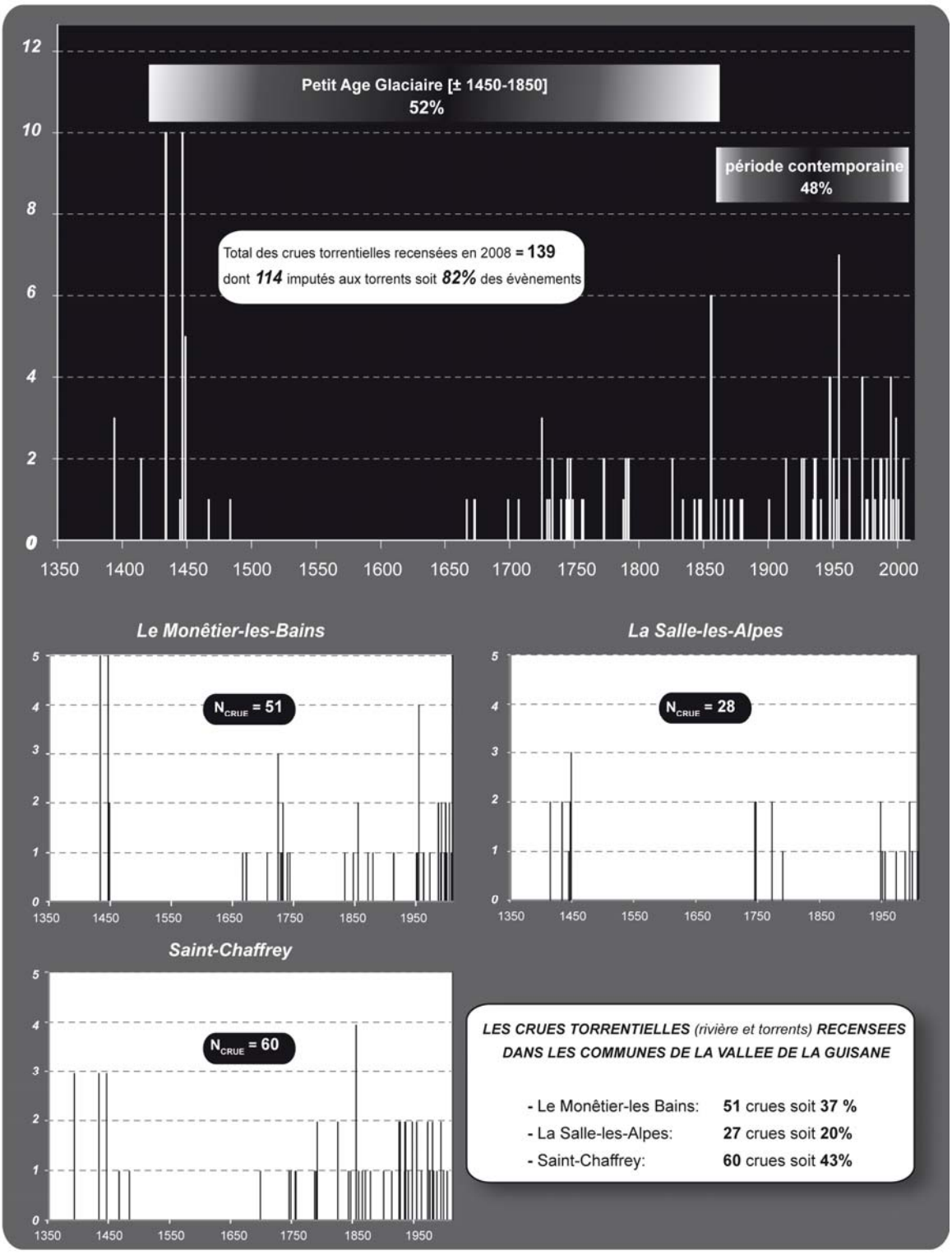


Figure 91: Le recensement des crues historiques comme témoin de l'évolution de la relation "torrent-société" .

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Dans cet intervalle de près de 3 siècles, seules 10 crues torrentielles ont été répertoriées dans les archives, soit environ 7% de l'ensemble de la distribution. Cette quasi absence de références se retrouve d'ailleurs logiquement et tout aussi nettement dans l'inventaire des crues par commune **[Cf. figure 91]**. Or, cette période couvre presque entièrement le Petit Âge Glaciaire reconnu pour avoir été également le *"Petit Age de la Torrentialité"*! (Bravard, 2000 cité par Liébault, 2003). **Au paroxysme de la péjoration climatique du PAG, et à moins d'admettre une inconcevable annihilation des dynamiques torrentielles, ce hiatus statistique s'apparente manifestement à un défaut de conservation des documents d'archives (Lahousse, 1997) au cours d'une période historiquement "agitée" et marquée par les guerres, les incendies, les épidémies et les famines [Cf. figure 92].**

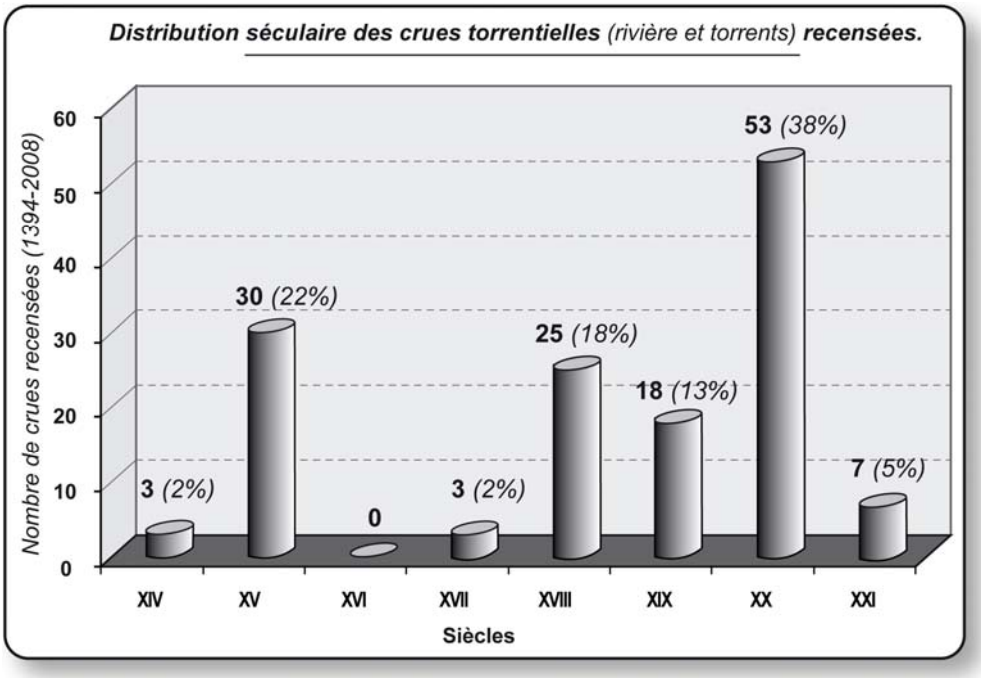


Figure 92: Distribution séculaire des crues torrentielles en Guisane (rivière et torrents) Période : 1394-2008..

A titre de comparaison, entre le dernier quart du 14ième siècle et à la première moitié du 15ième, il a été recensé 31 crues *(soit 22% du total)*, dont deux évènements majeurs, datés de 1434 et 1447, auraient impliqué au moins dix torrents de la vallée. Dans le même esprit, la période contemporaine *(1850-2008)* rassemble **66** évènements, donc près de la moitié *(48%)* des crues totales recensées sur un pas de temps inférieur de moitié à la période précitée. **Sur la période contemporaine et en Guisane, le temps de retour moyen d'une crue torrentielle *(rivière et torrents)* s'établie donc à environ 2,4 années.**

Plus encore, la **période 1950-2008** rassemble à elle seule près du tiers *(31%)* des crues totales recensées, soit 43 évènements. Cette phase d'apparente recrudescence des crues torrentielles coïncide justement avec la création et le développement de la station touristique de Serre-Chevalier et de ses infrastructures.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Dès lors, et à l'évidence, l'exhaustivité du recensement historique apparaît bien utopique sur l'ensemble de la période considérée. Néanmoins, on peut le considérer d'une plus grande fiabilité pour les crues dommageables à partir de 1850 et la création du Service RTM[98]. D'autre part, et au moins pour la période contemporaine, le recensement des crues s'avère être manifestement plus représentatif de l'évolution des relations entre les torrents et la société, qu'un marqueur fiable de la dynamique torrentielle.

Cette dernière assertion se révèle d'autant plus criante lorsque l'on s'intéresse **au dénombrement des crues par torrent.**

Une nouvelle fois, sur les 114 crues des torrents de la Guisane recensées depuis 1394, plus de la moitié *(52%)* sont survenus au cours de la période contemporaine. Ce qui évidemment rejoint les réserves avancées précédemment. Logiquement, et au regard du dénombrement, la relation la plus étroite et la plus manifeste entre les torrents et les hommes, est sans aucun doute **le lien de proximité**, qui, nous le verrons, a considérablement évoluée au cours des six dernières décennies.

Pour s'en convaincre, nous avons effectué une cartographie conjointe de l'aléa torrentiel recensé en Guisane et de l'emprise urbaine actuelle sur les cônes de déjection **[Cf. figure 93]**. A l'évidence, ce lien de proximité s'affirme franchement puisqu'il ressort que les **crues les plus répertoriées** se localisent sur les cônes de déjection où sont implantés **les noyaux villageois historiques** (Lahousse, 1997):

- le Monêtier-les-Bains installé au moins depuis l'époque romaine dans la zone distale et méridionale de son cône.
- le village historique de La Salle-les-Alpes localisé en rive droite à l'apex du cône du torrent de la Salle.
- le Villard-Laté, en rive gauche du torrent de Saint-Bernard, implanté à l'apex du cône.
- et le village de Saint-Chaffrey, depuis toujours situé sur le cône du torrent de Sainte-Elisabeth, à proximité immédiate du chenal torrentiel[99].

Ainsi les torrents du Saint-Joseph, de la Salle, du Verdarel et de Sainte-Elisabeth apparaissent, sur l'unique base de l'enquête historique, comme les plus redoutables de la vallée. **A eux seuls, ces 5 torrents totalisent 67 évènements, soit près de 60% de la distribution considérée !**

[98] Les archives de ce service, actualisées en permanence, restent une source d'informations précieuse et capitale pour tout travail de recherche sur les aléas et les risques naturels en montagne

[99] Au 19ième siècle jusqu'à la première moitié du 20ième, les différentes activités artisanales et industrielles animant Saint-Chaffrey *(moulin, four, tannerie, clouterie, forge, scierie, lavoir, etc.)*, justifiaient une telle proximité avec le torrent de Sainte-Elisabeth (Moyrant-Gattefossé, 1982). Ce dernier assurait, grâce à un aquifère favorable *(gypse, série calcareo-dolomitique)*, un écoulement permanent indispensable à la vie et aux activités villageoises de l'époque.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

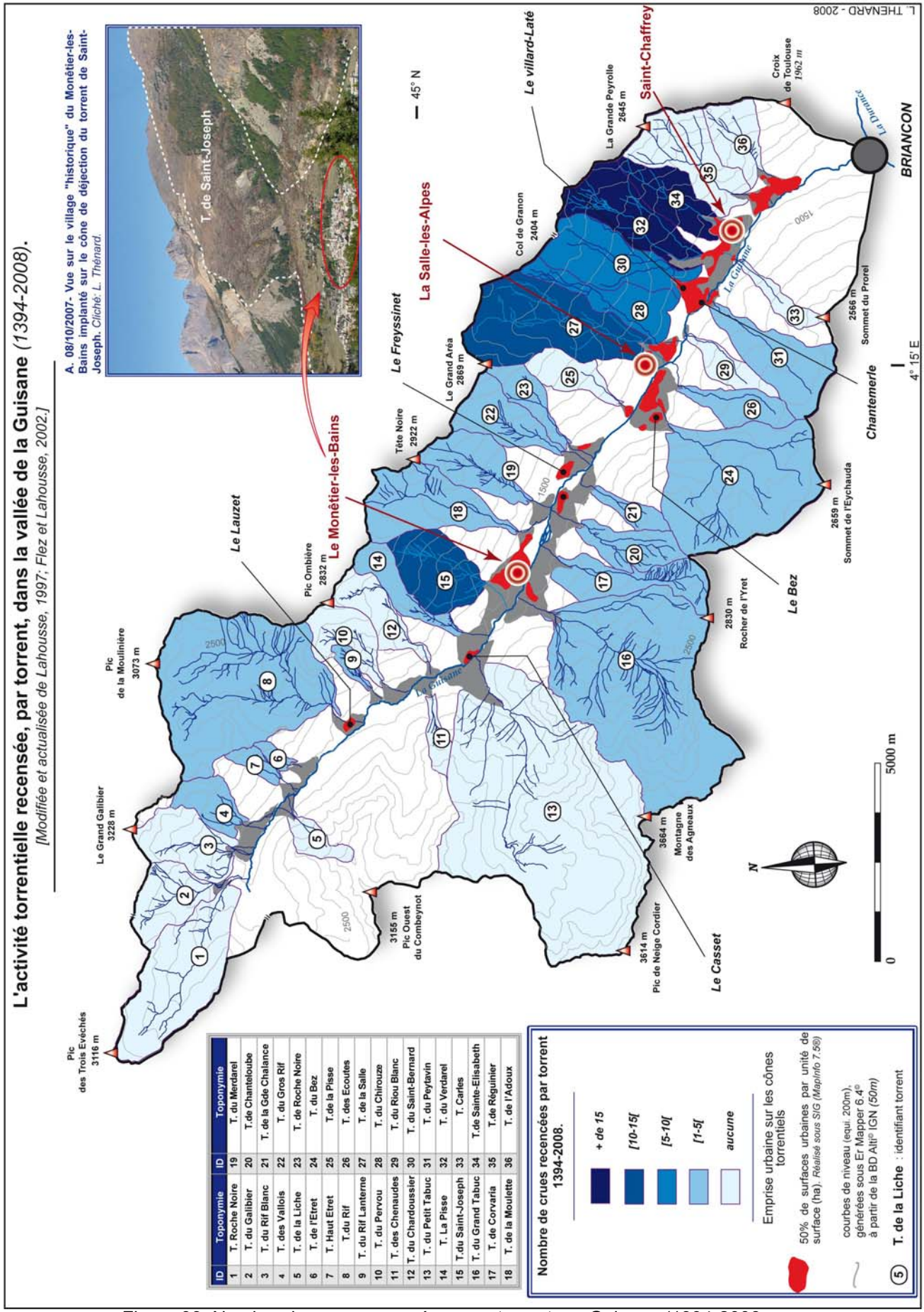


Figure 93: Nombre de crues recensées , par torrent, en Guisane (1394-2008*)*

Modifiée et actualisée de Lahousse, 1997 ; Flez et Lahousse, 2002.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Les torrents du Verdarel et de Sainte-Elisabeth rassemblent le plus grand nombre de références en archive avec respectivement 20 et 22 crues recensées.

Si la proximité du village de Saint-Chaffrey avec le torrent de Sainte-Elisabeth s'exprime par la récurrence du référencement des crues en archive, le nombre de crues recensées **pour le Verdarel** est quant à lui plus remarquable, même si sa proximité géographique avec le village l'explique probablement en partie. En effet, jusque dans les années 1950, ce torrent était presque dépourvu de tout aménagement anthropique, en dehors de quelques terres agricoles (Flez et Lahousse, 2002 et 2004). Jusqu'à cette période, l'aléa torrentiel ne devait être qu'assez peu dommageable. Le nombre conséquent de crues mentionnées en archive pour ce torrent indique une dynamique active, avec des évènements paroxystiques suffisamment fréquents pour entraîner une méfiance légitime des villageois. **D'une certaine manière, et même si les évènements récents et des études scientifiques l'ont déjà confirmé, l'enquête historique tend à légitimer le diagnostic de forte potentialité mise en avant précédemment pour le Verdarel.**

Au final, il apparaît que la plupart des références antérieures à 1850, et même à la décennie 1950 *(début du développement de Serre-Chevalier)*, concerne quasi exclusivement les torrents situés à proximité immédiate des implantations humaines historiques. **Seuls certains torrents comme le Merdarel ou le Grand Tabuc ressortent du dénombrement avant 1850 car leurs crues ont manifestement marqué la mémoire collective, malgré la faiblesse ou l'inexistence d'enjeux.**

En revanche, il faut attendre 1963 pour qu'apparaisse une référence concernant **un torrent de la haute vallée** *(15/11/1963, crue du torrent du Haut-Etret)*. Or, de nombreux cônes torrentiels de cette section supérieure de la Guisane portent la marque de processus torrentiels morphogènes et récurrents *(La Liche, Rif Blanc,Vallois, Etret, Haut-Etret, etc.)*.

Dans le même esprit, la première référence dans les archives **à une crue du torrent du Bez date de mai 1973**. Depuis celles de juillet 1995 et de mai 2008 sont venues compléter cette liste. Or, en dehors du hameau du Bez implanté sur le cône de déjection depuis des siècles à distance respectable du chenal, il apparaît à l'examen des photographies aériennes qu'une grande partie de **l'urbanisation relative au développement de Serre-Chevalier 1400 *(Villeneuve-la-Salle)* s'est effectuée entre 1961 et 1971**.

L'apparente recrudescence des crues torrentielles durant la seconde partie du 20^{ième} siècle et au début du 21^{ième} n'est en réalité que le reflet du développement de Serre-Chevalier et des enjeux associés, et du lien de proximité de plus en plus étroit entre les torrents et la société ; cet élément fait d'ailleurs, en partie, de l'analyse du risque torrentiel une thématique éminemment géographique. Les résultats de l'enquête historique ne sauraient donc, à eux seuls, témoigner de la réelle évolution des dynamiques torrentielles, même contemporaine.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

3.3. VARIABILITE ET AJUSTEMENTS DES DYNAMIQUES TORRENTIELLES CONTEMPORAINES.

Le profond bouleversement économique, sociologique et culturel lié à la création et au développement de la station de Serre-Chevalier provient en grande partie d'une utilisation très différente du milieu montagnard par rapport à celle qui régissait la vallée de la Guisane depuis des siècles, essentiellement basée sur les activités agro-pastorales, minières, ou artisanales. Cela induit évidemment aujourd'hui, une perception très différente de l'environnement et des conséquences d'une plus grande exposition aux aléas naturels, et notamment les crues torrentielles.

Pour appréhender les ajustements morphodynamiques contemporains, nous avons choisi d'employer des méthodes et des outils variés *(redressement géométrique de photographies aériennes et photo-interprétation, documents iconographiques, topométrie, dendrochronologie, etc)*, qui seront adaptés en fonction des torrents et des données à disposition. Nous verrons effectivement, par cette approche essentiellement diachronique qu'il existe en Guisane différents modèles d'ajustements dynamiques en réponse à l'évolution des conditions environnementales *(bioclimatiques et anthropiques essentiellement)*. Sur les cônes de déjection notamment, cela se traduit aujourd'hui par des morphologies torrentielles très différentes en fonction du morphotype torrentiel considéré, et surtout des facteurs dominants ayant conditionné leur morphodynamique contemporaine. Et nous verrons que ces adaptations géomorphologiques ne sont manifestement pas sans conséquence sur l'évolution de la vulnérabilité et du risque torrentiel à Serre-Chevalier.

3.3.1. Les cônes torrentiels comme témoins privilégiés des dynamiques torrentielles.

A l'instar de la diversité des morphotypes torrentiels définis précédemment, les torrents de la Guisane présentent également une grande diversité dans la physionomie de leur bande active ou de leur zone d'emprise torrentielle sur leur cône de déjection. Par définition, les cônes de déjection sont des lieux de dissipation de l'énergie des crues, et généralement, des espaces particulièrement sensibles et réactifs aux variations des dynamiques torrentielles[100]. Par conséquent, ce sont des témoins morphologiques de l'activité torrentielle holocène et évidemment contemporaine.

[100] Ces dernières étant évidemment conditionnées par l'évolution des paramètres environnementaux dans le bassin versant.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr
Thèse L. Thénard, 2009 – Laboratoire TVES ; Université Lille 1- Sciences et Technologies de Lille.

L'étude des bandes actives *(au sens large)* sur les cônes permet donc bien souvent de caractériser les morphodynamiques en jeu. **Actuellement, sur les cônes torrentiels de la moyenne et de la basse vallée de la Guisane, cette lecture hydro-géomorphologique devient de plus en plus difficile en raison du degré d'anthropisation** *(perturbation ou effacement des terrasses ou des bourrelets de lave par exemple, endiguements, etc.)*. Le couplage de l'analyse diachronique des photographies aériennes ou de documents iconographiques avec les informations extraites de l'enquête historique permet généralement de reconstituer, au moins partiellement, les grandes tendances morphodynamiques contemporaines.

Globalement, l'observation des bandes actives actuelles sur les cônes torrentiels en Guisane fait apparaître la même logique géographique que mise en avant lors de notre analyse des morphotypes torrentiels. Autrement dit, et **de façon très schématique**, on observe une évolution sensible dans la morphologie des lits torrentiels *(sur cône)* entre les torrents situés à l'amont de la vallée de la Guisane et ceux localisés plus à l'aval. Globalement, certains torrents de la haute vallée présentent un style divaguant que l'on ne trouve pas ou plus en aval. Les torrents de la moyenne et de la basse vallée se caractérisant plutôt par des lits incisés ou canalisés. Ainsi, et exclusivement **sur les cônes de déjection** du fond de vallée, il ressort trois grandes catégories[101] **[Cf. figure 94]**:

- les torrents divagants.
- les torrents incisés.
- les torrents chenalisés ou canalisés.

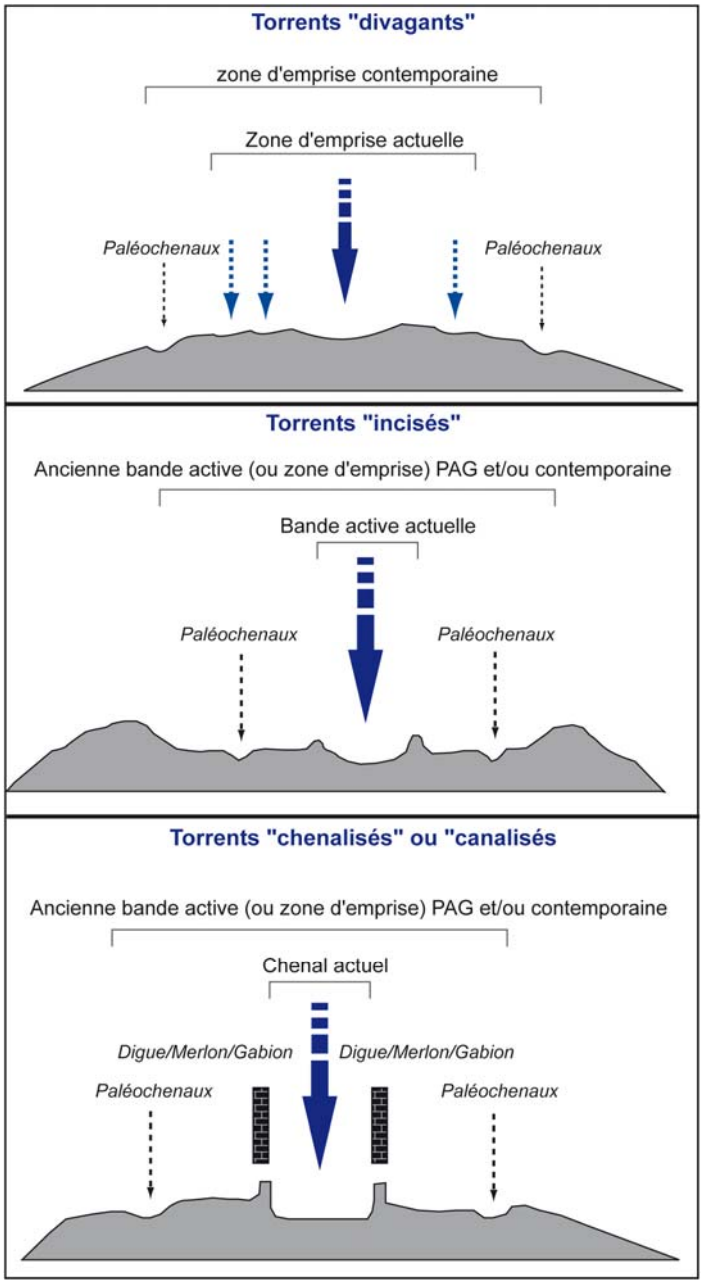


Figure 94: Croquis schématique des styles torrentiels sur les cônes de déjection de la vallée de la Guisane

Modifiée de Garitte et Thénard, 2005..

[101] La terminologie employée est ici reprise d'observations et de réflexions sensiblement similaires, invoquées pour d'autres torrents du Briançonnais (Garitte et Thénard 2005 ; Garitte, 2006).

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

3.3.2. Variations contemporaines des zones d'emprises torrentielles des torrents élémentaires de la haute vallée.

La plupart des torrents que nous avons qualifiés précédemment d'"élémentaires de la haute vallée" *(morphotype A_1)* maintiennent encore aujourd'hui **un style divaguant et multichenalisé sur leur cône de déjection**. Sans être pour autant de véritables bandes actives torrentielles au sens strict du terme, ces zones d'emprises témoignent manifestement de dynamiques aggradantes et sans aucun doute régulières.

Les cônes de déjection de la haute vallée portent, par ailleurs, la trace de dynamiques "mixtes", pour lesquelles se succèdent régulièrement avalanches et crues torrentielles. Pour ces dernières, si la fusion nivale joue un rôle fondamental dans le maintien d'une large zone d'emprise *(nombreux dépôts de "fines" entre les chenaux),* certains modelés bien individualisés, résultent de laves torrentielles *(présence de lobes frontaux secondaires et de bourrelets latéraux, dépôts hétérométriques, etc)*.

A l'heure actuelle, ces lits "divagants" ne concernent que 5 torrents, exclusivement localisés en haute vallée et confluents avec la Guisane au-delà de 1750m d'altitude : le Rif Blanc, les Vallois, la Liche, l'Etret et le Haut-Etret.

Pour exemple, et en vue d'appréhender l'évolution de leurs morphodynamiques contemporaines, nous avons choisi d'**étudier conjointement les torrents du Rif Blanc et des Vallois [Cf. figure 95].**

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

3.3.2.1. Approche comparative des torrents du Rif Blanc et des Vallois.

3.3.2.1.1. Des contextes géomorphologiques favorisant l'instabilité.

Ces torrents de la haute vallée accusent une forte déclivité *(relief ratio de l'ordre de 21° et 25°)* et s'étendent sur environ 3 km² pour le Rif Blanc et 1,5 km² le torrent des Vallois. Tous deux maintiennent des zones d'emprise *(torrentielle et avalancheuse)* relativement vastes. Situés sur le versant d'adret, ils constituent la retombée méridionale du Grand Galibier *(3228m)* pour le Rif Blanc, et celle de Tête Colombe *(3022m)* pour le torrent des Vallois.

Les principales sources sédimentaires du Rif Blanc se composent essentiellement de dépôts morainiques et de formations polygéniques issues d'anciens mouvements de terrain **[Cf. figure 95]**. Un vaste mouvement fait office d'interfluve dans la section inférieure des deux torrents. Sur la photographie A de la figure 95, on peut apprécier l'efficacité de l'affouillement torrentiel *(rive gauche du Rif Blanc)* dans le corps supérieur du mouvement. Concernant **le torrent des Vallois**, et outre les formations déjà mentionnées pour le Rif Blanc, il faut adjoindre à sa recharge sédimentaire des tabliers d'éboulis actifs situés au pied d'une corniche rocheuse *(± 2350 m)* essentiellement composée de calschistes et de schistes noirs.

Pour ces deux torrents, l'essentiel de la charge sédimentaire mobilisable se situe dans les sections médianes et inférieures des bassins, dans lesquelles se développe d'ailleurs la plus grande partie des réseaux hydrographiques. Car, les sections supérieures appartiennent presque exclusivement à l'étage périglaciaire et, dans le cas du Rif Blanc, sont largement couvertes d'anciens glaciers rocheux. Si ces secteurs peuvent évidemment participer à l'alimentation et à la concentration des flux liquides, ils ne semblent pas contribuer de façon conséquente à la recharge et au transit sédimentaire. La quasi-absence de réseau hydrographique dans ces secteurs en est d'ailleurs un indice probant.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

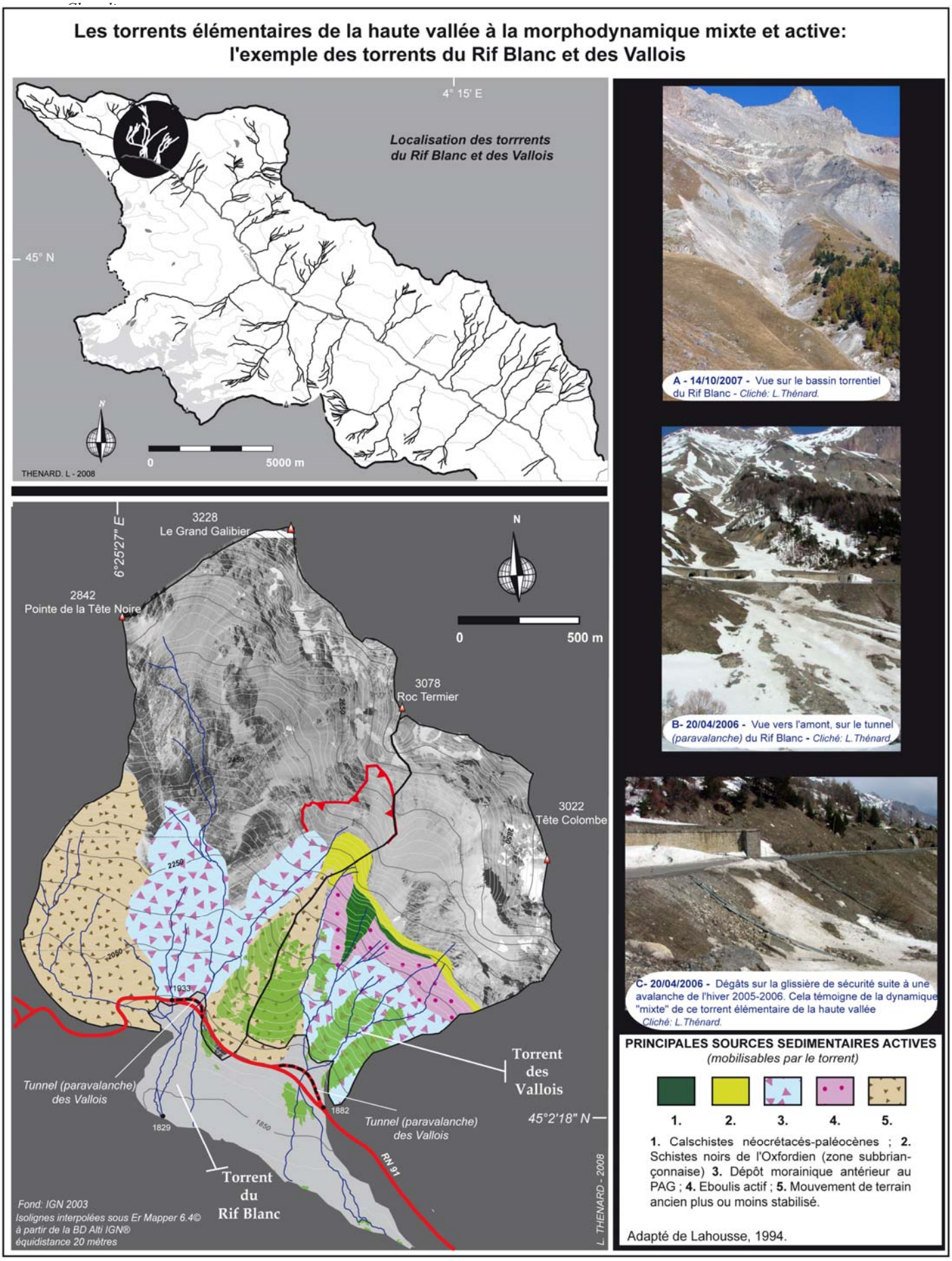


Figure 95: L'exemple des torrents du Rif Blanc et des Vallois à la morphodynamique actuelle "mixte" (torrentielle et avalancheuse) et de forte occurrence.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

3.3.2.1.2. Morphodynamiques contemporaines.

Si ces torrents n'ont pas fait l'objet d'aménagements "lourds" ou d'une correction des lits, des **reboisements** ont été effectués durant la première moitié du 20ième siècle, constituant le bois du Rif Blanc sur près de 30 hectares **[Cf. figure 96]**. L'objectif de cette protection passive était de stabiliser et de limiter les ruissellements érosifs des principales sources sédimentaires *(moraines et mouvements de terrain)* dans les sections médiane et inférieure de ces torrents. Ces boisements restent très limités pour le **Rif Blanc** puisque ils ne couvrent que 2% du bassin versant. En revanche, ils apparaissent plus conséquents pour le torrent **des Vallois**, dans lequel le taux couverture forestière atteint désormais 11%. Cette différence de taux de couverture forestière est probablement **l'explication essentielle d'évolutions morphodynamiques récentes bien distinctes.** A noter que ces reboisements "RTM" ont également concernés les torrents de l'Etret et du Haut Etret et couvrent aujourd'hui 1/5ième de leurs bassins respectifs.

Pour apprécier les évolutions morphologiques récentes, et à défaut de disposer de documents plus anciens ou suffisamment précis, nous avons utilisé les clichés aériens IGN® de 1971, 1981, 1994 et 2003. Pour effectuer les mesures et l'analyse diachronique sous SIG *(SIRTOS)*, chaque extrait photographique a fait l'objet d'un géoréférencement *(Lambert II étendu)*, d'un redressement géométrique[102] et d'un rééchantillonnage à une résolution de 0,5 mètres sous le logiciel de télédétection Er Mapper© 6.4. Nos observations de terrain nous ont également permis de reconstituer globalement l'extension maximale et contemporaine des zones d'emprise torrentielle.

La figure 96 synthétise l'ensemble de ces opérations et retranscrit donc l'évolution des zones d'emprises des torrents du Rif Blanc et des Vallois depuis 1971.

Tout d'abord, ces torrents maintiennent encore aujourd'hui un style divaguant et une zone d'emprise conséquente sur leurs cônes de déjection. Notamment, le **Rif Blanc** dont la surface régulièrement balayée par des processus avalancheux ou torrentiels **couvre encore près de 50% de la surface du cône**. En revanche, **l'emprise du torrent des Vallois** sur son cône apparaît aujourd'hui plus modeste car réduite en moyenne **à une centaine de mètre de part et d'autre d'un chenal actif** *(dans le cadre des écoulements "habituels")*, bien individualisé mais peu incisé. **Parmi les torrents élémentaires "divagants" de la haute vallée, il est celui qui marque la plus significative évolution morphodynamique sur son cône au cours des 4 dernières décennies.** Aussi, la relative "fraîcheur" des paléochenaux que l'on peut encore observer aujourd'hui, témoigne d'une emprise torrentielle contemporaine *(antérieure à 1971)* bien plus vaste.

[102] Plus de 40 points de références *(amers),* par cliché, ont été nécessaires pour effectuer le redressement géométrique. Ce dernier a été réalisé par triangulation entre les amers et par la méthode polynomiale à l'extérieur. Compte tenu des pentes assez marquées, les marges d'erreurs estimées oscillent entre 0,7 m dans la zone distale des cônes à près de 3 mètres à l'apex.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

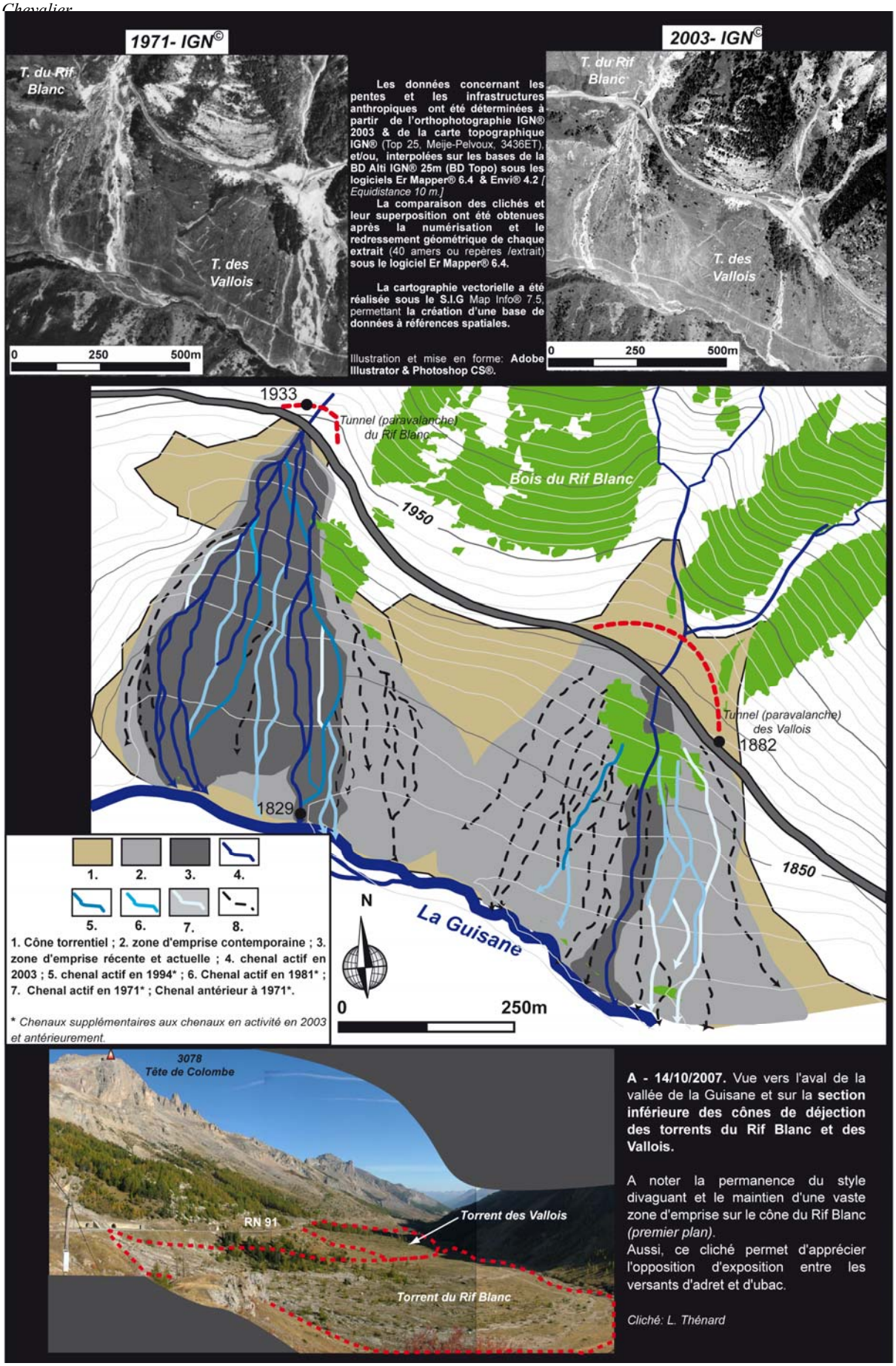


Figure 96: Evolutions récentes et actuelles des zones d'emprise des torrents du Rif Blanc et des Vallois.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Cette rétraction de la zone d'emprise torrentielle **constitue la réponse hydro-géomorphologique du torrent des Vallois aux aménagements anthropiques contemporains et récents :**

- Le **reboisement RTM** a manifestement permis de réduire l'érosion des sources sédimentaires situées immédiatement à l'amont du cône de déjection. De même, afin de limiter les processus érosifs liés à la concentration des flux sous la route nationale, une petite zone boisée a été implantée en rive droite, et **assure un rôle "peignant" particulièrement efficace.** La plupart des chenaux répertoriés à l'aval ne montre quasiment plus de traces d'activité torrentielle. Evidemment, ces paléochenaux restent tout de même susceptibles d'être réempruntés par le torrent au cours d'un évènement paroxystique.

- **L'impact du tunnel des Vallois** apparaît ici évident, en particulier sur les écoulements saisonniers issus de la fusion nivale. Ces derniers passent désormais au dessus du tunnel et sont ensuite canalisés sur une trentaine de mètres sous la D 1091 *(ex RN 91)*. La conséquence directe est une concentration des écoulements, limitant les digitations torrentielles latérales. D'ailleurs, les dimensions de l'arc de cercle formé par le tunnel semblent correspondre avec la délimitation supposée de l'emprise torrentielle contemporaine juste en aval de la RN 91.

- **Un merlon** a par ailleurs été implanté à l'amont du tunnel des Vallois pour limiter les débordements en rive gauche. Sur le cliché de 1971 **[Cf. figure 90]** on peut observer l'empreinte morphologique caractéristique de débordements torrentiels récents, peut-être même de 1971 *(évènement non répertorié)*. Le petit replat topographique que forme le toit du tunnel favorise l'atterrissement partiel des laves torrentielles, et donc, la dissipation de l'énergie de crue. Cela se traduit sur le cliché aérien par des débordements multiples, notamment en rive gauche, par le contournement du tunnel et l'engravement de la nationale. Concernant le contournement du tunnel par le torrent, ce simple dispositif paraît assez efficace dans le cadre des écoulements ordinaires ou des crues de faible intensité.

L'examen du cliché de 2003, montre que les chenaux encore empruntés en 1971 et même en 1981, sont aujourd'hui peu actifs. En revanche, en cas de crue de forte intensité comme 15 juillet 2001, le tunnel a été une nouvelle fois contourné par des débordements secondaires **[Cf. figures 98 &99]**. Un peu à l'image des pièges sédimentaires, ce dispositif est complété par un entonnement en béton. Or, si cela permet de réduire l'extension spatiale de l'aléa, cela tend également à la concentration de l'énergie des laves torrentielles sur un axe routier particulièrement fréquenté…

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Comme évoqué auparavant, **le torrent de Rif Blanc montre également une tendance contemporaine à la contraction de sa zone d'emprise sur son cône.** Pour ce torrent, l'édification du tunnel/paravalanche ne semble pas avoir eu de conséquences majeures sur la dynamique torrentielle contemporaine. De la même manière, le boisement du mouvement de terrain qui constitue la rive gauche du Rif Blanc, à l'amont du cône de déjection, n'a manifestement pas provoqué un tarissement conséquent des apports sédimentaires. Aussi, la comparaison des clichés de 1971 et de 2003 montre globalement la même physionomie du cône torrentiel, façonné tant par des processus torrentiels qu'avalancheux. Contrairement au torrent des Vallois, il n'a pas été réalisé de dispositif de protection, maçonné ou végétal, à l'aval de la route nationale. Aucune contrainte particulière ne s'impose donc aux divagations torrentielles sur le cône. A noter, tout de même que les bourrelets issus du passage de lave torrentielle sont nettement moins fréquentes sur le cône de déjection du Rif Blanc que sur celui des Vallois.

Même modeste, cette contraction contemporaine de l'emprise torrentielle du torrent du Rif Blanc est bien réelle et se poursuit actuellement. En l'absence de dispositif de correction torrentielle et d'intervention anthropique déterminante dans le bassin versant, on peut logiquement en déduire qu'il s'agit d'un ajustement hydro-géomorphologique du torrent à l'évolution de paramètres "naturels", et notamment du contexte climatique. A l'évidence pour ce torrent, il ne s'agit pas d'un tarissement des sources sédimentaires puisqu'elles restent abondantes et aisément mobilisables.

A l'étude de la figure 96, on peut alors supposer que l'évolution constatée sur le cône traduit en fait une baisse progressive des flux liquides saisonniers. En particulier, les eaux relevant de la fusion printanière, qui se réalise le plus souvent sur ces versants d'adret de la haute vallée entre fin avril et début juin (Risser, 1979 ; Francou, 1988). Ce qui traduirait donc un amoindrissement de l'enneigement moyen, et notamment printanier au cours de la période récente. Evidemment, en l'absence de données climatiques récentes et continues, il nous est impossible de vérifier cette hypothèse. Par ailleurs dans le cadre du réchauffement climatique global annoncé, la réduction de l'aire périglaciaire et en corollaire la baisse sensible de l'efficacité des processus cryoclastiques pourraient être légitimement évoquées pour expliquer ces évolutions récentes. Cela constitue sans aucun doute une voie de recherche supplémentaire et probablement incontournable pour une compréhension plus fine des évolutions des dynamiques contemporaines dans ces torrents de la haute vallée de la Guisane.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

3.3.2.1.3. Les évènements récents.

Compte tenu des altitudes, de la rigueur climatique, de la sévérité des pentes, et de l'abondance des sources sédimentaires, ces torrents disposent manifestement de fortes prédispositions en terme d'aléa torrentiel. C'est également en grande partie pour ces raisons que nous leur avons attribué un degré de potentialité relativement élevé. Pourtant, la première référence en archive pour **le torrent des Vallois** est très récente puisqu'elle date 15 juillet 2001. Cette fiche *(RTM)* relate un débordement assez important du torrent des Vallois par lave torrentielle. La route D1091 a été engravée sur plus de 150 mètres linéaires avec juste à l'amont du tunnel des Vallois des blocs déposés de 20 à 30m^3 **[Cf. figure 97]**. Le trafic routier a été interrompu durant une demi journée et une circulation alternée a été mise en place par le tunnel durant une dizaine de jours.



Figure 97: Lave torrentielle dans le torrent des Vallois le 15/07/2001.

Cliché réalisé immédiatement à l'amont du tunnel des Vallois, alors que le processus par "lave" se poursuivait. A noter, le temps radieux après un épisode orageux court et intense, l'atterrissement de la lave torrentielle et le dépôt de quelques blocs de plus de 25m^3 ! *Cliché : G. Astier - RTM05.*

Cette crue apparaît assez atypique, car après le phénomène paroxystique du 15 juillet 2001, l'évènement s'est prolongé durant 3 jours en se manifestant par une succession de "petites" laves. Même si d'après les photographies de terrain que nous avons pu consulter, cela pouvait également s'apparenter à des écoulements hyperconcentrés, favorisés par quelques départs en masse dans les formations morainiques ou les éboulis de la section supérieure.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Un épisode orageux est à l'origine de l'évènement mais le scénario du déclenchement reste assez obscur. Cette lave torrentielle aurait pour origine l' *"affaissement ou une rupture brutale d'éboulis morainiques"* (RTM, 2001), immédiatement à l'aval de la barre rocheuse précitée *(calschistes et schistes noirs)*. L'hypothèse de la rupture brutale d'une poche d'eau a été avancée, mais les éléments en notre possession ne permettent pas de corroborer ou d'infirmer cette supposition. Tout en sachant que même s'il est fréquemment évoqué, ce phénomène est particulièrement rare, et que le plus souvent l'intensité des précipitations orageuses associée aux fortes pentes suffisent amplement au déclenchement de coulée détritique. En revanche, on peut vraisemblablement affirmer que le départ de la lave torrentielle résulte d'une mise en mouvement massive dans les éboulis et les formations morainiques de cette section médiane du bassin des Vallois.

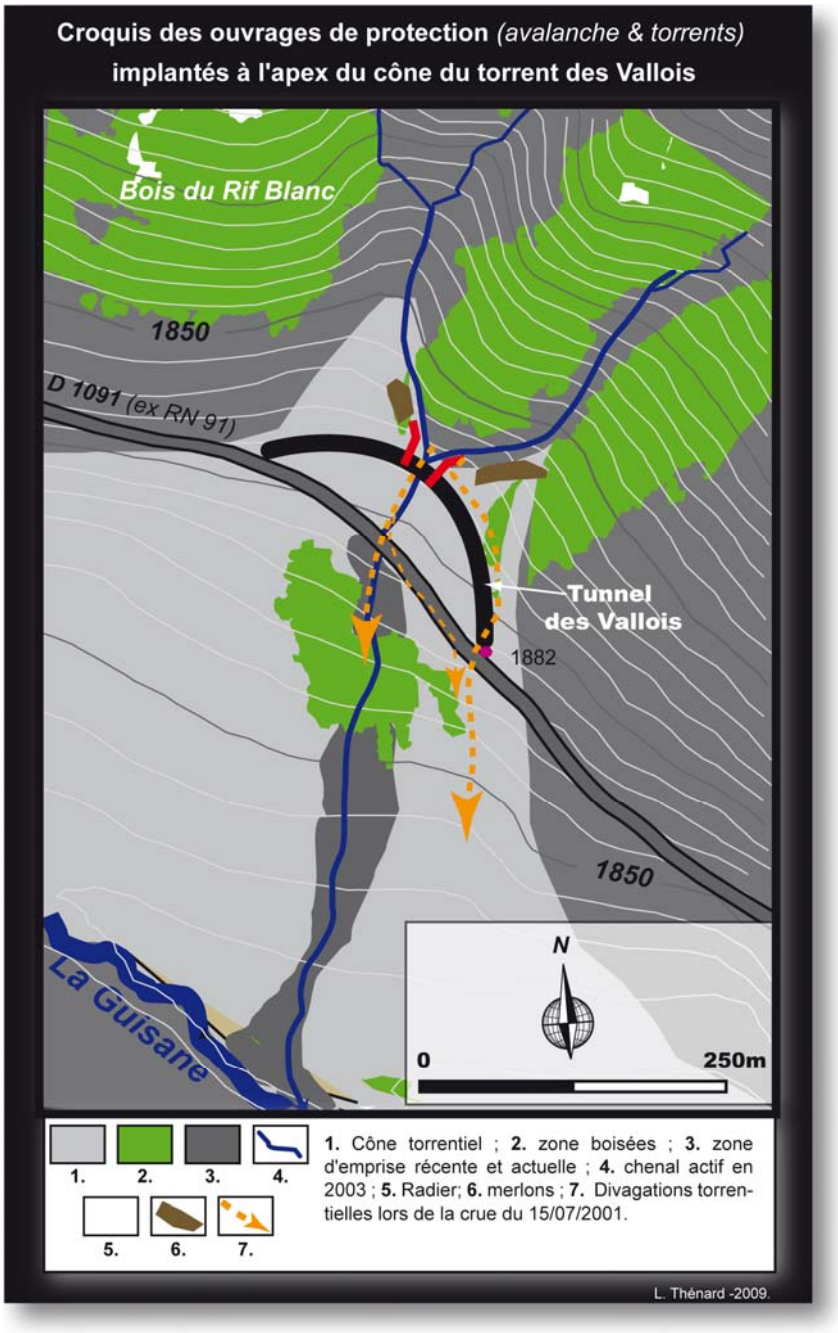


Figure 98 : Croquis des ouvrages de protection à l'apex du cône du torrent des Vallois.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr



Figure 99: 15/07/2001. Vue partielle du tunnel des Vallois.
Engravement et coupure de la route nationale 91 par la lave torrentielle du 15 juillet 2001
Cliché : G. Astier - RTM05.

Malgré, l'absence de référencement historique, la dynamique active de ces torrents a manifestement procuré une gêne récurrente dans ce secteur. En effet, **ces torrents représentent une menace permanente pour l'axe majeur de circulation de la vallée**, ce qui a poussé les services de l'équipement et de la RTM à effectuer quelques aménagements pour s'en prémunir. Les plus visibles et les plus anciens *(19^{ième} siècle)* sont les tunnels du Rif Blanc et des Vallois **[Cf. figure 96]** essentiellement destinés à protéger les automobilistes des avalanches hivernales et printanières. En cas de crue torrentielle, le toit de ces tunnels fait plutôt office de radier réduisant la formation d'embâcles mais facilitant aussi, et involontairement, l'engravement de la nationale 91.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

Globalement, les torrents élémentaires de haute altitude *(en Guisane)* maintiennent encore aujourd'hui un style divaguant sur leur cône de déjection. Toutefois, au cours de la période récente la tendance est à la rétraction des zones d'emprise sur leur cône, soit de manière relativement "naturelle", soit en réponse aux interventions anthropiques. Pour autant, les comportements dynamiques ne semblent pas avoir radicalement évolués jusqu'à présent. Visuellement, ces torrents renvoient encore une image d'instabilité chronique et de danger permanent *(crues et avalanches)*. Néanmoins, et plus spécialement dans le cas du Rif Blanc *(ou du torrent de la Liche)*, si les lits torrentiels présentent actuellement les signes d'une instabilité chronique[103], leur état de charge demeure finalement assez limité. Cela probablement en raison de leur forte réactivité et des "purges" sédimentaires régulières *(crues et avalanches)* que cela implique.

Pour preuve **le 20 mai 2008,** en raison du maintien tardif du manteau nival d'altitude et suite à deux journées particulièrement pluvieuses, **le torrent du Rif Blanc** est entré en crue *(charriage hyperconcentré)*, provoquant l'aggravement et la fermeture de la circulation sur la RD 1091 *(ex RN 91)* **[Cf. figure 100]**. Les dégâts ont été limités à quelques impacts de blocs sur la chaussée et à l'arrachement des glissières de sécurité. Habituellement destiné à protéger les automobilistes des avalanches et après dégagement, le tunnel du Rif Blanc a permis la mise en place d'une circulation alternée durant une dizaine de jours. Les volumes mobilisés n'ont pas fait l'objet d'une évaluation précise mais grâce aux informations recueillies auprès des services du Conseil Général[104], nous estimons les dépôts sur le cône de déjection entre 7000 et 11 000 m^3. Déstabilisé par cet évènement, des averses orageuses ont à nouveau engendré la réactivation du Rif Blanc le 29 mai 2008 ! Même si les volumes sédimentaires étaient inférieurs à ceux du 20 mai, la route départementale a été coupée et les glissières une nouvelle fois emportées **[Cf. figure 100]**.

[103] Peu ou pas d'organisation dans les dépôts, aspect chaotique du lit et granulométrie très hétérométrique avec la présence de quelques blocs de plus de 30m^3.

[104] Conformément aux lois relatives à la décentralisation, le Conseil Général des Hautes-Alpes est en charge de la RD 1091 (ex RN 91) depuis 2006. La maison technique de la Grave gère l'entretien de l'axe principal de la vallée de la Guisane jusqu'au Monêtier-les-Bains. Nous tenions à exprimer notre gratitute à Perrine Sionnet *(La Grave)* pour son accueil cordial et sa précieuse collaboration "à distance"

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr
Thèse L. Thénard, 2009 – Laboratoire TVES ; Université Lille 1- Sciences et Technologies de Lille.

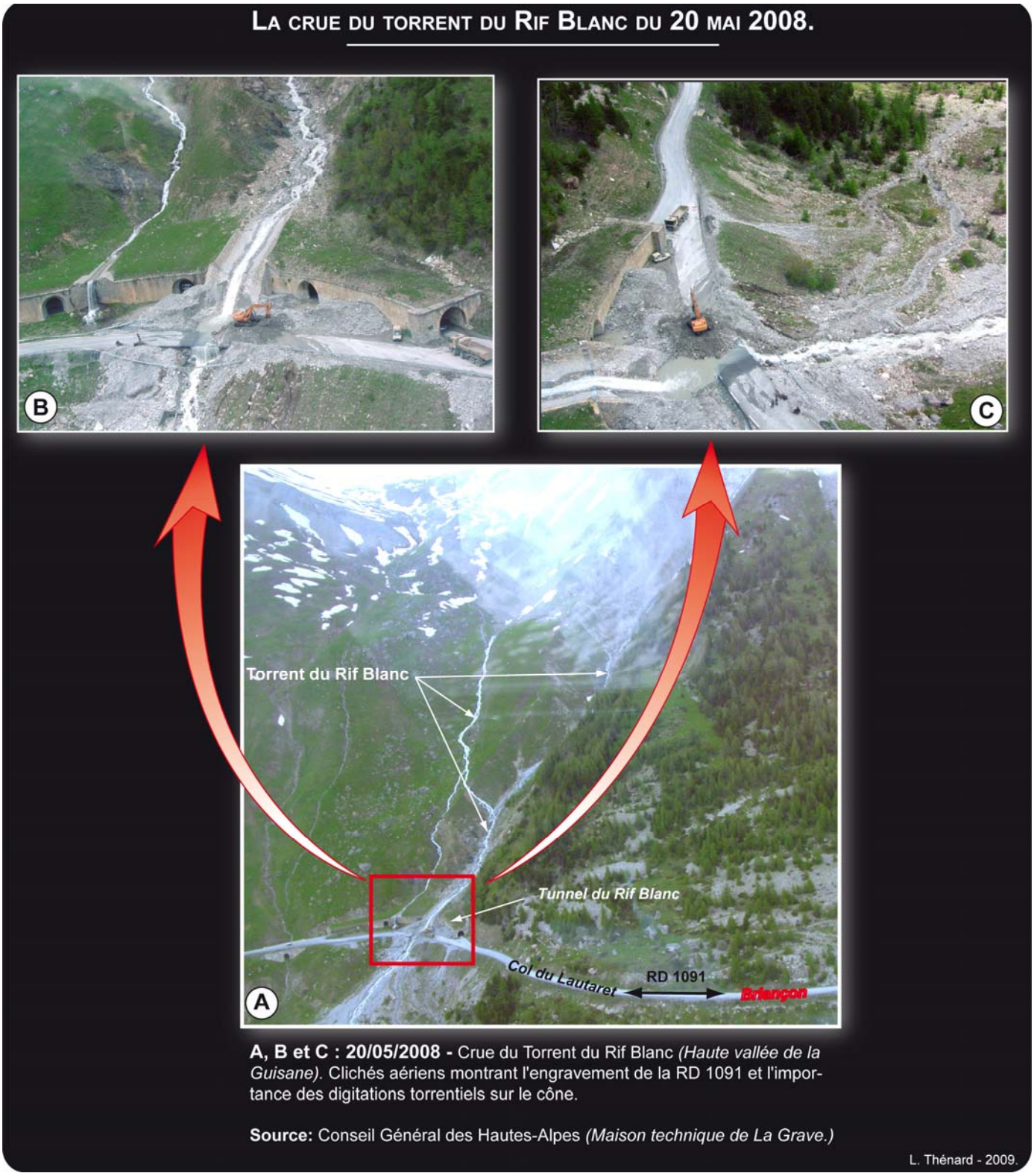


Figure 100 : Crue du torrent du Rif Blanc du 20 mai 2008.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Malgré le maintien d'un aléa de forte occurrence et de larges zones d'emprises sur les cônes de déjection, on observe bien une tendance contemporaine, et surtout récente, à la rétraction des aires d'influence torrentielle en fond de vallée. Les évolutions les plus sensibles résultent le plus souvent d'interventions anthropiques visant à limiter les débordements. Ainsi, les aménagements réalisés à l'apex du cône du torrent des Vallois ou les boisements dans les sections médianes des torrents de l'Etret et du Haut-Etret **[Cf. figure 101]**ont manifestement eu pour conséquence de réduire l'espace des divagations torrentielles sur les cônes.

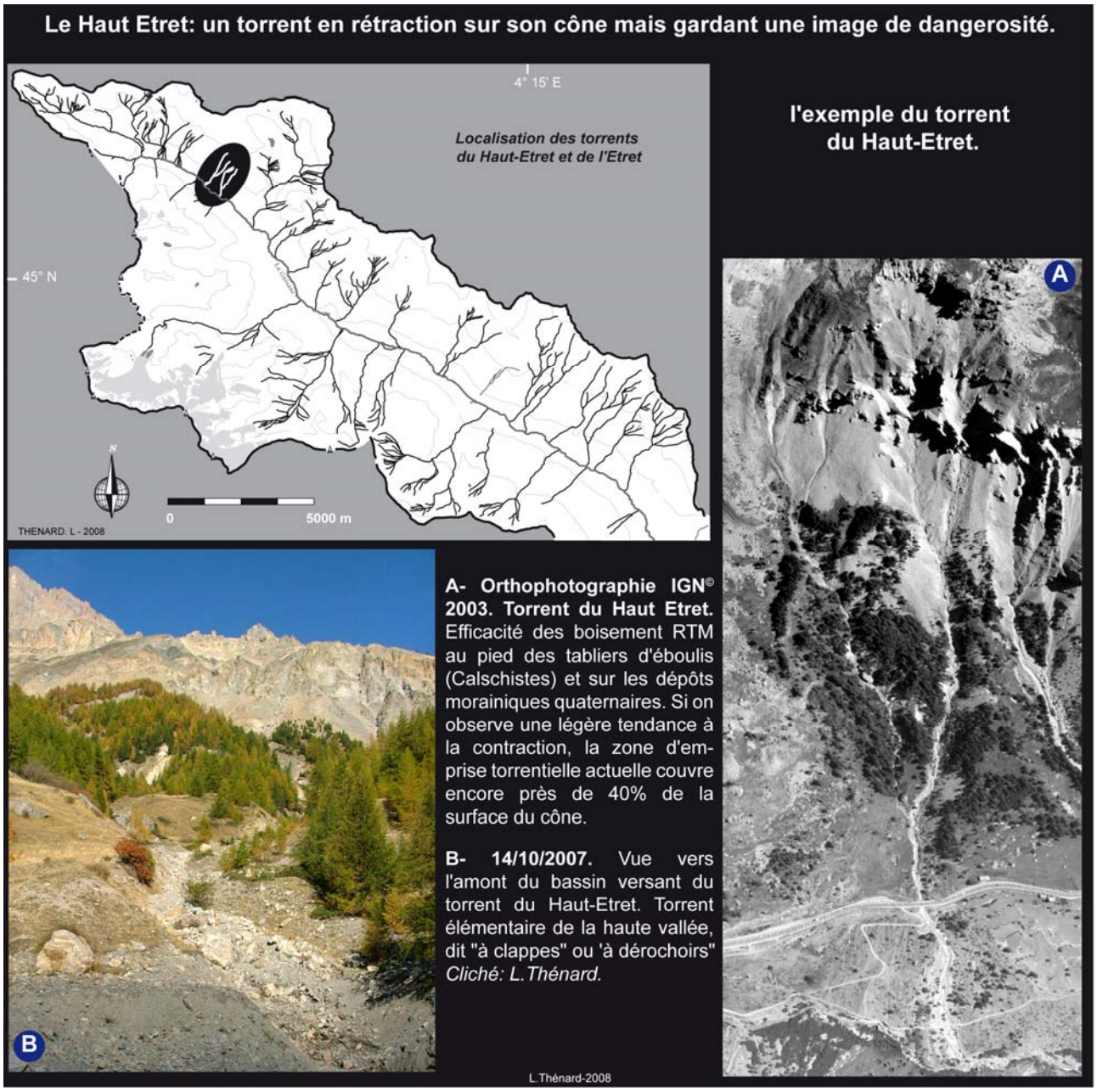


Figure 101 : Le torrent du Haut-Etret : l'exemple d'un torrent élémentaire de la haute vallée en cours de rétraction, mais maintenant l'image d'un torrent dangereux.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Pour autant, cette dernière remarque n'est recevable que pour les écoulements de fusion et les crues par charriage de faible intensité. Même si les débordements et les volumes sont restés relativement modérés sur le cône, la lave torrentielle générée par le torrent des Vallois le 15 juillet 2001 ou les évènements de mai 2008 pour le Rif Blanc rappelle **qu'un évènement paroxystique très morphogène peut parfaitement contrarier une tendance globale de rétraction des zones d'emprise ou des bandes actives torrentielles.** Si la caractérisation de l'aléa torrentiel actuel passe nécessairement par la compréhension des dynamiques contemporaines, la détermination du degré de dangerosité d'un torrent ne peut s'exonérer, pour être durable, de la définition de la "potentialité" maximale d'un évènement paroxystique.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

3.3.3. Les modèles d'évolutions "anthropisés".

Nous avons donc vu que certains torrents élémentaires de la haute vallée ont maintenu jusqu'aujourd'hui un style divaguant sur leur cône de déjection. Comme démontré, cela tient en grande partie aux caractéristiques morphométriques des bassins *(surfaces et pentes essentiellement),* comme à l'abondance et aux spécificités des sources sédimentaires *(formations morainiques quaternaires, éboulis, etc.)*. Compte tenu des altitudes, ces talwegs torrentiels restent animés par des dynamiques mixtes et pour certains, efficacement soumis aux processus cryogéniques de l'étage périglaciaire. Enfin, la morphodynamique contemporaine de ces torrents a été assez peu influencée par des interventions humaines directes dans les lits torrentiels. Même si nous avons vu que la rétraction récente de la zone d'emprise torrentielle du torrent des Vallois sur son cône est une conséquence directe des boisements et surtout des aménagements contemporains réalisés à l'apex de son cône.

Mais finalement, ces torrents de la haute vallée font figure d'exception par rapport à l'écrasante majorité des torrents de la Guisane. D'après notre analyse de l'évolution des dynamiques contemporaines, une seconde catégorie de torrents rassemble en réalité le plus grand nombre. En effet, ces torrents se caractérisent aujourd'hui par une dynamique que l'on pourrait qualifier d' "anthropisée", tant les interventions humaines apparaissent primordiales dans leurs dynamiques actuelles. Evidemment, cette influence anthropique s'exerce à des degrés divers, selon différentes modalités et à la chronologie variable en fonction des problématiques locales.

La plupart de ces torrents se localisent en moyenne et basse vallée de la Guisane et présentent aujourd'hui sur leur cône de déjection un style incisé ou "chenalisé". Plus précisément encore, ce type de torrents se rencontrent essentiellement sur le versant d'adret, soumis depuis au moins plusieurs siècles et de manière assez généralisée, à l'emprise humaine. Pour exemple, les torrents du Saint-Joseph, du Merdarel, de la Salle, de Chirouze, du Saint-Bernard, du Verdarel ou encore du Sainte-Elisabeth reflètent assez bien cette catégorie de torrent à la dynamique largement "anthropisée ». A noter également que tous ces torrents appartiennent au morphotype composite (B) mise en évidence précédemment. Sans pouvoir être totalement exhaustif, nous étudierons dans les paragraphes suivants quelques torrents nous paraissant les plus représentatifs.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

3.3.3.1. *Le torrent de Saint-Joseph : une vitrine du savoir-faire RTM en Guisane.*

Parmi ces torrents, le Saint-Joseph est probablement l'organisme torrentiel pour lequel cette "anthropisation" de la dynamique torrentielle est la plus ancienne et la plus aboutie. Tout d'abord, parce que le village historique du Monêtier-les-Bains est implanté sur son cône de déjection depuis au moins l'époque romaine. Connu dès cette époque pour ses "bains", ce village doit d'ailleurs en partie son nom, aux eaux tièdes et sulfurées s'échappant de sources thermominérales de la Rotonde et de Fond-Chaude **[Cf. figure 103]**

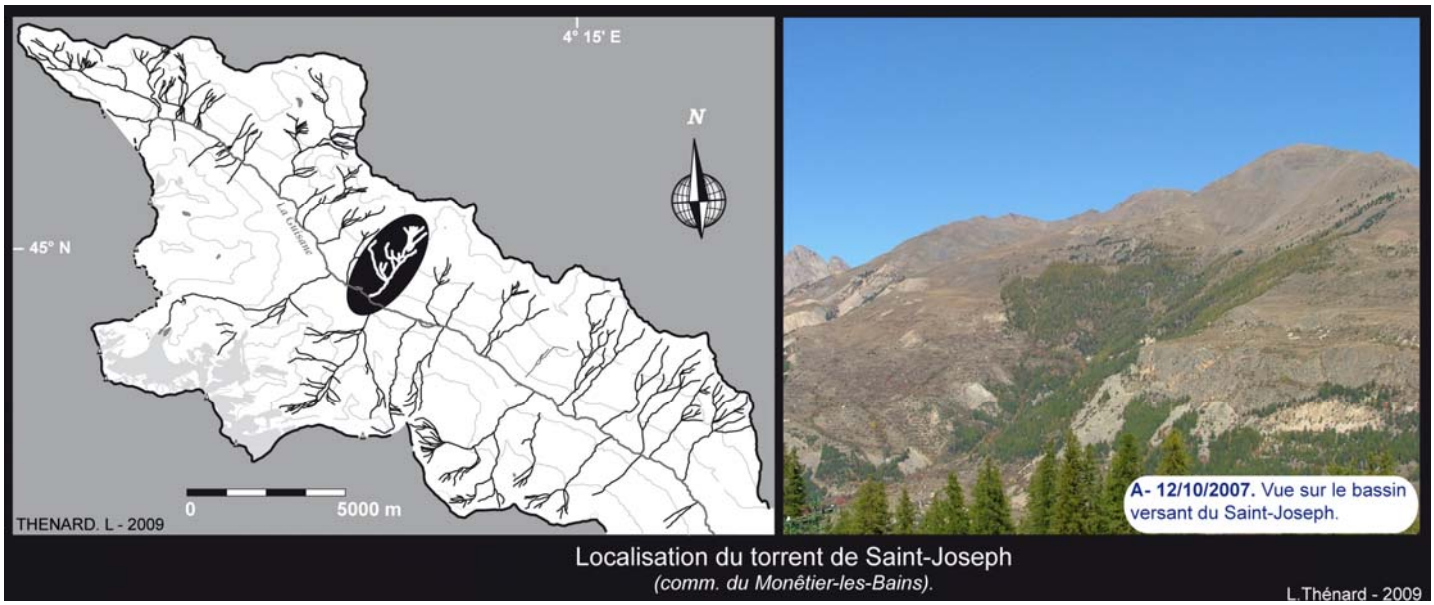


Figure 102 : Localisation du torrent de Saint-Joseph.

Signalons à ce sujet que cette tradition du thermalisme se prolonge à l'heure actuelle et constitue même un pôle d'attractivité touristique supplémentaire. Implanté sur les rives de la Guisane, un vaste complexe thermal *("Les Grands Bains")* vient d'ailleurs d'être inauguré.



Figure 103: Source de la Rotonde.

Cette dernière a été réhabilitée par la municipalité en 1993 et implantée sur le cône du torrent de Saint-Joseph *(arrière-plan)* au nord ouest du Monêtier-les-Bains. *Cliché du 24/04/2006 ; L. Thénard.*

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Le bassin du Saint-Joseph s'étend sur environ 3,25 km² et qu'à la faveur des conditions topographiques, il a pu édifié le plus vaste cône de la vallée de la Guisane *(près de 1,2 km²)*. Par ailleurs, son bassin accuse des valeurs de pentes conséquentes *(Relief ratio [R_R] de près de 40%)*. Son réseau hydrographique est principalement constitué en tête de bassin de grandes ravines, le plus souvent non drainées, finissant par confluer vers 1800 mètres pour former le chenal principal. La percolation des eaux précipitées est ici médiocre en raison des caractéristiques géologiques et géomorphologiques de son bassin.

Schématiquement, les terrains houillers du bassin de réception *(dont des schistes namuriens particulièrement instables)* surplombent des séries principalement constituées de calschistes *(néocrétacés-paléocènes)* et de calcaires jurassiques (Lahousse, 1994). La relative imperméabilité des séries géologiques et les formations superficielles meubles qui recouvrent ici **plus de 75% de la surface du bassin**, aboutissant à un défaut de drainage et une grande instabilité. **Les mouvements de terrains, anciens ou plus récents, sont particulièrement nombreux,** et l'aspect "forêt ivre" qu'adoptent par endroit les ligneux, constituent un signe supplémentaire de la permanence de cette instabilité **[Cf. figure 104]**.



Figure 104: Une instabilité chronique du bassin du Saint-Joseph.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Pendant longtemps, notamment durant le Petit Age Glaciaire *(PAG)*, le Saint-Joseph était également connu pour être un torrent très actif et ses crues étaient particulièrement redoutées. Au cœur du village du Monêtier, une stèle commémorative a même été posée en souvenir des crues dévastatrices de 1856 **[Cf. figure 105]**. La plupart des torrents de la vallée étaient entrés en crue à l'occasion de cet évènement, mais celles concomitantes de la Guisane et du Saint-Joseph ont marqué la mémoire collective. Et cette fois, la proximité immédiate entre le Saint-Joseph et le village du Monêtier assure une véracité de l'information historique.

Pour ce torrent, et *a contrario* de tous les autres, sur les 13 crues recensées, 10 l'ont été entre 1434 et 1850 ! **Ensuite, seules deux crues torrentielles ont été dénombrées en 1856 et 1880**, et le dernier évènement en date du 28 octobre 2004 ne relève pas véritablement des processus torrentiels **[Cf. figure 104]**. **Mais force est de constater qu'aucune crue n'a été recensée au cours du 20ième siècle.**



Figure 105: Stèle commémorative des crues dévastatrices de 1856.
Implanté dans le marbre, une **mémoire du risque torrentiel subsiste** dans les noyaux villageois historiques.

Or, dès le PAG, l'action de l'homme dans ce bassin versant peut être considérée comme fondamentale. Dans le bassin de réception, l'affleurement des séries du Carbonifère ont favorisé les activité minières et par conséquent les défrichements massifs [Feys, 1963]. De telle sorte qu'au milieu du 19ième siècle, le bassin versant du Saint-Joseph était dépourvu de végétation arbustive.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

A cette époque et en plus de la péjoration climatique du PAG, l'exacerbation de la dynamique de ce torrent tenait pour beaucoup des interventions anthropiques.

La menace qu'il représentait pour le village du Monêtier et la fréquence de ses crues expliquent probablement que les services forestiers, puis le service RTM, ont précocement concentré leurs efforts sur ce torrent. Dans un premier temps, un vaste programme de plantations a été mis en place et les deux dernières décennies du 19ième siècle ont été consacrées au reboisement de plus du quart du bassin versant. L'objectif principal était de limiter les ruissellements, et de stabiliser les mouvements de terrain susceptibles d'alimenter les crues. **Aujourd'hui la forêt domaniale de Saint-Joseph, essentiellement composée de pinèdes et de mélézins, couvre environ 90 ha *(± 27%)* du bassin versant, et se concentre entre 1600 et 2200 mètres d'altitude.**



Figure 106: Correction RTM passée et actuelle dans le torrent de Saint-Joseph (Comm. du Monêtier-les-Bains).

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Par ailleurs, un grand nombre de canaux, de clayonnages, ou encore de banquettes ont été réalisés afin d'améliorer le drainage et de stabiliser les secteurs les plus sensibles aux ravinements**. Entre 1878 et 1903, 11 barrages maçonnés et 120 seuils en pierres sèches ont par ailleurs été implantés dans le lit du torrent [Cf. figure 108]**.

Après cette phase de correction intense, plus aucun évènement dommageable ne sera enregistré et les ouvrages resteront peu entretenus. Pour faire face au vieillissement et à la dégradation des ouvrages, le dispositif a été complété entre 1987 et 1988 par 10 nouveaux barrages, tous situés à l'apex du cône de déjection entre 1630 et 1670 mètres. Les derniers aménagements dans le lit ont été réalisés durant l'été 2001 avec la réalisation de 3 barrages supplémentaires en bois **[Cf. figure 106]**. Installés dans un espace domanial très fréquenté et facilement accessibles, ces barrages sont manifestement plus destinés à démontrer le savoir faire RTM et sa capacité à intégrer le très en vogue "développement durable". D'ailleurs et de manière anecdotique, un barrage du même type a été installé à l'apex du cône sur le front du mouvement de terrain d'octobre 2004. Or, on imagine assez difficilement qu'un seul de ces ouvrages puisse juguler un mouvement de terrain massif et profond. Même si ce barrage peut prétendre retenir quelques dizaines de m3 issus de ruissellements érosifs dans la ravine fraîchement réactivée, la faiblesse de son rôle protecteur nous a été officieusement confirmée par les techniciens RTM basés dans le briançonnais.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

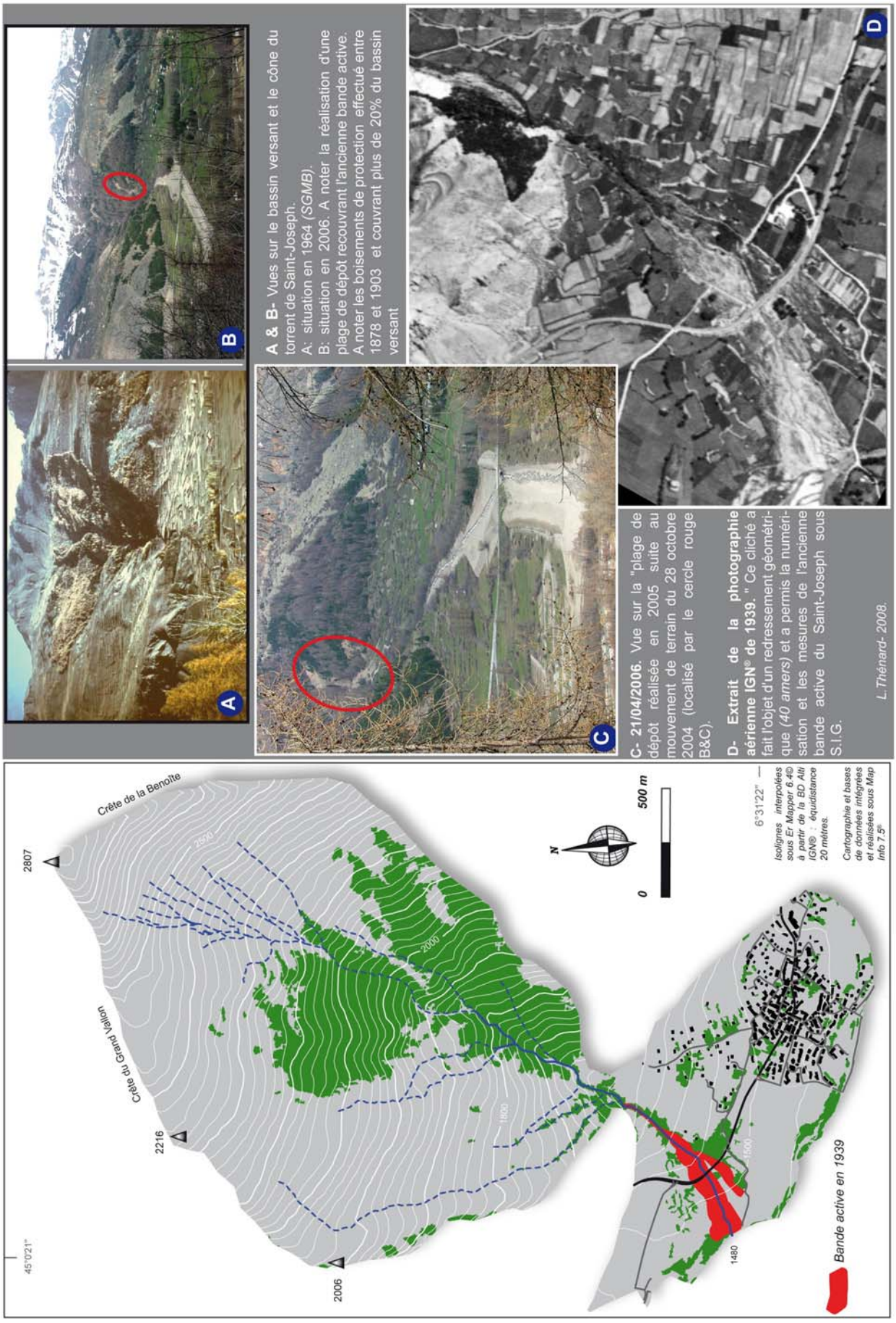


Figure 107: Le Saint-Joseph :un modèle contemporain de dynamique anthropisée et du savoir-faire RTM en Guisane.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

En tout état de cause, le bassin du Saint-Joseph est aujourd'hui équipé de plus de 25 barrages [Cf. figure 108].

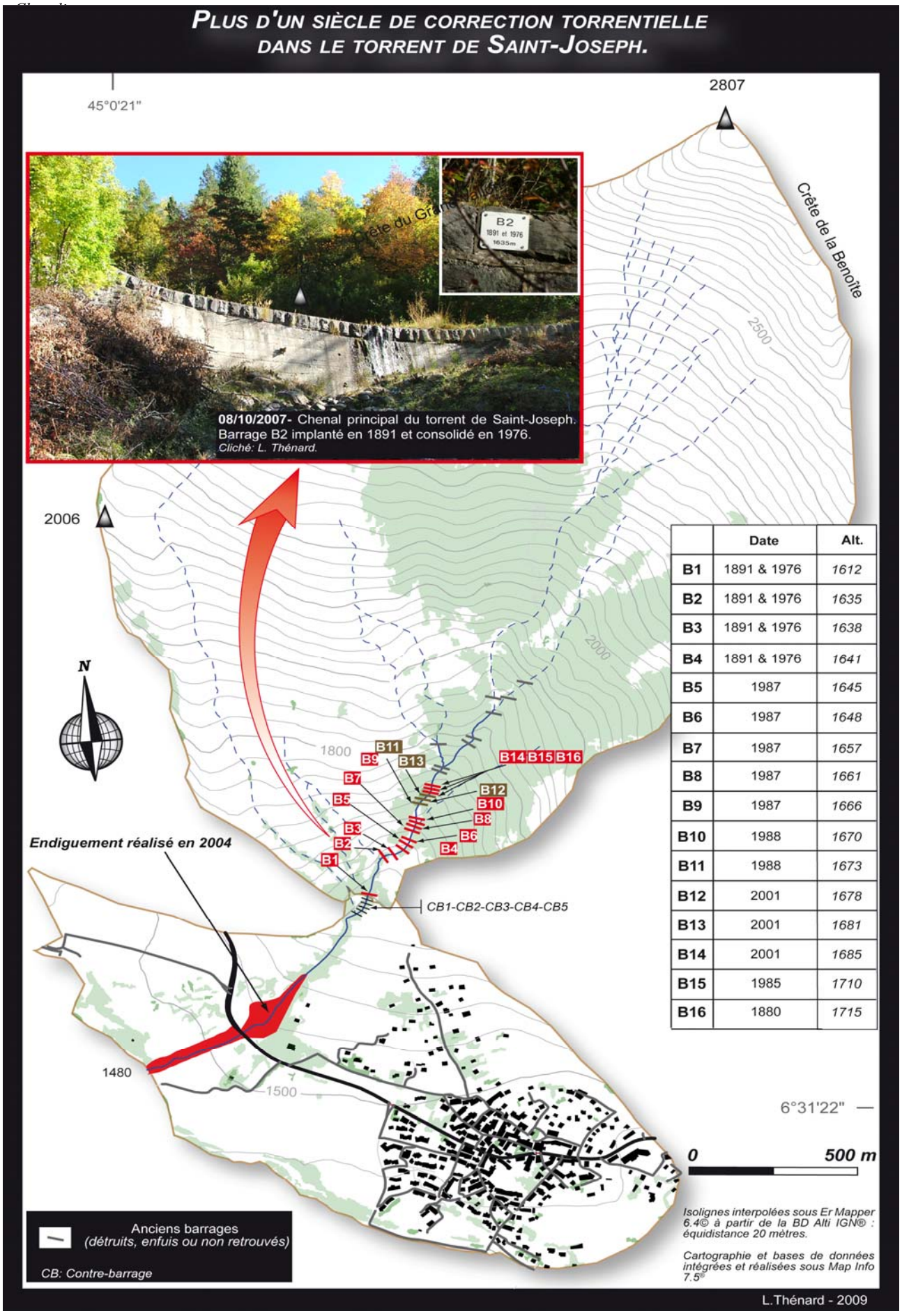
Concernant la période contemporaine, la réponse géomorphologique de cet organisme à la correction globale dont il a fait l'objet, a été particulièrement rapide et a mis fin à plusieurs siècles de forte activité torrentielle dont l'origine était essentiellement anthropique *(défrichements)*. S'inscrivant dans un contexte climatique moins agressif que durant les siècles précédents, **l'action des services forestiers s'est révélée d'une grande efficacité sur l'aléa torrentiel car plus aucune crue n'a été recensée depuis 1880.**

Cette influence anthropique s'est même encore accentuée ces dernières décennies pour être totalement aboutie aujourd'hui. En effet, et outre l'efficacité de l'action RTM sur l'aléa torrentiel, **le torrent de Saint-Joseph a maintenu, jusque très récemment, une zone d'emprise relativement conséquente sur son cône**. Loin de témoigner d'une dynamique très morphogène, cette zone correspondait essentiellement aux divagations des eaux de fontes printanières. A l'examen des clichés aériens, cette zone d'emprise est même restée assez étendue jusqu'au milieu du 20^{ième} siècle [Cf. Figure 107]. En 1939, elle occupait plus de 5 ha selon un axe N-NE/ S-SO.

Le maintien de cette zone d'activité torrentielle, et bien entendu le souvenir des crues d'antan, expliquent probablement que l'urbanisation du cône de déjection ait été longtemps cantonnée à la périphérie du Monêtier, tout en restant à bonne distance du chenal torrentiel. Mais rassurée par plus d'un siècle sans crue et pour répondre aux besoins immobiliers, la commune a décidé la mise en sécurité du cône du Saint-Joseph et obtenu les autorisations d'implanter des activités à vocation touristique. **Au printemps 2005, un vaste endiguement a été réalisé de part et d'autre de la route départementale 1091, matérialisé par des merlons de 2,5 mètres de hauteur.** Son extension reprend globalement celle de la zone d'emprise contemporaine **[Cf. figures 107 & 108]** et a permis l'implantation sur environ 5 hectares d'un nouveau camp de camping *(Camping des deux glaciers)* en rive droite du torrent, juste à l'aval de la RN 91. Cette nouvelle infrastructure municipale offre 70 emplacements équipés et peut approximativement accueillir en haute saison 250 personnes.

Ces aménagements récents sur le cône du torrent de Saint-Joseph constituent l'aboutissement d'un processus d'anthropisation du torrent entamé il y a plus d'un siècle dans le bassin versant. Par ailleurs, la nature de ces ouvrages de protection correspond à une évolution sensible des solutions proposées actuellement. En Guisane, pour les cônes torrentiels pas ou peu urbanisés, il s'agit de solutions relativement novatrices dont la finalité est une réduction de la vulnérabilité et non plus uniquement de l'aléa.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr



	Date	Alt.
B1	1891 & 1976	1612
B2	1891 & 1976	1635
B3	1891 & 1976	1638
B4	1891 & 1976	1641
B5	1987	1645
B6	1987	1648
B7	1987	1657
B8	1987	1661
B9	1987	1666
B10	1988	1670
B11	1988	1673
B12	2001	1678
B13	2001	1681
B14	2001	1685
B15	1985	1710
B16	1880	1715

Figure 108 : Plus d'un siècle de correction torrentielle dans le torrent de Saint-Joseph

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

De même, cet aménagement récent nous amène dès à présent à nous interroger plus largement sur la gestion actuelle et à venir du risque torrentiel dans cette vallée. Ce type d'ouvrages est affilié à la protection dite "passive", et correspond manifestement à une évolution importante dans les solutions préconisées actuellement par le service RTM.

Comme évoqué auparavant, ce torrent a été l'un des premiers *(fin 19^{ième})* dans la vallée de la Guisane à faire l'objet d'une procédure globale de correction. Nous l'avons vu cela a d'ailleurs été très efficace concernant l'aléa torrentiel. Or, les aménagements récents sur le cône de déjection tendent, involontairement mais paradoxalement, à remettre en cause l'efficience d'un dispositif séculaire et, intrinsèquement, son caractère "durable". Autrement dit les solutions proposées aujourd'hui sur les cônes de déjection ne s'opposent-t-elles pas aux aménagements de protection active dans les lits torrentiels et les bassins versants préconisés depuis plus d'un siècle? Car dans le cas du Saint-Joseph, l'endiguement de près de 4 hectares réalisée en 2005, ne s'apparente pas à un simple aménagement complémentaire du dispositif passé. En réalité, personne ne peut contester l'efficacité des aménagements passés sur l'aléa torrentiel, mais jusqu'à présent le cône ou au moins l'ancienne zone d'emprise, était restée vierge de toute urbanisation, à l'exception de la RN 91.

Or, les besoins d'espaces à bâtir pour le développement et de la diversification des activités de Serre-Chevalier se font toujours plus pressants. Parallèlement, l'évolution récente de la législation sur les risques naturels *(PER, PZERN, PPR)* et les zonages associés, obligent désormais à intégrer le risque torrentiel aux projets d'aménagement et d'appliquer de manière quasi-systématique le principe de précaution. Les aménagements récents réalisés ou proposés par le service RTM sur les cônes ont manifestement pour objectif de répondre à ces attentes ou obligations. Cette évolution de la Restauration des Terrains en Montagne résulte donc d'une adaptation aux besoins actuels de développement des communes, tout en maintenant sa participation active dans la gestion du risque torrentiel.

Egalement, force est de constater que depuis l'"âge d'or de la RTM" [1882-1914], la Restauration des Terrains en Montagne ne dispose plus des mêmes moyens (De Crecy, 1988 ; Brugnot et Cassayre, 2003). Ce qui pose manifestement le problème de la correction active dans les bassins versants qui, pour être durable, doit être entretenue et/ou poursuivie. Or, les différentes politiques de décentralisation et les régulières incertitudes budgétaires ne permettent plus d'intervenir aussi massivement dans les bassins versants. La protection passive sur les cônes apparaît donc comme une solution de compromis, répondant aux exigences actuelles de la gestion du risque torrentiel.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

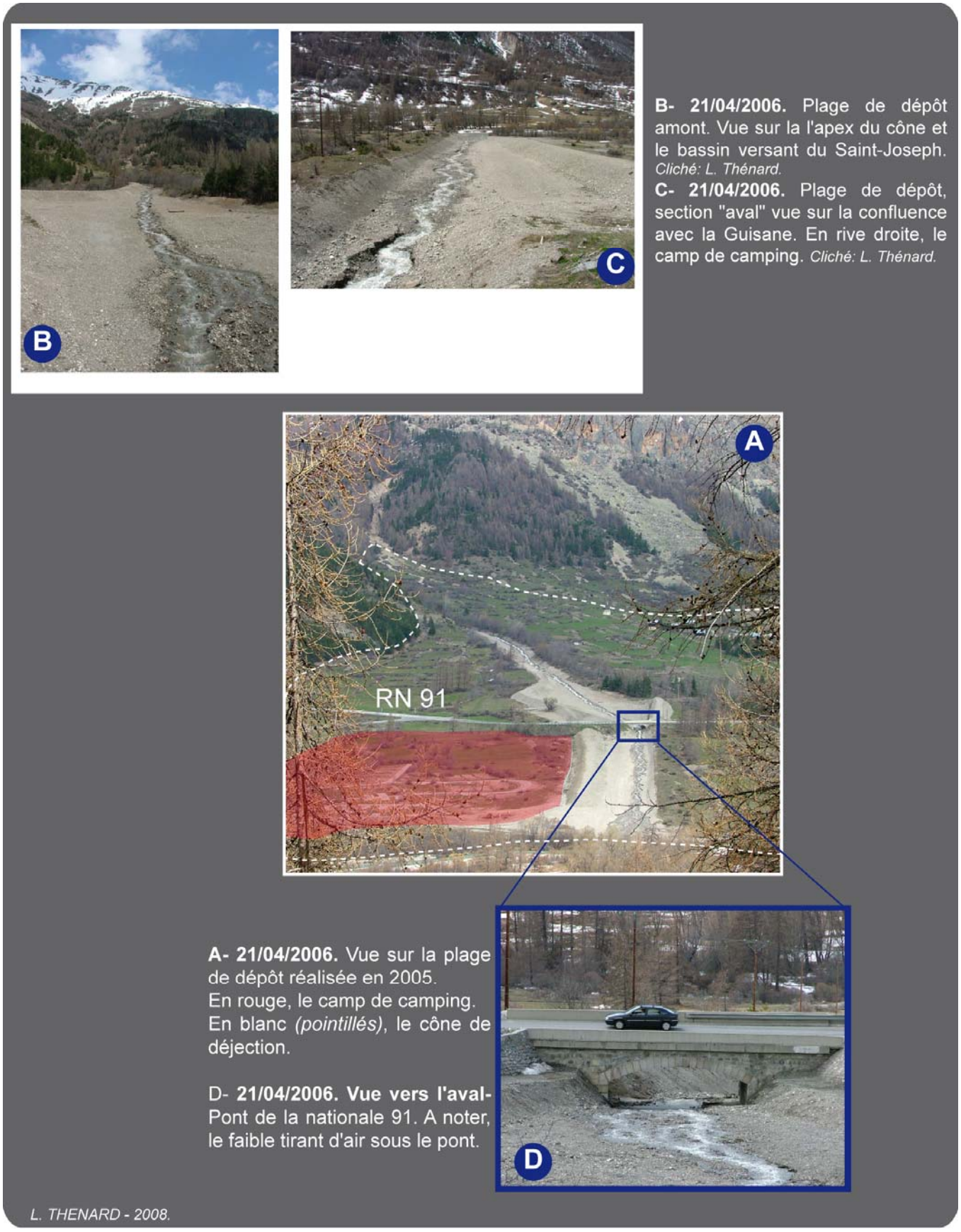


Figure 109: Une tendance actuelle à la protection "passive" sur les cônes torrentiels : l'exemple du Saint-Joseph.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Sur le Saint-Joseph, cette aire délimitée et "réservée"aux divagations torrentielles nous paraît être une solution efficace à moyen et long terme pour la réduction de la vulnérabilité sur le cône. En effet, en respectant l'ancienne zone d'emprise, cette infrastructure empêche toute possibilité d'implantation à proximité immédiate du chenal, **et donc place son action sur les enjeux.** Par ailleurs, cet aménagement s'inscrit plus dans une logique d'adaptation et d'intégration de la dynamique torrentielle dans le développement urbain que dans une logique de contrainte *(correction active)*. En ce sens, cette solution apparaît également plus durable car son caractère particulièrement visible et son accessibilité faciliteront sans aucun doute son entretien. Enfin, avec 60 000€ H.T *(source : RTM 05)*, le coût de sa réalisation est restée assez modeste. Pour comparaison, les barrages en bois construit en 2001 ont nécessité 210 000 € H.T d'investissement.

Néanmoins, certaines modifications et améliorations pourraient être apportées pour plus d'efficacité du dispositif. En effet, si la plage de dépôt est particulièrement conséquente *(40 000-50 000 m^3)*, le tirant d'air sous le pont de la nationale 91 apparaît particulièrement sous dimensionné **[Cf. figure 109]**. En l'état actuel, une crue par charriage de faible intensité pourrait suffire à créer un embâcle et provoquer la submersion du pont et des débordements aléatoires. Or, cela constitue un risque non négligeable pour le camp de camping désormais implanté en rive droite du Saint-Joseph et à l'aval du pont de la nationale. Par ailleurs, quelques boisements sur les merlons pourraient être utiles pour consolider cet ouvrage et pour une meilleure intégration dans les paysages.

Enfin, malgré une dynamique désormais apaisée, ce torrent doit continuer à faire l'objet d'une surveillance permanente car il nous semble garder une forte potentialité en terme d'aléa. Les innombrables niches d'arrachements que l'on peut observer lors de la remontée du bassin versant prouve que ce torrent a été et reste sujet à une instabilité chronique des formations superficielles qui le recouvrent. La plupart des mouvements de terrain sont désormais masqués par la forêt domaniale, mais ils n'en restent pas moins actifs. Malgré les boisements opérés, les mouvements profonds et massifs restent susceptibles de se réactiver à la faveur de conditions favorables. Sans autre dommage, le mouvement de terrain du 28 octobre 2004 a rappelé cette éventualité.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

3.3.3.2. *Le torrent de Sainte-Elisabeth : de l'efficacité de la correction torrentielle à la réponse actuelle du torrent aux évolutions des paramètres environnementaux.*

A l'instar du Saint-Joseph, le torrent de Sainte-Elisabeth fait partie depuis plusieurs siècles des torrents les plus redoutés du Briançonnais et même des Hautes-Alpes **[Cf. figure 110]**. Et cela depuis au moins le 14ième siècle puisque la première référence écrite mentionnant une crue torrentielle en Guisane remonte à 1394 et concerne ce torrent (Mougin, 1931 ; Fanthou, Gambier *et al*, 1991 ; Lahousse, 1994 et 1997 ; Baraille, 2001). Signifiant "déborder", l'expression populaire *"faire son Chaffrey"* consacre même la fâcheuse propension du Saint-Elisabeth à sortir de son lit pour envahir les maisons et les ruelles de Saint-Chaffrey (Merle, 1991, Flez et Lahousse, 2002). Implanté sur le cône et à proximité immédiate du chen*al* torrentiel, Saint-Chaffrey se place en tête des communes des Hautes-Alpes les plus régulièrement confrontées à l'aléa torrentiel (Cf. 3.2).

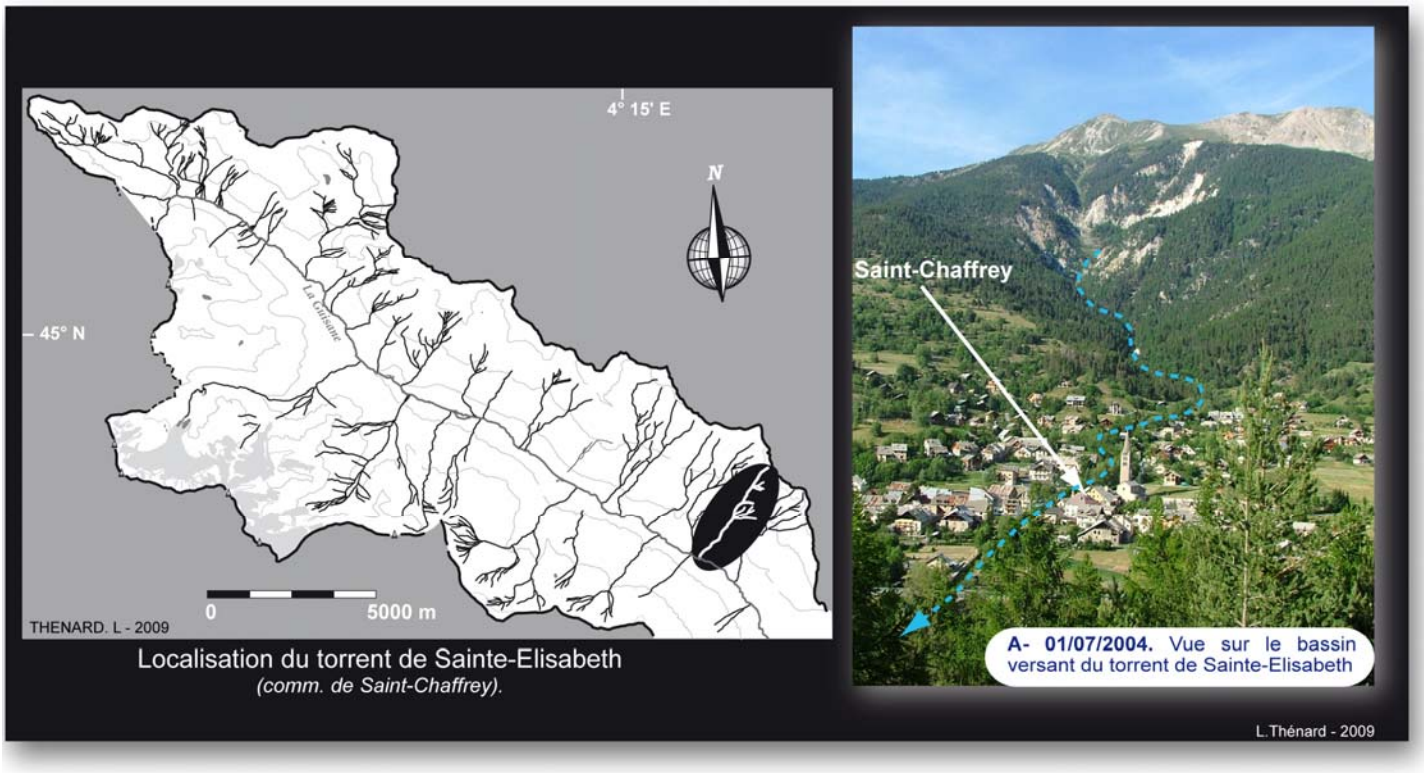


Figure 110 : Localisation du torrent de Sainte-Elisabeth.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

3.3.3.2.1. Une menace ancestrale.

La proximité multi-séculaire de Saint-Chaffrey avec le torrent de Sainte-Elisabeth confère à l'enquête historique une grande fiabilité, sans pour autant suffire à saisir la complexité de la dynamique de ce torrent **[Cf. figure 111].** En tout état de cause, le référencement historique fait état depuis 1394 de **22 crues** du Sainte-Elisabeth, et 11 ont été répertoriées avant 1850. Pour ces dernières, et outre les dommages portés aux habitations ou aux infrastructures artisanales *(fours, moulins, tannerie, clouterie, etc.)*, les archives font mention de la destruction quasi systématique des ponts et passerelles par le Saint-Elisabeth.



Figure 111: 15/07/2006. Chenal "anthropisé" du Sainte-Elisabeth, situé au coeur du village de Saint-Chaffrey.

Photographie prise sur le pont-levis, vue vers l'aval.
Cliché : L. Thénard.

A ce sujet, la fréquence des crues dommageables et la proximité géographique du village avec le torrent a induit, dès le 19ième siècle, la réalisation d'un aménagement simple et efficace afin d'atténuer les dommages liés aux crues du Sainte-Elisabeth. **Un pont-levis** a été imaginé pour préserver l'axe de circulation principal du village et de la vallée *(ex-RN 91)*. Construit en bois dans un premier temps, puis endommagé par une nouvelle crue, il a été reconstruit sous la forme d'une structure métallique au début du 20ième siècle **[Cf. figure 112].**

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Depuis cette époque jusqu'aujourd'hui, ce pont-levis a été levé à plusieurs reprises sans dommage, et par conséquent a sensiblement réduit la gène et le coût occasionnés par les crues du Sainte-Elisabeth. Ce qui s'est d'ailleurs vérifié lors de la dernière crue en date du 24 juillet 1995, car le pont-levis a été levé juste avant le passage d'une importante lave torrentielle *(blocs d'environ 2 m^3)*. Grâce à ce système, les dommages sont restés très limités, l'axe principal du village préservé et aucun débordement majeur n'a été signalé.



Figure 112: (A & B)- 15/07/2006. Pont-levis du torrent de Sainte-Elisabeth construit au début du 20ième siècle.
L'objectif était initialement de préserver l'ancien axe principal de la vallée (ex RN 91) reliant le col du Lautaret à Briançon. Aujourd'hui, la levée du tablier permet de limiter les embâcles, et surtout les débordements associés dans le village.
Clichés : L. Thénard.

La menace historique que constitue le torrent de Sainte-Elisabeth pour le village de Saint-Chaffrey s'est logiquement concrétisée durant la période contemporaine par d'importantes interventions anthropiques dans le bassin versant. Sa réputation méritée de torrent particulièrement actif a conduit les autorités à intégrer de façon précoce *(dès 1912)* ce torrent aux périmètres domaniaux de la Restauration des terrains en montagne (Flez et Lahousse, 2002).

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

3.3.3.2.2. La tectonique à l'origine de la recharge sédimentaire.

Avec près de 1300m de dénivellation et moins de 3 km² de superficie *(relief ratio supérieur à 16°)*, ce torrent dispose également d'une pente moyenne et d'un contexte morphostructural offrant de sérieuses prédispositions au développement d'un aléa torrentiel intense et de forte occurrence.

Particulièrement reconnaissable, **l'échancrure blanchâtre** de son bassin de réception dans le bois des Rousses est liée à l'affleurement **de séries quartzitiques** et de gypses triasiques **[Cf. figure 114].**. Par ailleurs, **le haut bassin versant du Sainte-Elisabeth est en proie à une grande instabilité** car les quartzites affleurants ont été littéralement "broyés" par **la tectonique** et sont continuellement soumis à des processus d'éboulisation **[Cf. figure 113].**

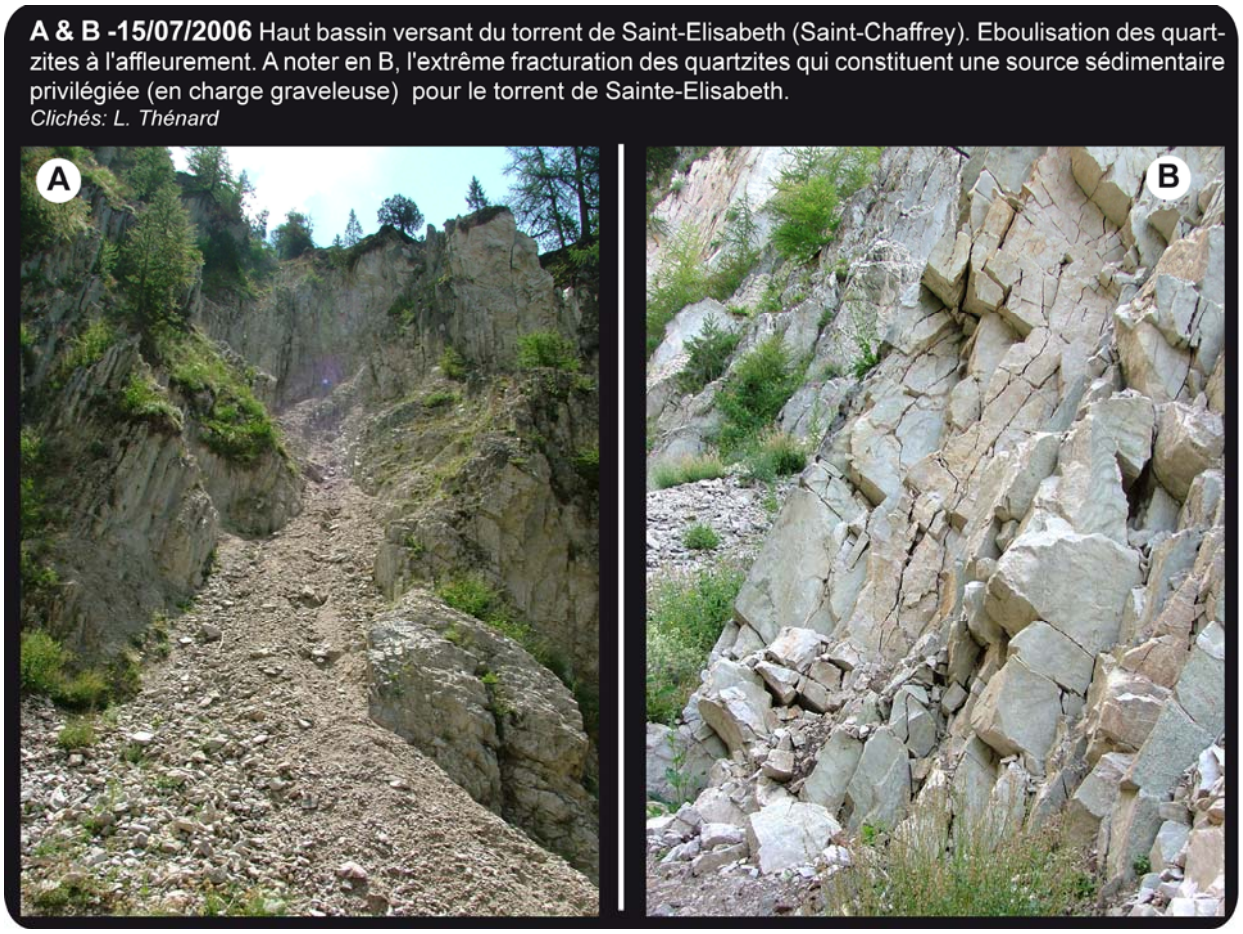


Figure 113: Affleurement et éboulisation des quartzites dans le haut bassin versant du torrent de Sainte-Elisabeth (comm. de Saint-Chaffrey).

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

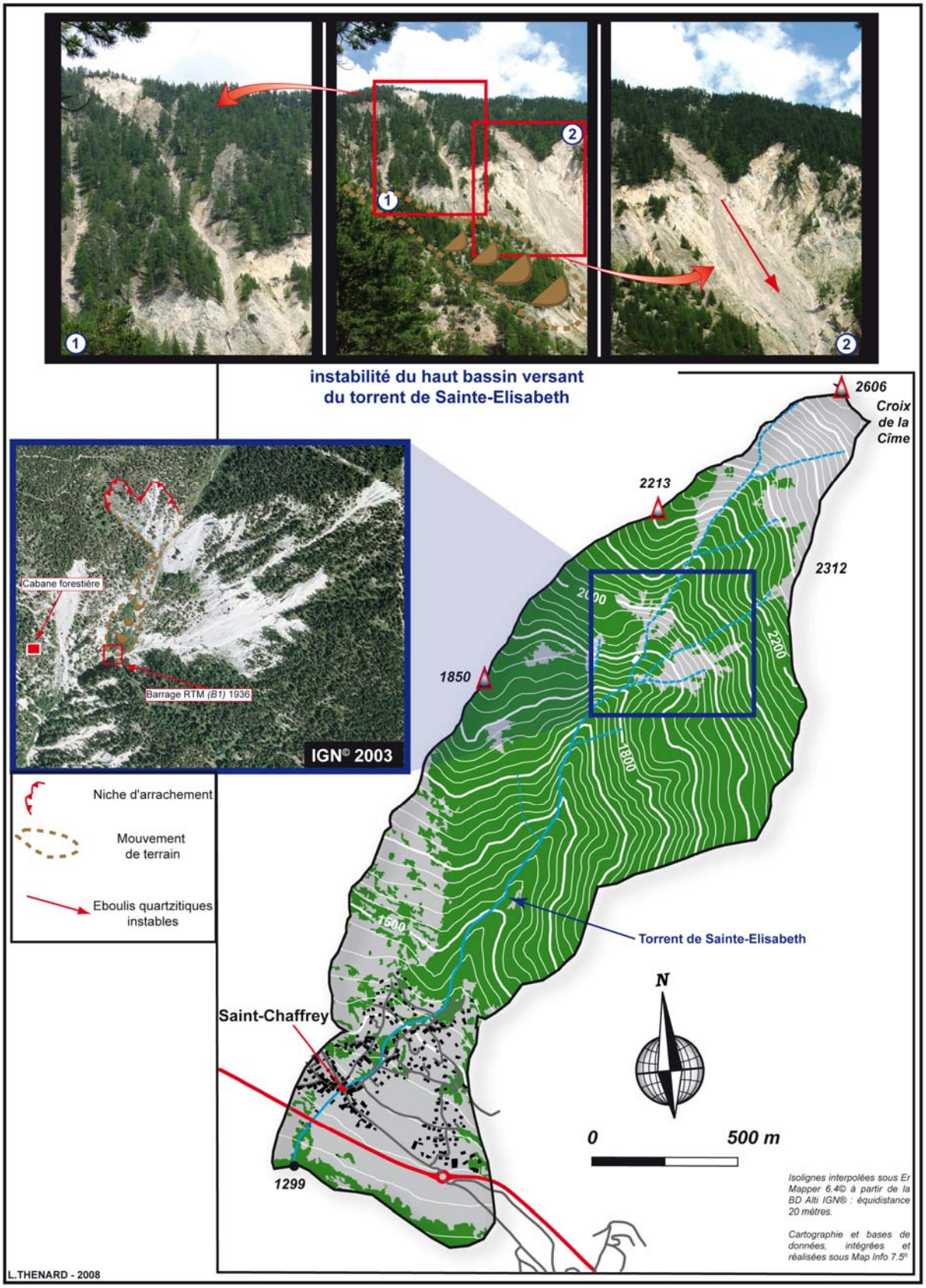


Figure 114 : Instabilité du haut bassin versant du torrent de Sainte-Elisabeth.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Une partie des tabliers de la tête de bassin repose sur des gypses qui, par leur dissolution et les processus de suffosion qu'ils induisent, déstabilisent les formations sus-jacentes (Lahousse, 1994). Or, compte tenu de la sévérité des pentes dans le bassin de réception et à l'occasion d'averses orageuses, une partie de ces éboulis ou de ces mouvements de terrain peuvent alors être mobilisés, et contribuent largement à la charge sédimentaire des crues. Le cas échéant, ils peuvent être à l'origine du déclenchement de laves torrentielles. En raison de sa proximité avec Saint-Chaffrey, certains témoignages confirment ces départs en "paquets" dans les "plâtrières" *(quartzites et gypses).* **[Cf. figure 115].**

« […] *Toute l'eau et les matières charriées actuellement par le ruisseau, très vraisemblablement aussi celles déjà descendues dimanche, viennent de la rive gauche du torrent, dans les plâtrières, où plusieurs petits ravins secondaires viennent se déverser ; il y reste encore des blocs de neige, débris d'une énorme avalanche et environ 0,50 m de neige dans la forêt, sur le revers du ravin exposé au nord. Le moindre petit glissement de terrain, et il s'en produit continuellement, produit rapidement un encombrement, un peu au-dessous de l'ancien chemin des Boupeaux, dans une partie absolument à pic et où le ravin est très encaissé, puis les eaux filtrant de tous côtés poussent la masse qui se remet en mouvement, corrodant le ravin et grâce à la pente atteint le village en quelques minutes. J'ai vu partir plusieurs convois de ce genre, et suivant mon appréciation vérifiée par les heures d'arrivée à Saint-Chaffrey, il faut environ 1/2 heure pour atteindre le village* »
Source : Archives Départementales des Hautes-Alpes.

Figure 115: Description de la crue du torrent de Sainte-Elisabeth du 07 juin 1879 , dans une lettre du garde-mines adressée au Sous-Préfet de Briançon.
Source : ADHA.

Le haut bassin versant du Sainte-Elisabeth n'avait à priori pas fait l'objet de déboisements massifs durant le 19ième siècle. A l'époque, ces crues répétées et les dommages occasionnés dans Saint-Chaffrey ont sans doute conduit les montagnards à garder en l'état un secteur déjà particulièrement sensible aux processus érosifs. Dans le même esprit, ce secteur a été intégré dès le début du 20ième siècle *(1912)* au périmètre de la RTM. Désormais forêt domaniale, le bois des Rousses devenait alors un secteur sous protection. Mais à l'inverse du torrent de Saint-Joseph étudié au préalable, la proximité de Saint-Chaffrey ne s'est à priori pas traduite, pour la période contemporaine, par des interventions massives ou déterminantes avant le premier quart du 20ième siècle.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

3.3.3.2.3. Une correction torrentielle séculaire.

Bien qu'entamé depuis 1912, le programme de correction torrentielle s'est vu considérablement renforcé au milieu de la décennie 1930, suite une série très rapprochée de débordements torrentiels. En effet, entre 1926 et 1936, les habitants de Saint-Chaffrey auront à déplorer quatre crues dommageables pour le seul torrent de Sainte-Elisabeth *(1926 ; 1928 ; 1935 ; 1936)*. La première, celle du **28 octobre 1926**, semble avoir été la plus dévastatrice car elle aurait fait un blessé, inondé 3 maisons, endommagé ou emporté la plupart des ponts et des passerelles. La répercussion immédiate a été l'accélération du programme de correction torrentielle dès 1936, et donc une anthropisation de la dynamique de ce torrent. Outre, la construction ou le renforcement des digues sur le cône et dans Saint-Chaffrey, les curages réguliers ou l'enlèvement des flottants *(bois morts, etc.)* destinés à réduire le risque de rupture d'embâcles, une série de barrages a été implanté dans le lit torrentiel. Notamment en tête de bassin, dans le secteur le plus instable, afin de forcer le torrent à déposer une partie de sa charge dans la zone de départ des laves torrentielles.

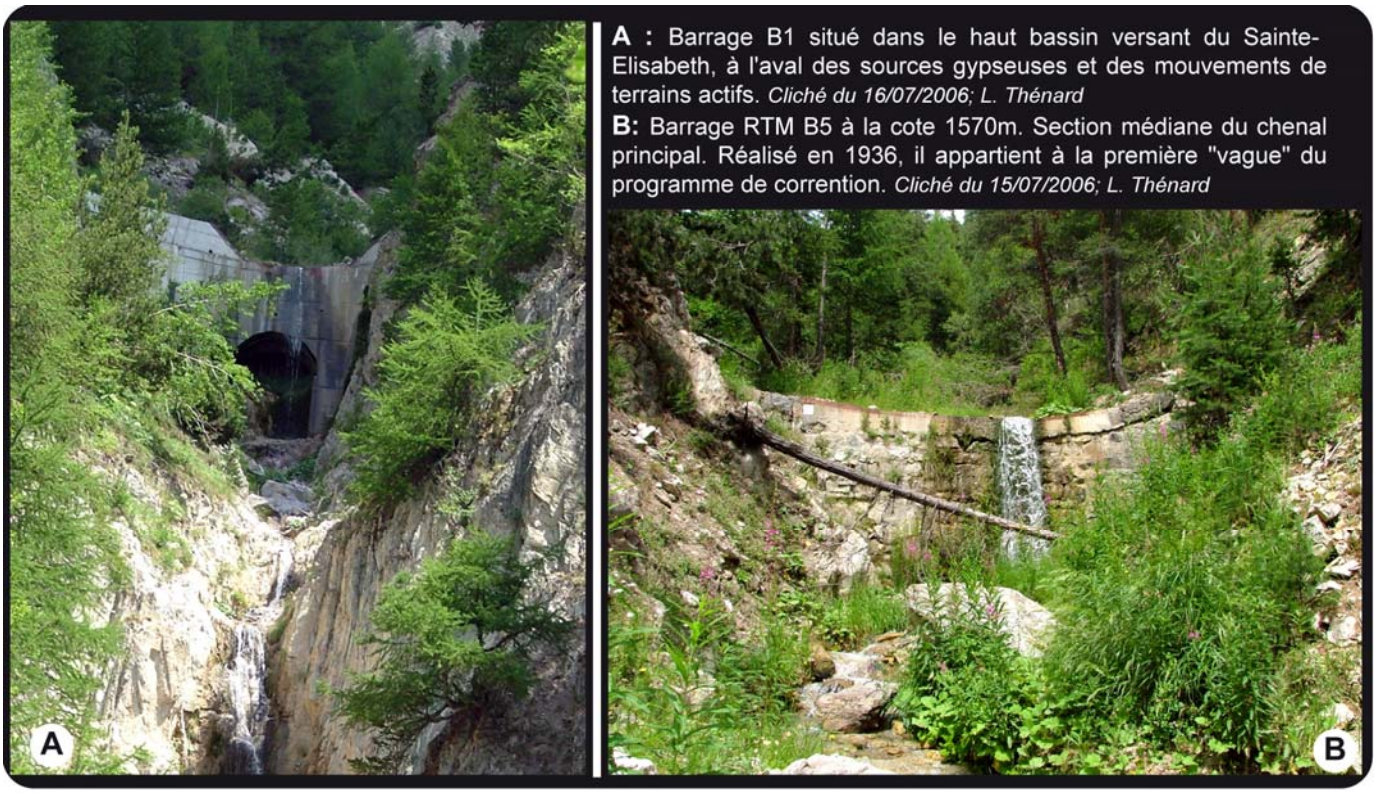


Figure 116: Barrages RTM de la décennie 1930 dans le haut bassin versant du torrent de Sainte-Elisabeth.

La sévérité des pentes et l'inaccessibilité du site ont contraint les techniciens de la RTM à utiliser un système de "tyrolienne" entre le secteur de la maison forestière et le barrage B1 pour acheminer sur site les hommes et le matériel **[Cf. figure 116].**

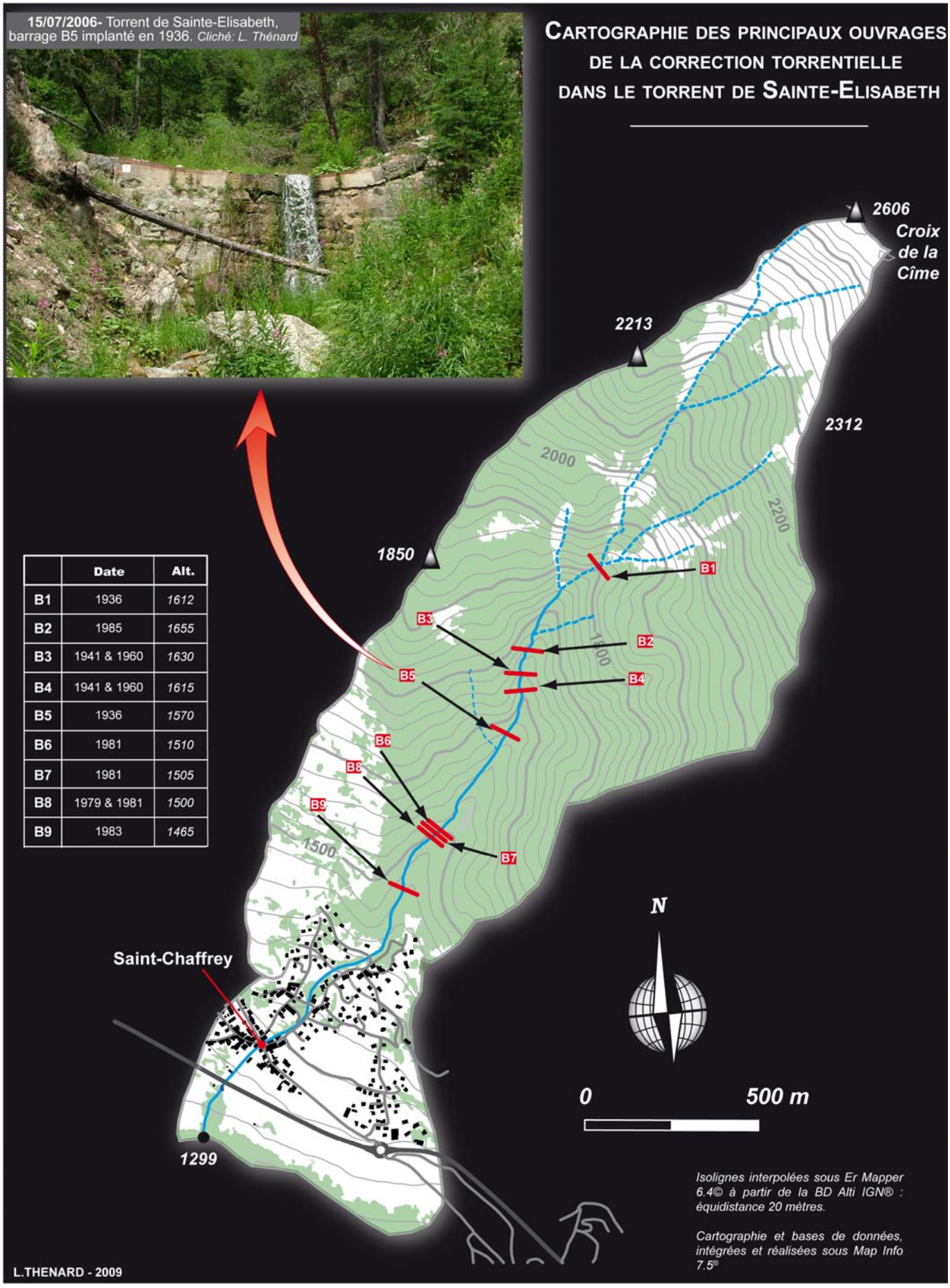
© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

Dans les décennies suivantes, et en dehors des travaux d'entretien, quelques barrages supplémentaires sont venus compléter le dispositif dans la section aval du chenal principal *(en 1941 et 1960 pour les barrages 3 et 4 notamment)*. Plus récemment *(années 1979, 1981,1983 et 1985)*, une seconde campagne de correction a été réalisée afin de restaurer certains barrages des années 1930 et de remplacer les autres. Aujourd'hui, le lit torrentiel du torrent de Sainte-Elisabeth compte une dizaine de barrages et une petite plage "d'atterrissement" dans la section inférieure du chenal. **[Cf. figure 117].**

A l'échelle contemporaine, la correction torrentielle du torrent de Sainte-Elisabeth a été d'une grande efficacité du point de vue de l'aléa. En effet, **depuis 1950, seules 3 crues ont été recensées,** alors qu'il a été répertorié 6 crues au cours du demi-siècle précédent. Indéniablement, l'action du service RTM s'est révélée déterminante dans l'apaisement contemporain de l'aléa torrentiel et dans la réduction des débordements.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr



	Date	Alt.
B1	1936	1612
B2	1985	1655
B3	1941 & 1960	1630
B4	1941 & 1960	1615
B5	1936	1570
B6	1981	1510
B7	1981	1505
B8	1979 & 1981	1500
B9	1983	1465

Figure 117 : Cartographie des principaux ouvrages de la correction torrentielle dans le torrent des Sainte-Elisabeth.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

3.3.3.2.4. Tendance actuelle : l'hypothèse d'un répit hydrologique.

Néanmoins, nos réflexions de terrain et l'approche diachronique réalisée pour l'étude de ce torrent nous amènent à penser que certaines évolutions constatées dans le Sainte-Elisabeth ne relèvent pas uniquement des interventions anthropiques dans le bassin versant. Sans d'ailleurs que cela ne remette en cause l'efficience ou l'utilité du dispositif RTM dans la réduction de l'impact des crues. **[Cf. figure 118].**

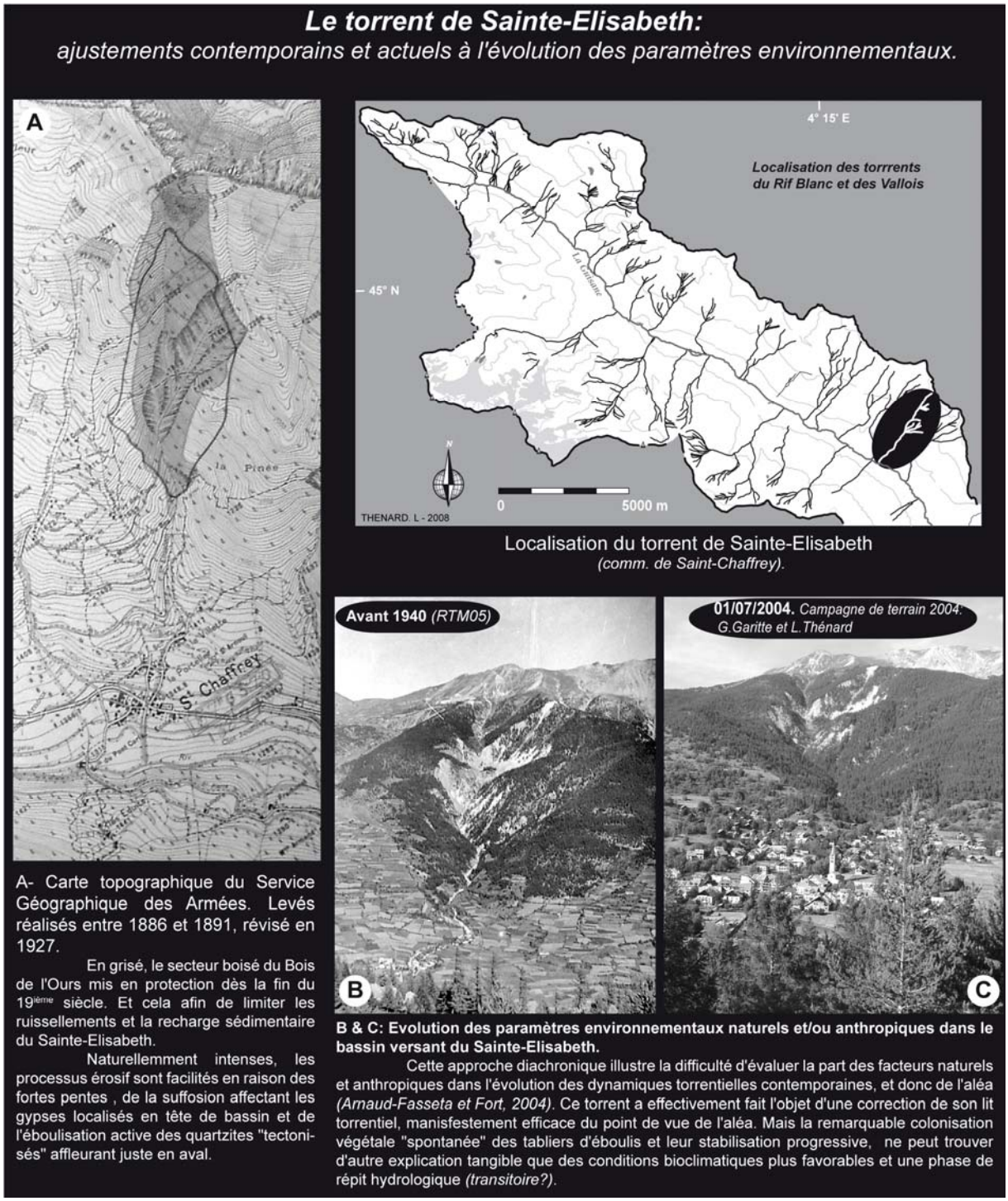


***Figure 118: Ajustements contemporains et actuels aux évolutions des paramètres environnementaux*.**

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

En effet, la comparaison des clichés aériens depuis 1939 montre que le haut bassin versant du Sainte-Elisabeth est resté jusqu'à présent dans un état de grande instabilité, notamment en tête de bassin où l'éboulisation des quartzites à l'affleurement est permanente. On note même une certaine aggravation sur le cliché de 1981, avec des ravines fraîchement réactivées. En réalité, cette photographie aérienne a été réalisée au lendemain de la crue du Verdarel du 09 juillet 1981. Or les bassins du Verdarel et du Sainte-Elisabeth se jouxtent, il est donc assez peu surprenant de constater que le bassin du Sainte-Elisabeth a également "réagi" aux trombes d'eau tombées sur la crête de Peyrolle.

Néanmoins, entre le cliché de 1995 et celui de 2003, et alors qu'aucun aménagement particulier n'a été effectué durant ce laps de temps, on peut observer une végétalisation manifeste du lit torrentiel dans la section médiane du bassin. De la même manière, la comparaison de ces clichés montrent qu'un certain nombre de tabliers d'éboulis ont progressivement été colonisés par la végétation. Cette tendance ne semble pas avoir été perturbée par la lave torrentielle du 24 juillet 1995. Cette évolution apparaît également assez peu discutable au regard des clichés obliques réalisés depuis les versants du Prorel **[Cf. figure 119].**

Cette végétalisation manifestement très récente *(essences pionnières)* donne même par endroit, au chenal torrentiel, un aspect assez inextricable.

En l'absence d'évènement paroxystique depuis 1995, cette apparente stabilisation du lit nous amène à émettre **l'hypothèse d'un répit hydrologique** concernant les écoulements "habituels" ou au moins saisonniers.



A : Végétalisation progressive et actuelle du lit. Photographie vers l'amont réalisée dans la section médiane du lit, où l'on note même des secteurs en cours de pavage. *Cliché du 15/07/2006; L. Thénard*

Figure 119: Végétalisation actuelle du lit du Sainte-Elisabeth

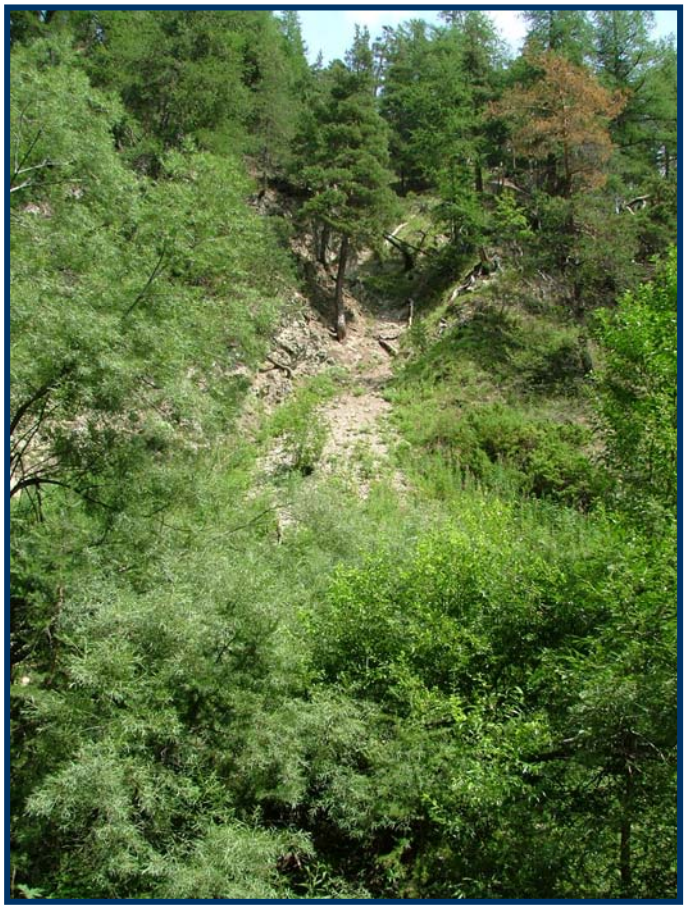
© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Par ailleurs, à l'entrée dans le bassin de réception, un certain nombre de ravines extrêmement pentues sont directement reliées au chenal principal. Or, au pied de ces ravines des éboulis quartzitiques progradants obturent partiellement le lit du Saint-Elisabeth **[Cf. figure 120].**. **La granulométrie peu grossière de ces éboulis et leur simple présence dans le lit renforce l'hypothèse du répit hydrologique évoqué précédemment pour la période récente et actuelle.**



Figure 120: Ravine en activité dans le bassin de réception.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr



Ces cônes d'éboulis sont à peine tronqués à leur base, ce qui témoigne de la faiblesse du transit sédimentaire actuel dans le chenal principal, en dehors des phases paroxystiques. Leur végétalisation progressive confirme également un apaisement des processus érosifs, au cours de la dernière décennie **[Cf. figure 121]**. A l'évidence, ces indices concordants montrent que le torrent de Sainte-Elisabeth connaît actuellement une phase de répit hydrologique dans son fonctionnement "habituel" et ses écoulements saisonniers. En aucun cas, cela ne peut être interprété comme une baisse de la potentialité *(tel qu'elle a été définie précédemment)* concernant l'aléa.

Figure 121: ravine en rive gauche du chenal principal du Sainte-Elisabeth, en cours de végétalisation.
Cliché du 16/07/2006. L. Thénard.

Depuis des siècles et outre ses crues, le torrent de Sainte-Elisabeth était également réputé pour la qualité et le débit de ces sources. Associées aux gypses, ses sources assuraient et maintenaient des écoulements réguliers et relativement conséquents. D'ailleurs, l'implantation du village de Saint-Chaffrey sur ce cône de déjection ne relève certainement pas d'une heureuse coïncidence avec la présence de sources à l'amont et donc avec l'alimentation en "eau courante" que lui assure le Sainte-Elisabeth. Or, malgré le passage de la lave torrentielle du 24 juillet 1995, la végétalisation actuelle du lit dans les sections médianes et inférieures du bassin est inédite pour la période contemporaine, et témoigne manifestement de la faiblesse actuelle des écoulements "réguliers" ou au moins saisonniers.

Evidemment, cette évolution est trop récente pour la considérer dès à présent comme durable. Car si cette tendance actuelle est manifeste, on peut également admettre qu'il ne s'agit que d'un état transitoire entre deux évènements paroxystiques. **Cet éventuel répit hydrologique n'implique pas nécessairement une baisse de l'occurrence et/ou de l'intensité des évènements paroxystiques**. Le Sainte-Elisabeth reste toujours particulièrement prédisposé à développer des laves torrentielles ou des écoulement hyperconcentrés *(fortes pentes, sources sédimentaires abondantes et diverses, etc.)*.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Indéniablement, sa dynamique contemporaine a été en grande partie conditionnée par des interventions anthropiques précoces *(début 20ième)* dans le lit torrentiel. Manifestement efficace, cela s'est rapidement traduit dans les faits **par une réduction de l'ordre de 50% de l'occurrence des crues torrentielles dommageables à Saint-Chaffrey**. Néanmoins, si l'anthropisation contemporaine du lit torrentiel est incontestable, les choses apparaissent moins évidentes à l'échelle du bassin versant. En effet, nous avons vu que le Saint-Elisabeth faisait partie des rares torrents de la vallée de la Guisane à avoir été préservés des défrichements du 19ième siècle, et n'a donc pas fait l'objet de campagnes de reboisement. Globalement, et en dehors des ravines ou des tabliers d'éboulis, la couverture forestière de la partie supérieure du bassin est restée sensiblement identique depuis au moins le début du siècle dernier.

La baisse manifeste du transit sédimentaire dans le chenal principal est probablement en grande partie imputable à l'action de la RTM et à l'implantation de ses barrages. Mais alors, comment expliquer la stabilisation de certains tabliers d'éboulis ou de ravines en tête de bassin n'ayant quant à eux pas fait l'objet d'aménagements spécifiques ?

L'ajustement de la dynamique torrentielle contemporaine du Sainte-Elisabeth résulte de processus complexes pour lesquels la contribution des facteurs anthropiques et naturels reste difficile à déterminer. Néanmoins, les évolutions récentes laissent à penser que malgré l'anthropisation du lit torrentiel, les **facteurs bioclimatiques** demeurent tout aussi déterminants. Ces derniers ont probablement nettement évolué au cours des deux dernières décennies. Pour l'instant, et sans autres données à notre disposition, il nous est impossible de définitivement valider cette hypothèse. Mais nul doute que des recherches à venir viendront compléter et affiner cette analyse.

Transitoire ou plus durable, si cette tendance se confirme également dans d'autres secteurs, cela pourrait avoir certaines incidences sur l'image que renvoie ces torrents à la société, et donc, à terme sur la perception qu'elle en a de l'aléa et du risque torrentiel.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

EN RESUME…

Pour les torrents, et conformément à la plupart des recherches récentes sur ce thème (Liébault et Piegay, 2001, Liébault *et al.*, 2002 ; Liébault, 2003 ; Flez et Lahousse, 2003, 2004a et 2004b ; Piegay *et al.*, 2004 ; Liébault *et al.,* 2005 ; Flez et Garitte, 2006), les derniers exemples étudiés ont démontré que l'homme était le plus souvent devenu un agent prépondérant dans l'évolution des dynamiques torrentielles contemporaines. D'après l'enquête historique, les crues récurrentes du torrent de Saint-Joseph au cours du Petit Age Glaciaire et, d'une manière générale, l'exacerbation de sa dynamique, avaient essentiellement pour origine le défrichement massif de son bassin versant. Etant entendu que cet impact anthropique s'inscrivait également dans un contexte naturel de dégradation des conditions bioclimatiques. A l'inverse pour la période contemporaine et pour ce torrent, les reboisements et la "correction" du lit ont très rapidement eu pour conséquence un apaisement de l'aléa torrentiel *(fréquence et intensité)*. Pour le torrent de Saint-Joseph, les ajustements dynamiques contemporains, et même antérieurs, résultent donc de manière quasi exclusive du fort degré d'anthropisation de son bassin versant.

Le cas du torrent de Saint-Elisabeth a également mis en exergue l'influence majeure de l'homme, et l'incidence de son action sur l'aléa. En revanche, il semble que pour la période récente et actuelle, certains secteurs du haut bassin versant du Sainte-Elisabeth apparaissent en passe de se stabiliser *(colonisation végétale "spontanée")*. Et cela, alors que durant la plus grande partie de la période contemporaine, l'instabilité du bassin de réception était restée constante. Mais comme évoqué auparavant, l'imbrication des paramètres naturels et anthropiques dans ce type de torrent est telle, qu'il est particulièrement délicat d'en déterminer les contributions respectives.

A ce stade de la réflexion, il nous a paru nécessaire de poursuivre nos investigations dans d'autres torrents de la vallée sur cette thématique de l'évolution des dynamiques torrentielles contemporaines car elles représentent l'une des bases nécessaires à l'évaluation de la vulnérabilité et des risques actuels.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

3.3.4. Le torrent du Grand Tabuc : un modèle contemporain et de rétraction "spontanée"de la bande active torrentielle.

Après l'évolution contemporaine des torrents élémentaires de la haute vallée, et celle des torrents historiquement anthropisés *(du versant d'adret)* de la moyenne et basse vallée, nous avons donc choisi d'étudier l'évolution contemporaine du torrent du Grand Tabuc.

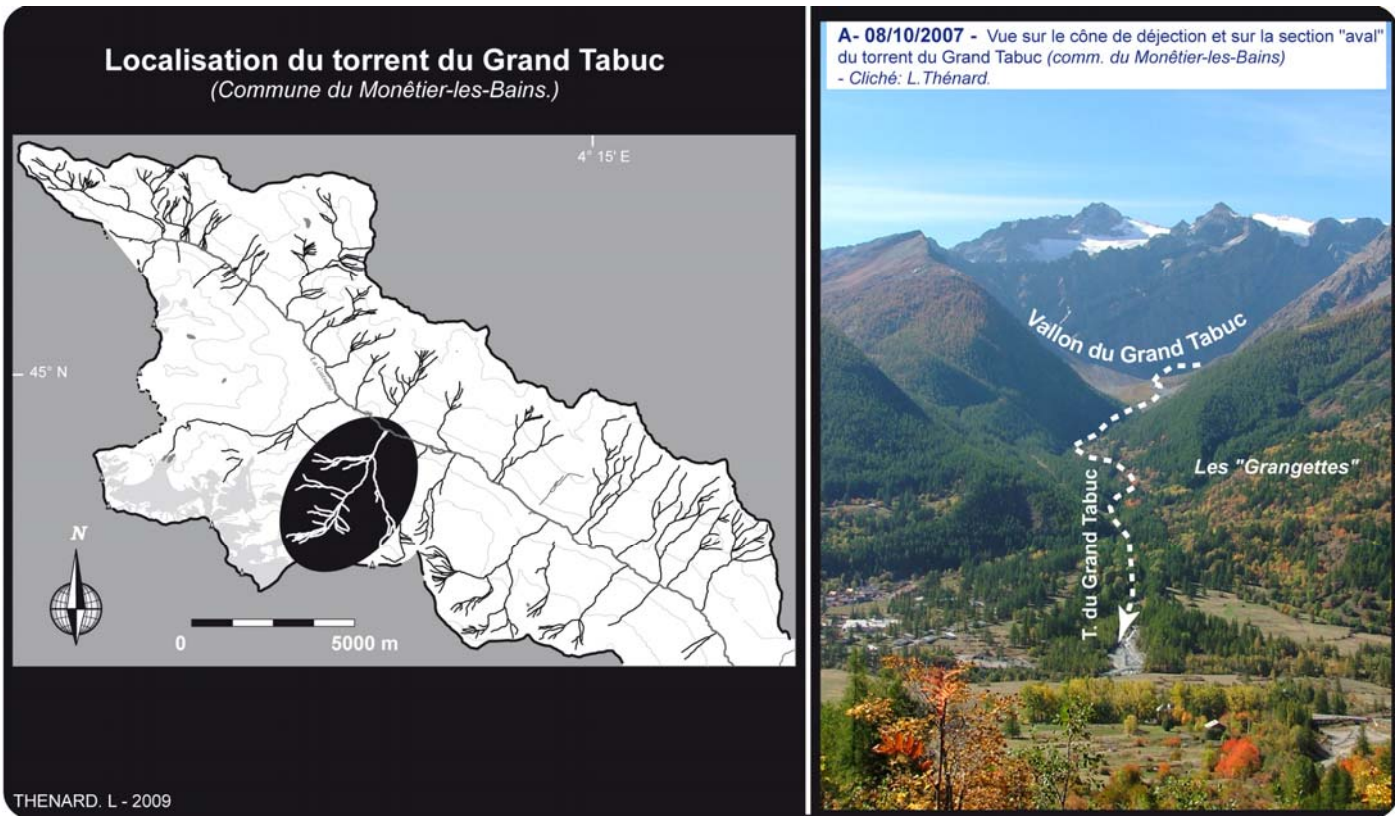


Figure 122: Localisation du torrent du Grand Tabuc.

Comme évoqué dans le chapitre précédent (Cf.2.4.2.3), ce torrent se distingue des autres organismes torrentiels de la vallée essentiellement par sa taille et son régime hydrologique. Le Grand Tabuc se situe sur le versant d'ubac, immédiatement à l'amont du Monêtier-les-Bains **[Cf. figure 122]**. Pour mémoire, ce torrent dispose d'un bassin versant de 17 km², pour un périmètre de près de 21 km.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

3.3.4.1. Caractéristiques actuelles du Grand Tabuc.

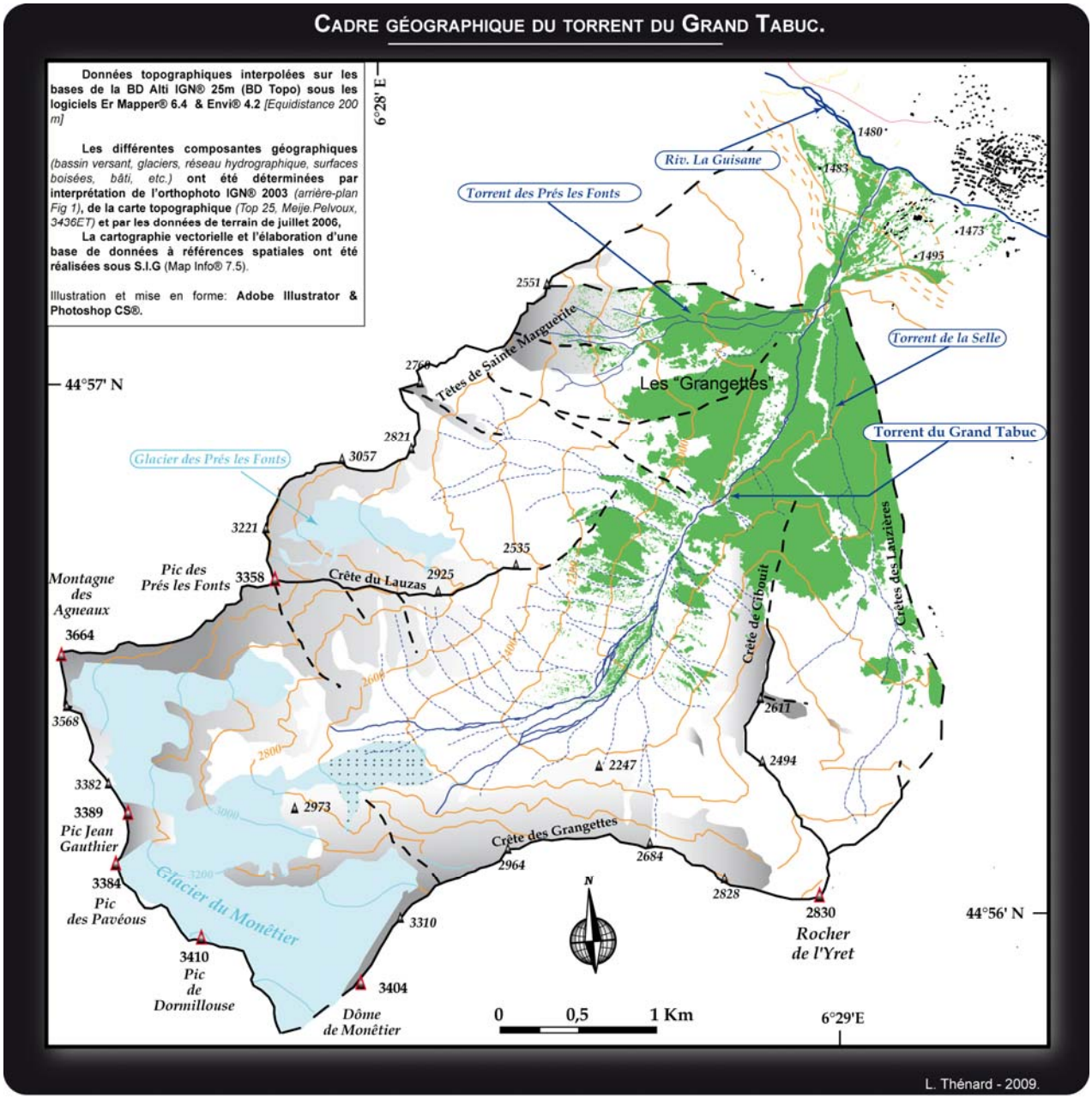


Figure 123 : Cadre géographique du torrent du Grand Tabuc

Le Grand Tabuc est l'émissaire du glacier du Monêtier dont il concentre aujourd'hui les eaux de fusion entre 2600 et 2400 d'altitude, puis chemine à travers une vaste zone d'épandages fluvio-glaciaires *(vallon du Grand Tabuc)* selon deux branches principales **[Cf. figure 123]**. A la faveur de pentes plus accusées, il se concentre ensuite en un unique chenal torrentiel entre 1900 et 1600 mètres d'altitude, pour ensuite s'épandre un peu plus largement sur son vaste cône de déjection *(82ha*) et confluer avec la Guisane.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

La présence de cette bande active atteste d'un transit sédimentaire par charriage encore assez actif. Des **comptages granulométriques** ont été réalisés en octobre 2007, après le paroxysme de l'ablation glaciaire et donc du charriage estival. Sur les 3 sites choisis, le corpus des échantillons mesurés s'établit à environ 500 individus.

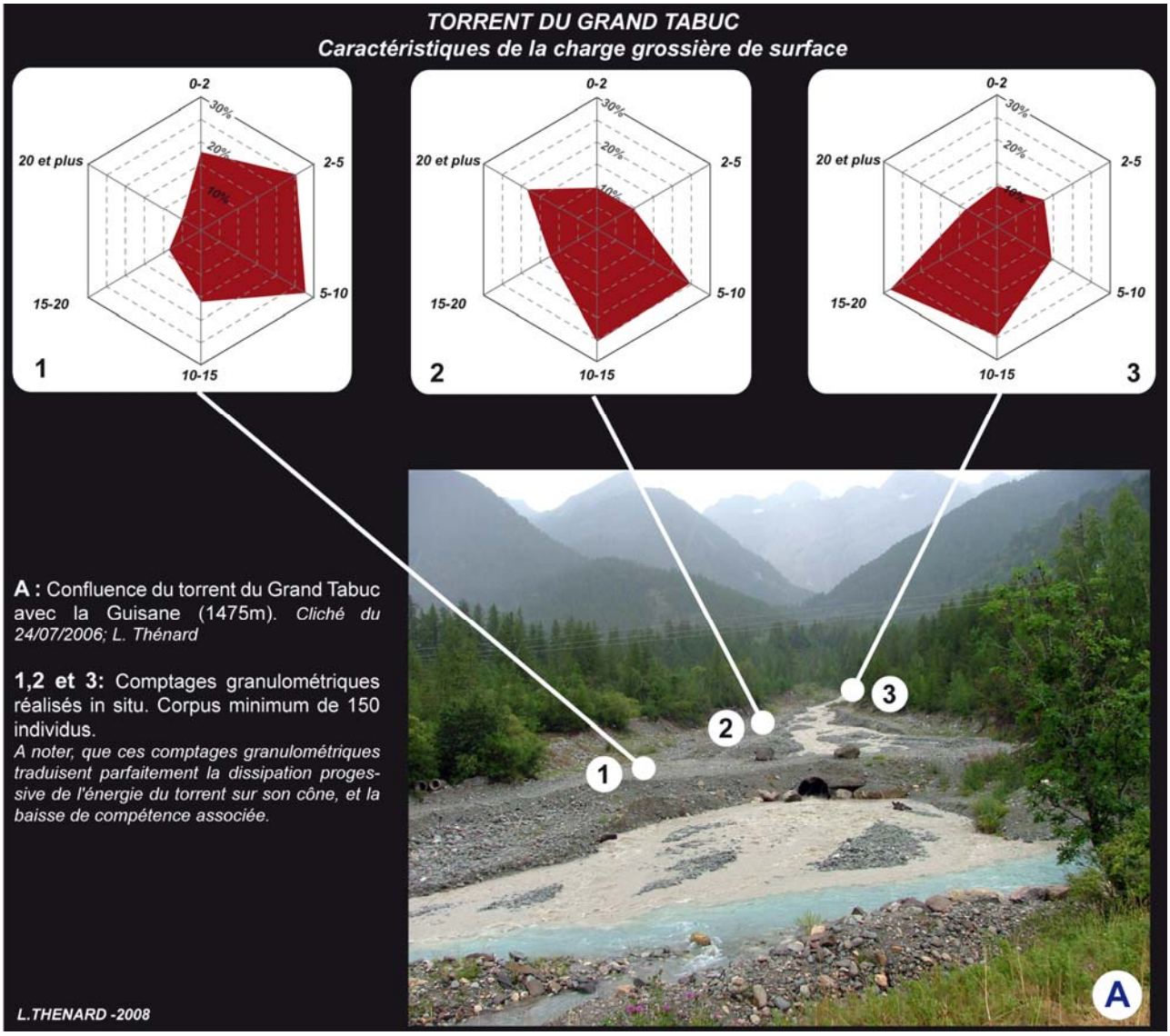


Figure 124: Caractéristiques granulométriques des sédiments de la bande active du Grand Tabuc.

Actuellement, **la charge graveleuse de surface** *(sur le cône)*, est essentiellement dominée par des graviers et des blocs compris entre 5 et 20 cm de longueur radiale. Sur les 3 sites choisis au sein de la bande active actuelle, cette classe de valeurs rassemble en moyenne 62% des individus. En moyenne toujours, les classes [5-10 cm[et [10-15 cm[représentent à elles seules 43% du corpus **[Cf. figure 124]**. A noter également, le caractère assez émoussé de la plupart des individus. Cette relative homogénéité granulométrique indique que le charriage constitue le processus dynamique dominant de ce torrent proglaciaire.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Les **classes modales** de ces trois sites traduisent logiquement un gradient progressif de l'amont vers l'aval, et donc une perte progressive de la compétence du torrent sur son cône de déjection **[Cf. figure 125]**. Pour preuve, le site n°3 correspond à une terrasse récente et la proportion de blocs supérieurs à 10 cm est ici sensiblement plus élevée que sur les sites situés à l'aval. La mise en terrasse manifestement très récente de ce secteur correspond vraisemblablement à une baisse sensible du transit sédimentaire "régulier".

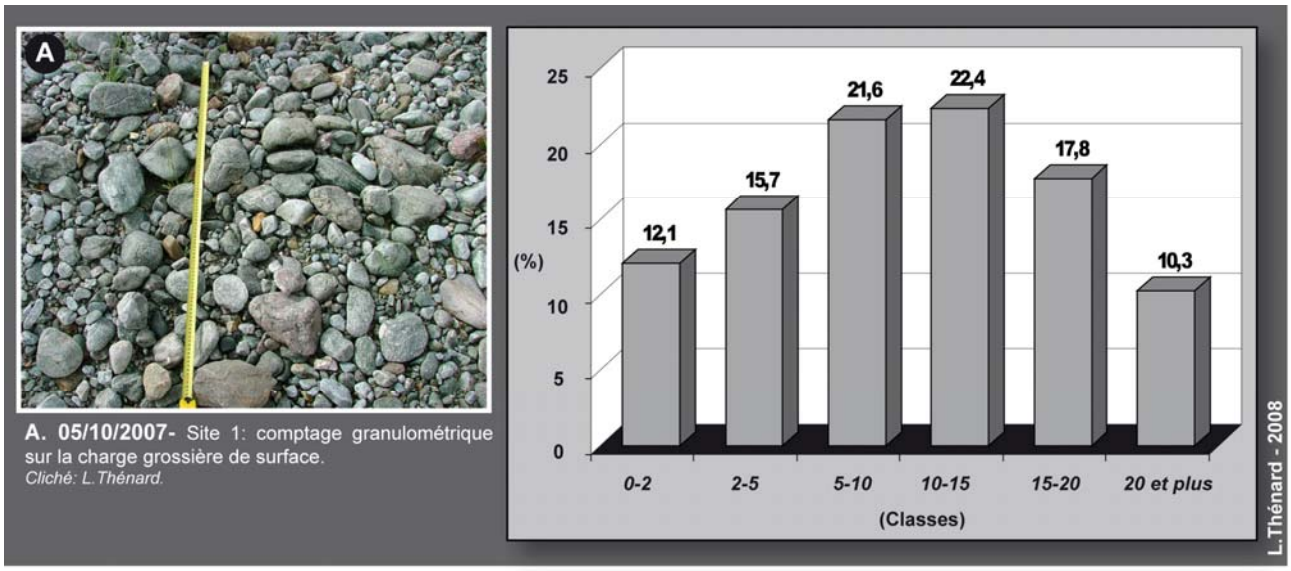


Figure 125: Distribution moyenne des classes granulométriques sur les sites 1,2 et 3.

Le torrent du Grand Tabuc dispose d'une charge sédimentaire abondante dans la section supérieure de son bassin et ses prédispositions en terme d'aléa torrentiel sont manifestes, pour partie en raison des caractéristiques morphométriques de son bassin versant.

Pourtant, **l'enquête historique** ne révèle que 4 évènements paroxystiques, et un seul pour la période contemporaine. En effet, le **05 août 1997**, un orage particulièrement violent centré sur le Pic des Prés-les-Fonts a provoqué une crue relativement importante du Grand Tabuc. De forte intensité et dominée par du charriage hyperconcentré (Ancey, 1997), cette crue a emporté 4 bovins et détruits 3 passerelles sur le cône de déjection. Mais globalement, cet évènement s'est révélé plus morphogène que véritablement dommageable.

Jusque récemment, **l'urbanisation du cône** est restée modeste et limitée à ce qui est aujourd'hui à un centre VVF *(Villages Vacances Familles),* implanté dès les années 1960 à distance respectable de la bande active actuelle[105] .

[105] Le bâtiment le plus proche étant situé à plus de 150m de la bande active actuelle.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

D'ailleurs, jusqu'à cette époque, le cône du Grand Tabuc était resté vierge de toute infrastructure anthropique, uniquement exploité à des fins agricoles. Ces divagations incessantes sur le cône déjection et le maintien d'une large bande active renvoyaient sans aucun doute aux habitants de la vallée, notamment ceux du Monêtier-les-Bains, l'image d'un torrent actif dont le voisinage pouvait se révéler particulièrement dommageable. Aussi et surtout, la commune de Monêtier-les-Bains a longtemps privilégié un tourisme "traditionnel", n'intégrant officiellement le complexe touristique de Serre-Chevalier qu'en 1984. **Par ailleurs, le Monêtier-les-Bains ne connaît pas tout à fait la même problématique de gestion du territoire, ou plus exactement de pénurie spatiale, que les communes voisines.** Elle est, par exemple, 5 fois plus étendue que Saint-Chaffrey *(Serre-Chevalier 1300m)* et son entrée tardive dans l'industrie touristique de Serre-Chevalier s'est traduit jusque récemment par une moindre pression immobilière. Au moins a-t-elle été relativement préservée de la fièvre immobilière des décennies 1960 et 1970, qu'ont connu La Salle-les-Alpes et Saint-Chaffrey. Cette absence de proximité géographique immédiate, et donc d'enjeux, explique probablement la faiblesse du référencement historique pour le Grand Tabuc.

D'après nos recherches, **le torrent du Grand Tabuc n'a jamais fait l'objet d'interventions anthropiques majeures dans son bassin versant.** Si le replat des Grangettes, situé sur la retombée orientale du Pic des Prés-les-Fonts a bien été exploité à des fins agro-pastorales, le reste du bassin n'a, semble-t-il, pas fait l'objet de déboisements majeurs ou d'une pression importante liée, par exemple, à l'élevage. L'analyse diachronique confirme ce dernier point, notamment grâce à l'étude et la comparaison de photographies anciennes **[Cf. figure 126]**. Donc, au moins pour la période contemporaine, l'influence anthropique ne s'est jamais directement exercée dans le bassin versant du Grand Tabuc.

Or, la simple comparaison de photographies obliques de la fin du 19^{ième} siècle avec des clichés actuels suffit à apprécier la rétraction de la bande active sur le cône, le recul conséquent du glacier du Monêtier et la quasi disparition de celui des Prés-les-Fonts **[Cf. figure 126]**. Dans le bassin versant, la couverture forestière n'a pas considérablement évolué depuis la fin du 19^{ième} siècle. A l'exception toutefois du replat des "Grangettes" qui, bien exposé, a effectivement fait l'objet de quelques défrichements à des fins agricoles. Abandonné depuis plus d'un demi-siècle, ce secteur est aujourd'hui largement et spontanément colonisé par une forêt, composée pour l'essentiel de mélèzes et de pins noirs.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr



Figure 126: Evolution contemporaine du torrent du Grand Tabuc.

A noter le recul généralisé des glaciers du Monêtier et des Prés-les-Fonts et la rétraction de la bande active du Grand Tabuc sur son cône de déjection. L'encadré blanc correspond au secteur dit des "Grangettes". Le cercle rouge localise le cône de déjection du Grand Tabuc.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

3.3.4.2. *Évolution contemporaine de la bande active dans la section supérieure du bassin torrentiel.*

Nous l'avons vu, le torrent du Grand Tabuc semble avoir sensiblement évolué au cours de la période contemporaine, au moins sur son cône. Le témoignage morphologique le plus probant de ces modifications est sans conteste la rétraction de la bande active en fond de vallée. Or, en comparaison des torrents étudiés précédemment, l'évolution de ce torrent au cours du siècle dernier semble essentiellement liée aux variations des paramètres "naturels".

Pour préciser les modalités de la rétraction de la bande active, et en dehors des documents déjà évoqués, nous avons tout d'abord eu recours à une analyse diachronique de photographies aériennes tant sur le cône de déjection que dans la section supérieure du bassin. En fonction de leur couverture spatiale, les clichés employés s'étalent de 1939 à 2003 sur le cône de déjection et de 1952 à 2003 pour la zone d'épandage fluvio-glaciaire à l'amont du bassin. Après numérisation, ces clichés ont tous fait l'objet d'un redressement géométrique *(Er Mapper 6.4®)* par triangulation entre les amers. Après ce traitement et leur géolocalisation, l'ensemble des mesures a été réalisé sous SIG *(MapInfo 7.5©)*. Les valeurs obtenues ont été intégrées sous forme d'une base de données spatialisée dans le SIRTOS[106] 2008. Au final et uniquement pour les sites étudiés dans le Grand Tabuc, plus de 1500 mesures *(indirectes)* ont été réalisées sur ce secteur.

Les figures suivantes retranscrivent et synthétisent une partie des investigations menées sur ce torrent. Par exemple, pour l'évolution de la largeur de la bande active torrentielle sur la zone d'épandage fluvio-glaciaire entre 1952 et 2003, 97 transects ont été effectués sur chaque extrait photographique redressé avec un pas de 10 mètres. Toujours pour exemple, la pente moyenne du cône du Grand Tabuc nous a permis, par le redressement géométrique des extraits *(50 amers minimum par extrait)*, d'atteindre une marge d'erreur réelle[107] comprise entre 1,5 mètre dans la zone distale et 3 mètres à l'apex du cône torrentiel.

[106] SIRTOS : Système d'Informations sur le Risque Torrentiel à Serre-Chevalier.

[107] Cette marge d'erreur réelle a été déterminée par la comparaison des mesures sur le terrain *(au tachéomètre infrarouge de type Leica® 701S ou au décamètre manuel)* avec celles faites sur les clichés redressés.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Nous avons choisi dans un premier temps de focaliser notre analyse sur la photo-interprétation de l'amont du bassin versant, dans le *"vallon du Grand Tabuc"*. Ce secteur relativement peu pentu forme une vaste zone d'épandage fluvio-glaciaire, et constitue encore aujourd'hui pour partie, la marge périglaciaire du glacier du Monêtier.

La proximité du front du glacier, l'abondance des héritages glaciaires et/ou périglaciaires, la gélifraction affectant efficacement les parois et l'absence de véritable contrainte au transit sédimentaire font de ce secteur la principale source sédimentaire du Grand Tabuc. Le stockage sédimentaire est ici important, et la forme en dôme que prend ce secteur témoigne de dynamiques aggradantes et d'un fort transit sédimentaire. La modestie des pentes, l'abondance de la charge sédimentaire, et l'importance des écoulements de fusion (Carenco, 1982) induisent de nombreuses divagations torrentielles et une grande sensibilité de ce secteur à toute variation environnementale. L'analyse diachronique menée dans ce secteur a été basée sur l'utilisation de 4 clichés aériens datant de 1952, 1981, 1999 et 2003 .**Au cours de la période étudiée, la** bande active s'est réduite d'un peu plus de 60%, passant de 12,4 ha en 1952 à 4,8 ha en 2003 **[Cf. figure 127]**. Cela représente une réduction annuelle moyenne de l'ordre de 0,14 ha.

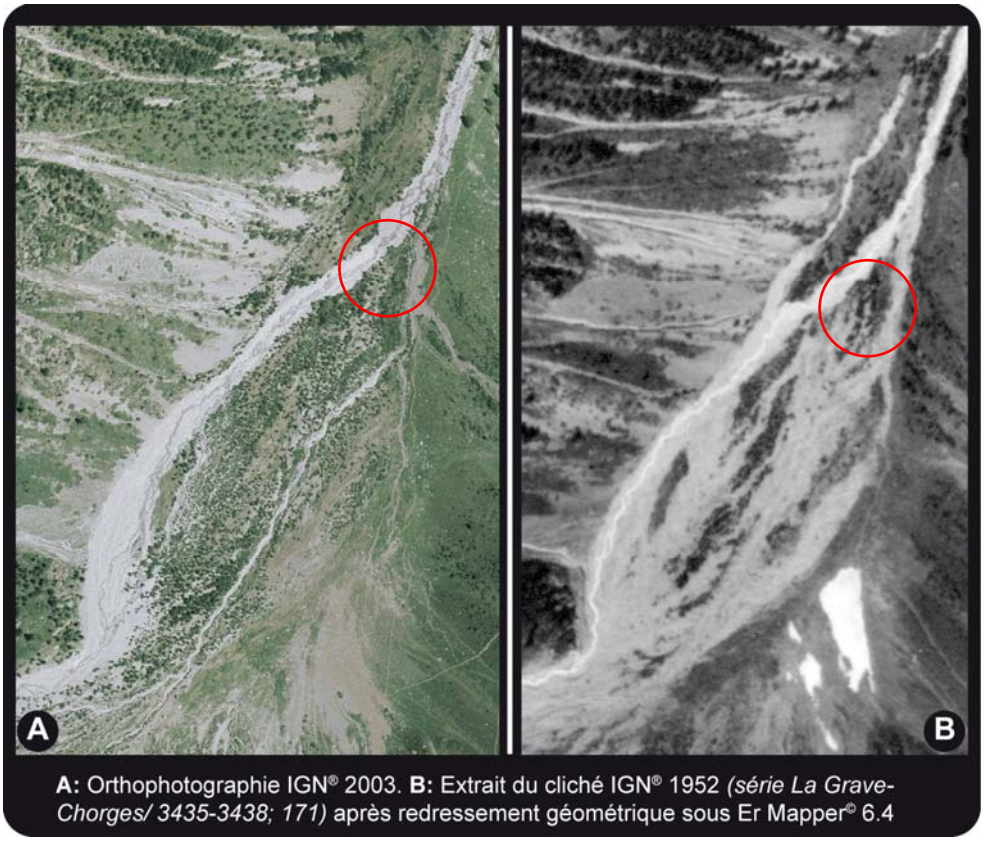


Figure 127: Comparaison et quantification de la rétraction de la bande active après redressement géométrique de clichés aériens (1952 et 2003) dans le haut bassin versant du Grand Tabuc.

A noter l'importance des apports latéraux par des processus de coulées de débris ou d'avalanches qui s'exercent sur des tabliers d'éboulis ou dans des formations morainiques quaternaires. Les cercles rouges signalent un secteur ayant fait l'objet de datations dendrochronologiques.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

En 1952 la bande active du Grand Tabuc occupait presque intégralement le fond du vallon, mais **un certain nombre de secteurs étaient déjà stabilisés et en partie végétalisés**, notamment dans la zone centrale**. La dynamique de rétraction de la bande active était donc amorcée antérieurement et a probablement dominé la plus grande partie de la période contemporaine**.

Pour le vérifier, 45 carottes ont été prélevées sur des *Pinus Uncinata (Pin noir)* dans la partie aval de ce secteur **[Cf. figure 128]**. La moyenne de ces datations s'établit ici à 83 ans ± 15 ans. En tenant compte du temps d'écèse et de la marge d'erreur inhérente à ce type de datation, on peut estimer que le boisement, et donc la stabilisation de ces sites, a débuté dès le début du 20^{ième} siècle.

Le site étudié est en grande partie hérité et présente une forme en "dôme". Il est donc logique que les sites les plus élevés de la zone axiale aient été les premiers à se stabiliser.



Figure 128: Section supérieure du torrent du Grand Tabuc, stabilisée et spontanément végélalisée au cours de la période contemporaine.
24/07/2006. Panorama réalisé sous Microsoft® ICE *Cliché L.Thénard.*

Les résultats issus du traitement des clichés aériens montrent que **cette dynamique s'est poursuivie et même accélérée depuis 1950 jusqu'aujourd'hui. [Cf. figure 129]**. Cette dernière tendance est même assez franche puisqu'en l'espace de 3 décennies *(1952-1981)*, les secteurs régulièrement remaniés par le torrent se sont réduits de près de 37%, ce qui équivaut à une rétraction de l'ordre de 3,5 ha. **Pour la période récente (1981-2003)**, le phénomène s'est largement poursuivi puisqu'en 22 ans, le torrent a abandonné plus de 4 hectares par rapport à 1981, passant sur ce secteur d'une largeur moyenne de 77 mètres à moins de 49 mètres.

Aujourd'hui, l'emprise du torrent ne s'exerce plus que dans la partie occidentale du vallon du Grand Tabuc, les branches orientales ayant été progressivement abandonnées, ouvrant ainsi la voie à une végétalisation spontanée couvrant aujourd'hui plus de 70% des espaces libérés entre 1860 et 2100 mètres d'altitude.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

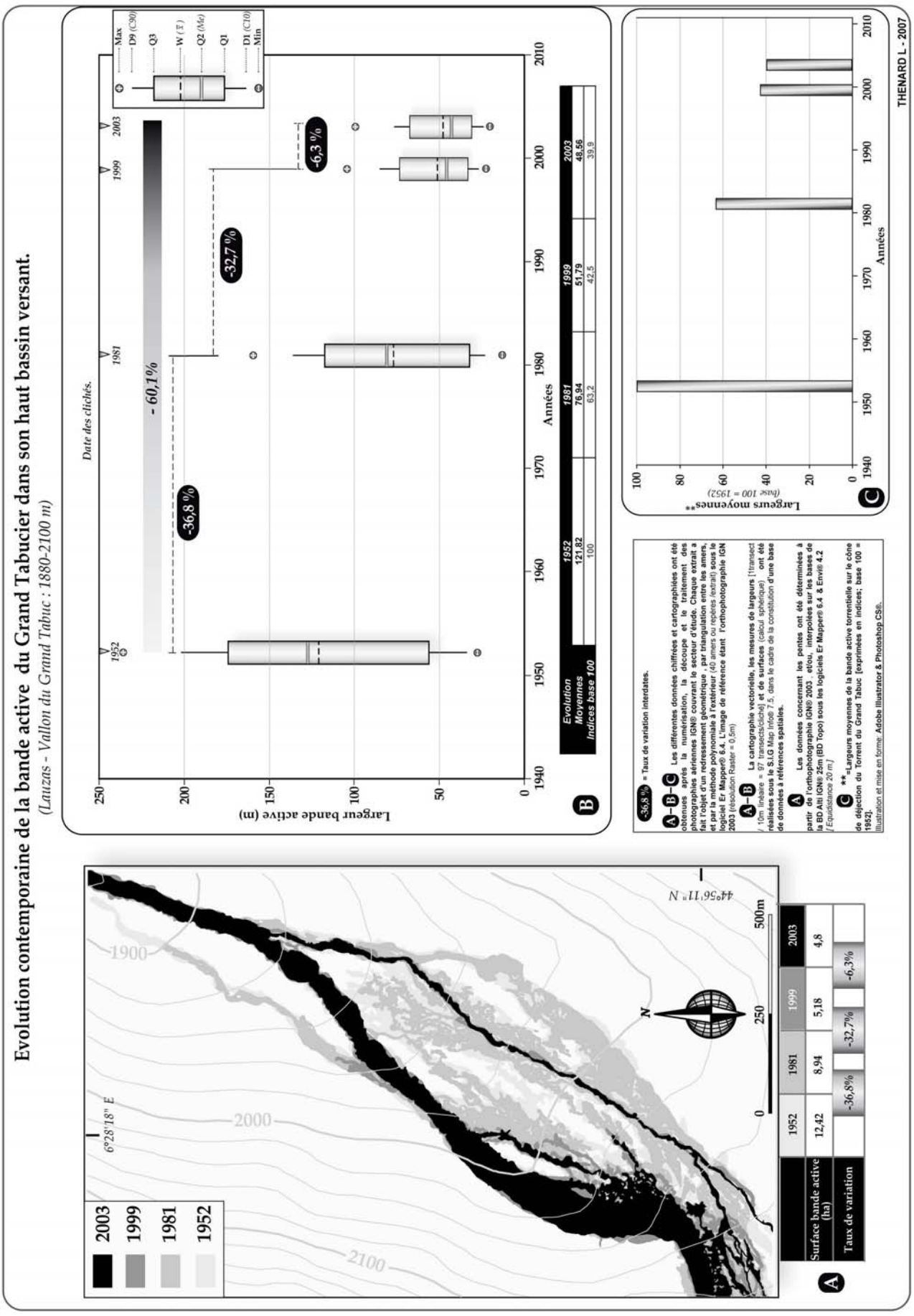


Figure 129: Evolution contemporaine de la bande active du Grand Tabuc dans son haut bassin. (1952-2003).

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Sans interventions anthropiques majeures connues, la rétraction de la bande active et la végétalisation spontanée traduisent donc un tarissement progressif du transit sédimentaire qui semble accompagner le réchauffement climatique post-PAG. Des datations lichénométriques récentes effectuées sur la moraine historique du glacier du Monêtier placent le début du retrait glaciaire contemporain vers 1870-80 (Cossart, 2005). L'évolution des conditions bioclimatiques contemporaines et surtout récentes apparaissent sensibles sur cette marge proglaciaire. Les dernières décennies montrent même une certaine accélération de cette dynamique.

Dans cette section supérieure de son bassin, le Grand Tabuc montre une tendance récente à l'**incision** **[Cf. figure 130]**. Elle s'affirme dès la sortie des cordons morainiques proglaciaires en tête de bassin, avec un enfoncement de l'ordre de 1,5 à 2 mètres en moyenne *(entre 2400 et 2060 m d'altitude)*, incision observée récemment par Cossart (2005).



Figure 130: Section supérieure du torrent du Grand Tabuc en cours d'incision
(entre 1,5 et 2 mètres en moyenne). - 24/07/2006. *Cliché L.Thénard.*

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Ces observations en rejoignent d'ailleurs d'autres **concernant l'évolution des coulées de débris à haute altitude dans le massif des Ecrins.** Ces études démontrent que depuis 1980, le recensement des coulées de débris inférieures à 400 mètres de longueur marque une baisse sensible en dessous de 2200 m d'altitude (Jomelli et al., 2004 ; Jomelli et al., 2007) **[Cf. figure 131]**. Fort logiquement, cette tendance a été mise en relation avec la baisse constatée de la fréquence, de l'intensité et de la durée de la gélivation dans ces étages périglaciaires alpins. Les auteurs soulignent à juste titre que l'absence de station météorologique à proximité immédiate et le faible recul temporel ne permettent pas d'inscrire cette tendance à plus long terme. Il s'agit donc d'exploiter ces données avec une grande prudence, notamment en terme d'interprétation. Néanmoins, cela tend à confirmer une baisse sensible de l'efficacité des processus périglaciaires sur les versants en deçà de 2500 mètres, et donc une accentuation du tarissement des apports sédimentaires en fond de vallée. Notre étude dans le vallon du Grand Tabuc s'inscrit et corrobore cette tendance.

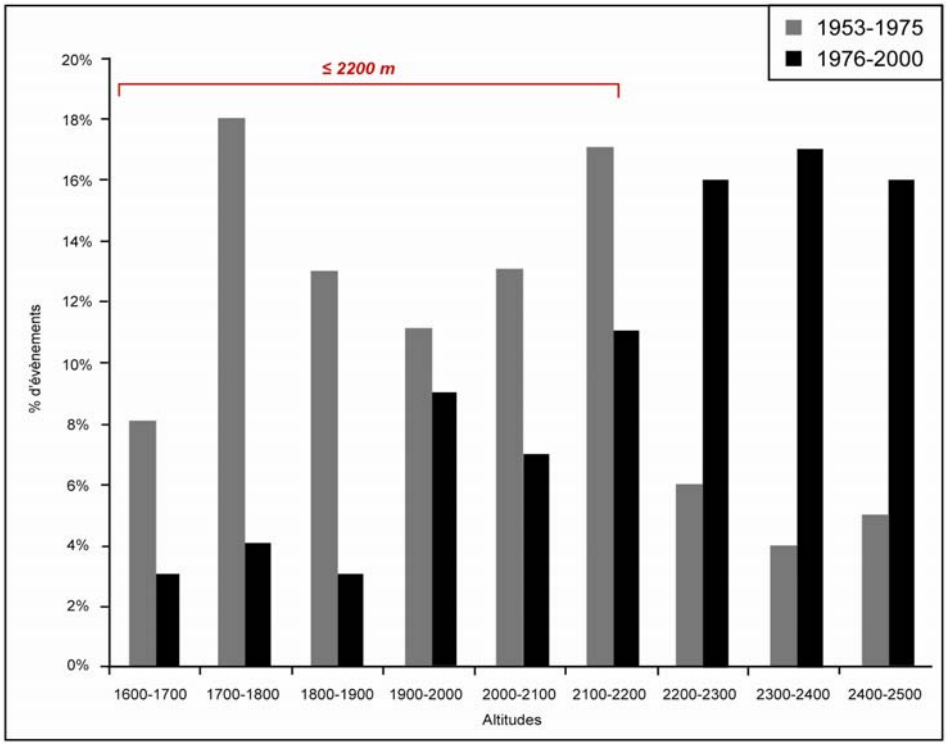


Figure 131: Nombre de coulées de débris inférieures à 400m entre 1952-2000, relié à l'élévation des secteurs étudiés.
Source : Jomelli *et al.*, 2004 in Climatic Change.

Certes, il ne s'agit peut-être que d'une variation ponctuelle des paramètres bioclimatiques ou d'une évolution isolée. Toutefois, nous avons également pu observer dans d'autres bassins des indices d'une stabilisation récente de ravines ou de tabliers d'éboulis. Si cette tendance s'inscrit dans la durée, **il est possible que ces évolutions constituent les premières réponses géomorphologiques tangibles des torrents au réchauffement climatique global annoncé.**

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

3.3.4.3. *Analyse de la rétraction contemporaine et récente du Grand Tabuc sur son cône de déjection.*

Les premiers résultats confirment la rétraction contemporaine de la bande active sur le cône, puisqu'en terme de surface, **elle ne représente plus en 2003 que 30% de ce qu'elle était en 1939,** passant ainsi de 4,6 ha à moins de 1,4 ha **[Cf. figures 132 et 133]**.

En 1939, la largeur moyenne de la bande active était de 55 mètres, pour n'être plus que de 18 mètres en 2003. Evidemment, les valeurs absolues ne sont pas très représentatives car l'élargissement progressif vers l'aval *(divagations)* de la bande active induit une grande variabilité des largeurs mesurées par rapport à ces valeurs moyennes. Les écarts-types *(σ)* associés à ces données l'expriment d'ailleurs très largement. Par exemple, si la largeur moyenne de la bande active était de 55 mètres en 1939, 25% des transects mesurés *(Q_3)* présente des valeurs supérieures à 86 mètres. Plus encore, la moitié d'entre eux *[Q2 (Me)]* montrent des valeurs inférieures à 32 mètres. Une nouvelle fois l'explication essentielle de cette dispersion réside dans les valeurs de pente. Dans la zone apicale, celles-ci demeurent relativement élevées avec une pente moyenne de l'ordre de 15% et le torrent présente encore une physionomie chenalisée. Tandis que dans la zone distale, sur laquelle le torrent divague plus largement, la pente n'excède pas 7%.

Les surfaces boisées sur le cône ont presque triplées durant ce laps de temps, passant d'une couverture de près de 8 ha en 1939 à 23 ha en 2003. Autrement dit, le cône est boisé sur plus du quart de sa surface. Certes, la colonisation végétale spontanée sous forme de ripisylve est importante dans les espaces abandonnés par le torrent au cours des dernières décennies. Néanmoins, cette surface de bande active délaissée, puis colonisée représente 3,2 ha sur l'ensemble de la période considérée et il reste donc à expliquer les 10 ha restants. L'analyse diachronique des photographies aériennes **[Cf. figure 132]** montre que cette végétalisation résulte essentiellement de l'abandon d'un certain nombre de parcelles agricoles dès les années 1950. De manière plus ponctuelle, les rives de la Guisane se sont également couvertes d'une végétation alluviale, notamment sur sa rive droite, à l'amont de sa confluence entre le Grand Tabuc et la Guisane.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

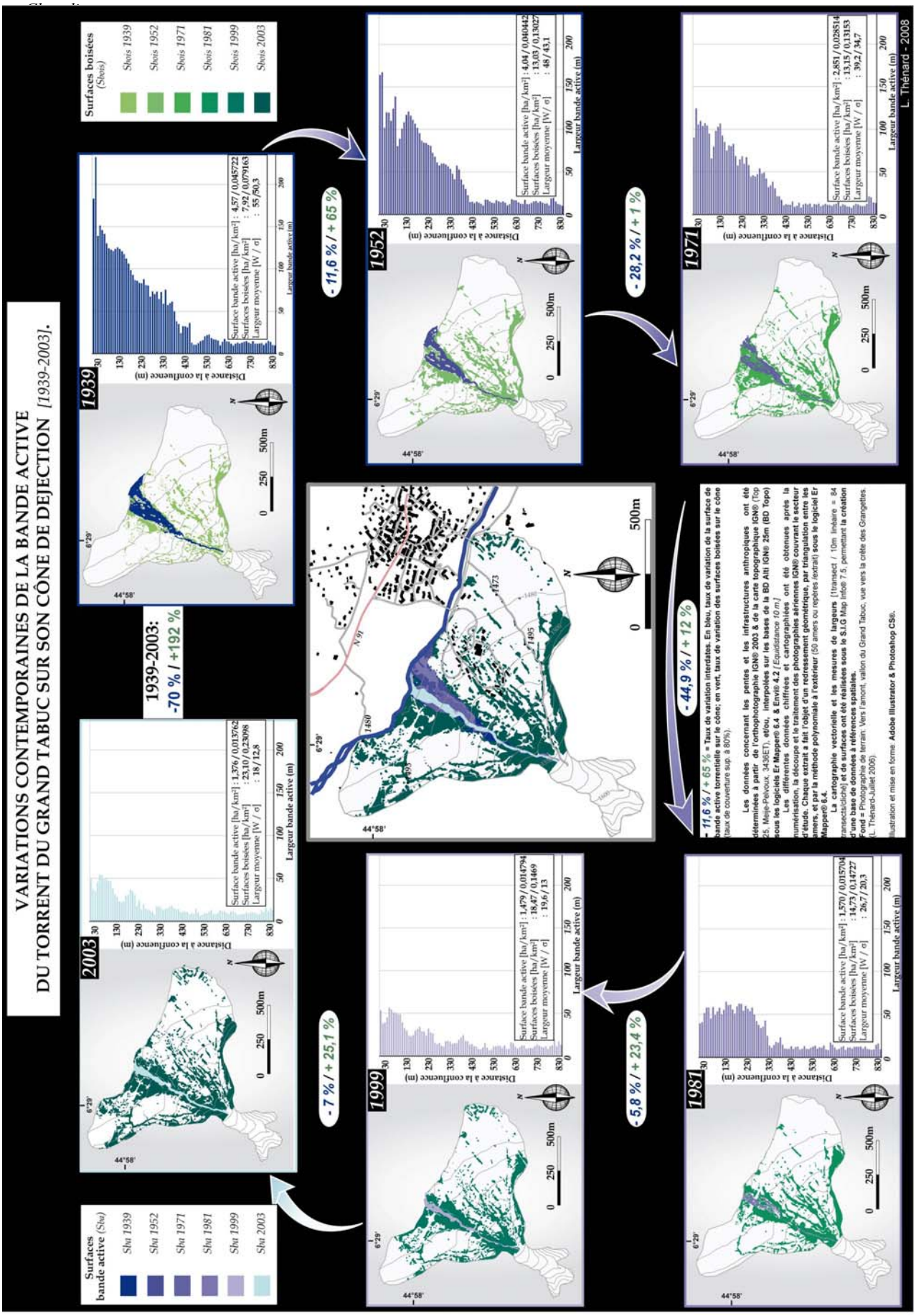


Figure 132: Variations contemporaines de la bande active du torrent du Grand Tabuc sur son cône de déjection (1939-2003).

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Si en moyenne, ce torrent a abandonné 10% de sa bande active par décennie *(en surface)* depuis 1939, les différentes analyses effectuées nous ont permis également de préciser la chronologie de cette rétraction. Évidemment, en raison de la dispersion qui caractérise ces données, ces valeurs moyennes tendent à lisser et à uniformiser une évolution qui, en réalité, se révèle toujours plus complexe et contrastée.

Pour commencer, et conformément aux observations réalisées dans le haut bassin, cet ajustement dynamique est antérieur au cliché de 1939. Certains bancs sont déjà végétalisés et manifestement en cours de stabilisation au sein même de la bande active. Néanmoins, ces bancs ne s'observent qu'à proximité immédiate de la confluence avec la Guisane. Dans cette zone distale et sur plus de 200 mètres en amont, les largeurs de bande active restent importantes puisque tous les transects réalisés présentent des valeurs supérieures à 100 mètres. Toujours dans la section aval du cône, la rive gauche du Grand Tabuc est déjà couverte en 1939 d'une forêt alluviale relativement dense et manifestement implantée depuis plusieurs décennies **[Cf. figure 132]**. **La rétraction de la bande active sur le cône du Grand Tabuc procède donc d'un ajustement dynamique amorcé depuis au moins le premier quart du 20^{ième} siècle.**

En raison de l'atténuation progressive des pentes, la portion de la bande active située sur la zone distale est sans aucun doute le secteur le plus sensible et le plus précocement concerné par la rétraction torrentielle. La faiblesse des pentes à cet endroit implique une perte d'énergie des flux torrentiels et, par conséquent, une dissipation des écoulements. En fonction des variations de débits *(saisonniers ou quotidiens)*, cela se traduit par un élargissement sensible de la bande active sur le secteur. Au final, les réponses hydro-géomorphologiques aux évolutions contemporaines du régime hydrologique et du transit sédimentaire se font ressentir en premier lieu sur ces secteurs.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Dans le détail et conformément à ce que nous venons d'évoquer, c'est bien dans la section aval de la bande active que l'on peut apprécier la poursuite et l'accentuation sa rétraction :

- **Entre 1939 et 1952**, la surface de la bande active du Grand Tabuc s'est réduite d'environ 12% essentiellement dans la zone distale. Pour l'instant, il s'agit de stabilisations ponctuelles dans la zone axiale de la bande active. D'ailleurs, ces bancs stabilisés puis végétalisés s'inscrivent dans la continuité du processus engagé avant 1939, puisqu'ils étaient déjà visibles sur ce dernier cliché. En fait ces **bancs "pionniers"** n'ont fait que s'accroître progressivement, probablement à la faveur d'un léger tarissement du transit sédimentaire ou de remaniements moins intenses.

- **Sur le cliché de 1952,** on observe dans la zone distale l'apparition de nouveaux bancs végétalisés ou en passe de le devenir, plutôt localisés sur les marges de la bande active. Dans l'axe de la bande active, le banc le plus étendu et probablement le plus ancien *(présent en 1939)* a créé une zone de protection, favorisant la formation et la stabilisation d'un nouveau banc à l'aval. Cette évolution s'est poursuivie relativement rapidement car sur le cliché de 1952, on remarque déjà une coalescence de ces bancs. Le phénomène n'a fait que s'amplifier durant les décennies suivantes, avec non seulement un élargissement conséquent des secteurs stabilisés, mais aussi une "évolution régressive axiale" *(vers l'amont)*.

- L'analyse comparative des clichés antérieurs **à celui de 1971** montre que globalement cette évolution s'est poursuivie dans des proportions relativement similaires. En surface, **la bande active s'est effectivement rétractée de près de 30% entre 1952 et 1971** ; sur deux décennies donc, alors que la comparaison précédente s'étalait sur 13 années.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

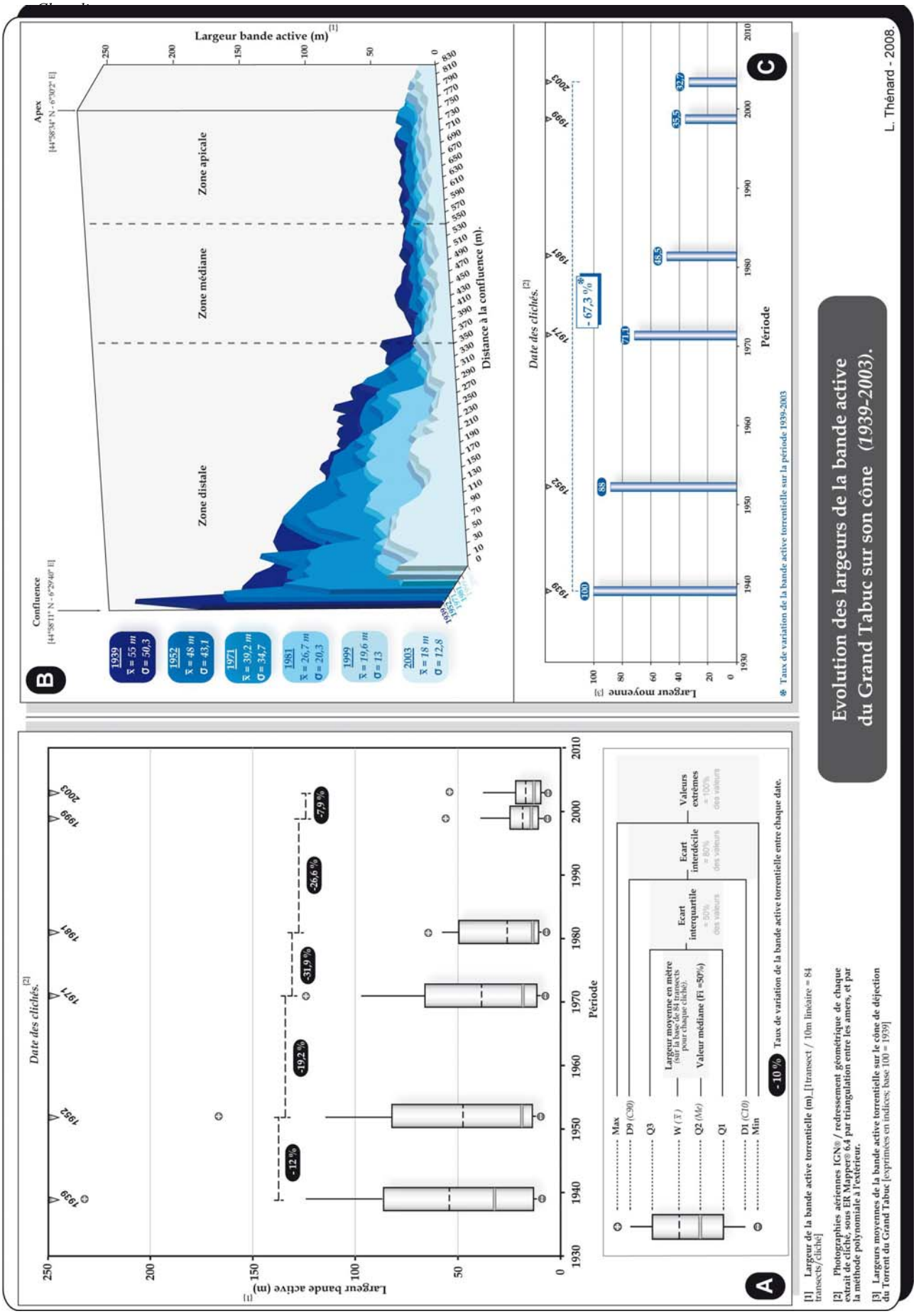


Figure 133: Analyse de l'évolution de la largeur de la bande active du Grand Tabuc sur son cône (1939-2003).

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Dans cette analyse par photo-interprétation, **l'année 1971 marque une rupture importante** dans l'évolution géomorphologique du Grand Tabuc sur son cône. En effet, à cette date et dans la section aval, **la bande active se présente désormais selon deux branches disjointes** résultant de la "stabilisation régressive axiale" évoquée ci-avant. Ce seuil de la décennie 1970 s'exprime plus encore dans la variation de la surface et des largeurs de la bande active entre **1971 et 1981 [Cf. figures 132 et 133]**. En l'espace de dix ans, la surface occupée par la bande active est passée de 2,9 ha en 1971 à 1,6 en 1981, soit **une perte de surface de l'ordre de 45%** entre ces deux dates.

La traduction des largeurs moyennes en indice *(1939 = base 100)* permet également d'apprécier cette accélération de la rétraction au cours des années 1970. En 1971, la largeur moyenne *(39,2 m)* représentait encore plus de 70% de ce qu'elle était en 1939 *(55 m)*. Or, dix ans après *(1981)* la bande active était de moitié moins large qu'en 1939. Ce changement très rapide apparaît cette fois peu en phase *(intensité de la rétraction)* avec les évolutions antérieures.

A partir du cliché de 1981 et pour la première fois, **l'influence anthropique** intervient nettement dans l'évolution de la bande active sur le cône. Si depuis les années 1960, l'urbanisation s'était limitée à quelques infrastructures sur la marge méridionale du cône, le cliché de 1981 montre que des aménagements ont été réalisés juste en amont de la confluence avec la Guisane et au sein même de la bande active. Pour la première fois sur la période étudiée, l'homme intervient et perturbe une évolution jusque là et apparemment, naturelle. Sur le cliché de 1981 et les suivants, **une ligne électrique** aérienne traverse le cône du Grand Tabuc à la perpendiculaire de la bande active. Son implantation a nécessité une coupe franche à travers la ripisylve et des remblais pour ancrer le socle des pylônes.

L'impact de ces aménagements s'est essentiellement fait ressentir en rive droite du Grand Tabuc par la déconnexion définitive de la branche méridionale de la bande active présente sur le cliché de 1971 **[Cf. figure 132]**. A partir de 1981, le processus de rétraction de la bande active est très largement avancé car le Grand Tabuc adopte désormais un style assez chenalisé sur la plus grande partie de son cône.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Les décennies suivantes *(1981-2003)* verront quelques ajustements s'opérer et cette dynamique se poursuivre, mais dans des proportions bien inférieures aux périodes précédentes. En revanche, la colonisation forestière s'est nettement accrue en particulier en rive droite. Et ce n'est pas l'évènement paroxystique du 05 août 1997 qui est venu contrarié cette tendance globale à la rétraction.

À noter, que durant cette période de nouveaux aménagements ont concerné la bande active du Grand Tabuc. **Dans le cadre du développement de Serre-Chevalier, une piste de ski de fond traverse désormais la bande active à une dizaine de mètres de la confluence avec la Guisane [Cf. figure 134]**. Elle a été réalisée sous la forme d'un talus, et les matériaux utilisés ont été directement puisés dans le lit torrentiel. Une buse d'environ 1 ,5 m de diamètre permet également aux écoulements du Grand Tabuc de rejoindre la Guisane et de limiter les dégradations sur la piste dans le cadre des écoulements "habituels".



Figure 134: Confluence du Grand Tabuc avec la Guisane.

A noter la piste de ski de fond implantée à la fin des années 1990. 24/07/2006.*Cliché : L. Thénard.*

A l'issue de cette première analyse, il apparaît que le processus de rétraction du Grand Tabuc sur son cône s'est engagé depuis au moins un siècle. Nous avons également vu que par ses interventions récentes, l'homme avait fortement accéléré cette dynamique.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

En complément, **3 transects topométriques**[108] ont été effectués pour préciser les modalités de la rétraction. Afin de maintenir une cohérence avec les commentaires précédents nous avons intégré dans les figures 137, 138, et 139, une partie des données issues de la photo-interprétation *(largeurs de bande active et ripisylve)*. Par ailleurs, des **datations dendrochronologiques** ont été effectuées pour déterminer la chronologie de la rétraction avant 1939.

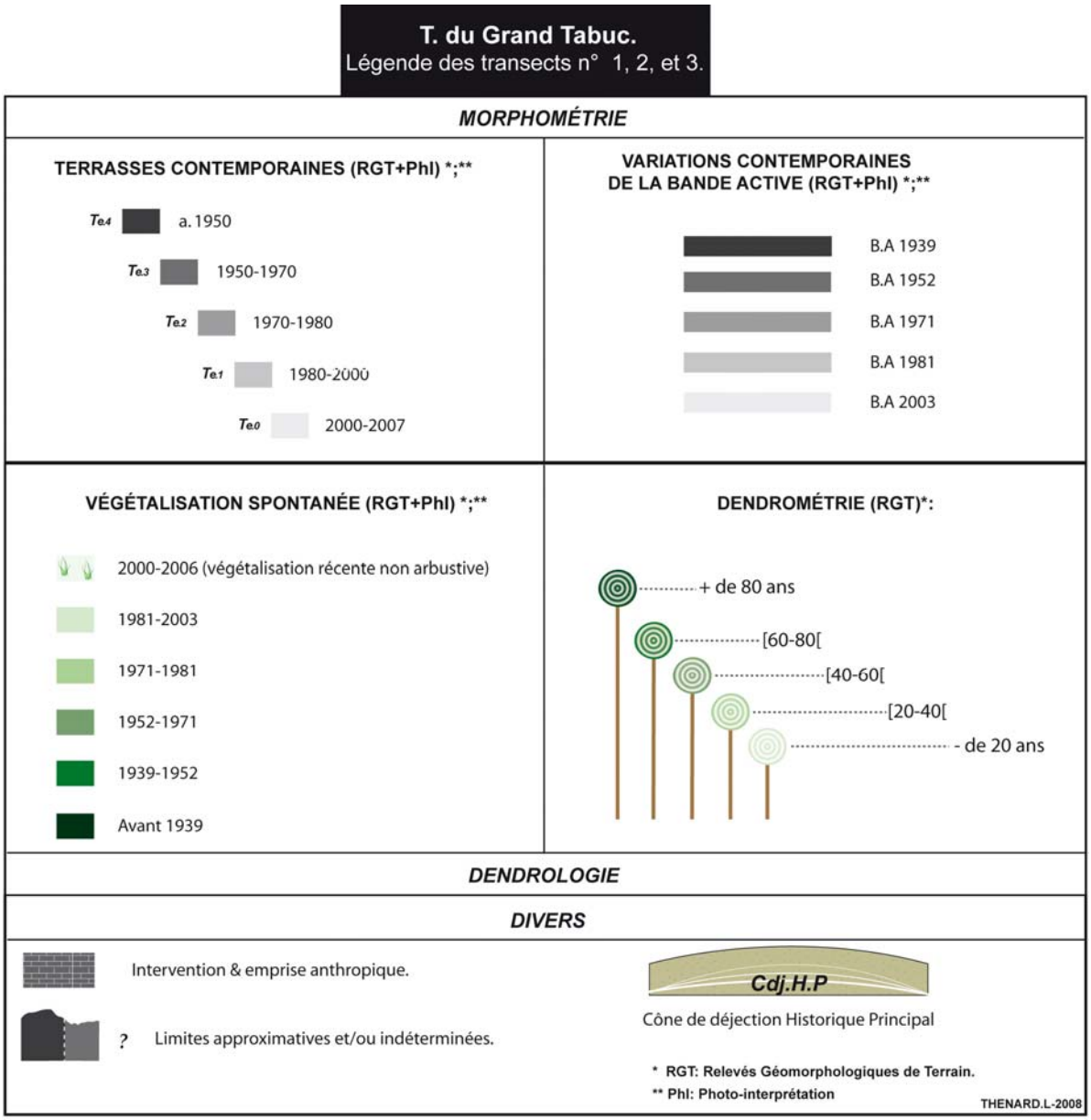


Figure 135: Légende des transects morphométriques n°1,2, et 3.

[108] Ces profils en travers ont été réalisés soit en associant un décamètre manuel et un télémètre infrarouge (Profil n°1) soit au tachéomètre infrarouge de type Leica® 701S.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

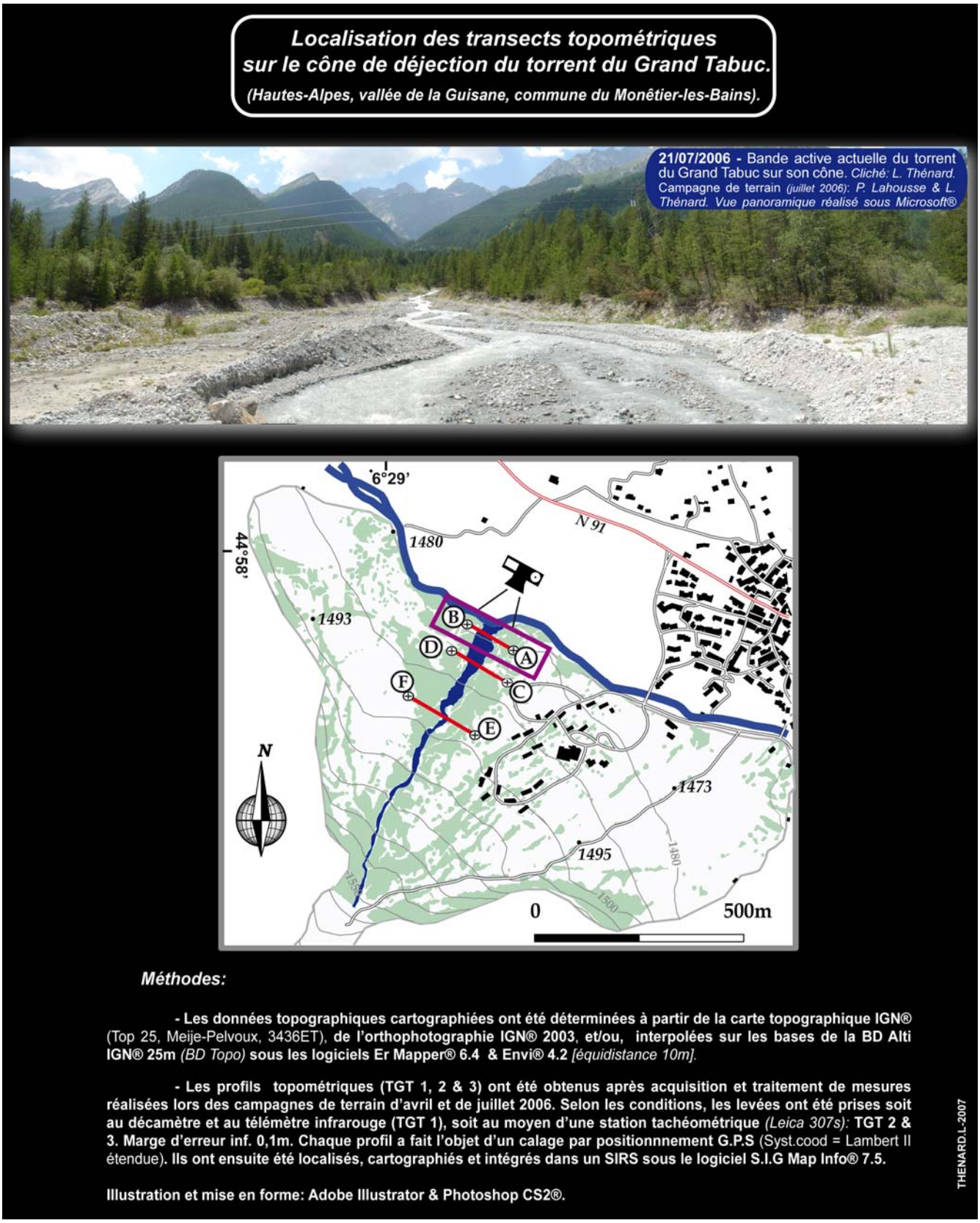


Figure 136: Localisation des transects morphométriques sur le cône de déjection du torrent du Grand Tabuc.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Ces 3 profils se localisent dans les zones médianes *(profil n°1)* distales *(profil 2 et 3)* du cône **[Cf. figure 136]**. Pour plus de logique, notre commentaire s'effectuera dans le sens des écoulements, en commençant donc par l'étude **du profil n°3.**

- Tout d'abord, les secteurs correspondants aux extrémités du profil étaient déjà densément boisés sur le cliché aérien de 1939 et le sont restés. Les carottages montrent d'ailleurs que ces arbres se sont implantés depuis au moins 90 ans, et qu'un certain nombre d'entre eux dépasse le siècle. En se rapprochant ensuite de la bande active actuelle, mais toujours aux extrémités du profil (3), des talus s'individualisent assez nettement dans la topographie. Les datations effectuées donnent des valeurs généralement comprises entre 60 et 80 ans. L'importance des ruptures de pente, en particulier dans le secteur de rive gauche, laisse à penser qu'il s'agit **de la limite de la bande active à la fin du PAG** ou au moins au début de la période contemporaine. Cette ancienne bande active aurait donc atteint une largeur maximale de 140 mètres, alors qu'elle n'est plus que de 12 mètres aujourd'hui !

- **Le secteur de rive gauche** présente une topographie "bombée" caractéristique de dynamiques torrentielles aggradantes. Indéniablement, ces secteurs ont été abandonnés de manière précoce et constituent la première phase de la rétraction post-PAG. Les données dendrochronologiques confirment que cette stabilisation et la colonisation végétale associée ont vraisemblablement débuté dès le premier quart du 20^{ième} siècle.

- **Pour le secteur de rive droite**, le transect et les datations confirment l'évolution déjà mise en avant par la photo-interprétation, avec notamment le banc "pionnier" apparut durant la décennie 1940, à partir de laquelle la bande active s'est scindée en deux branches distinctes.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

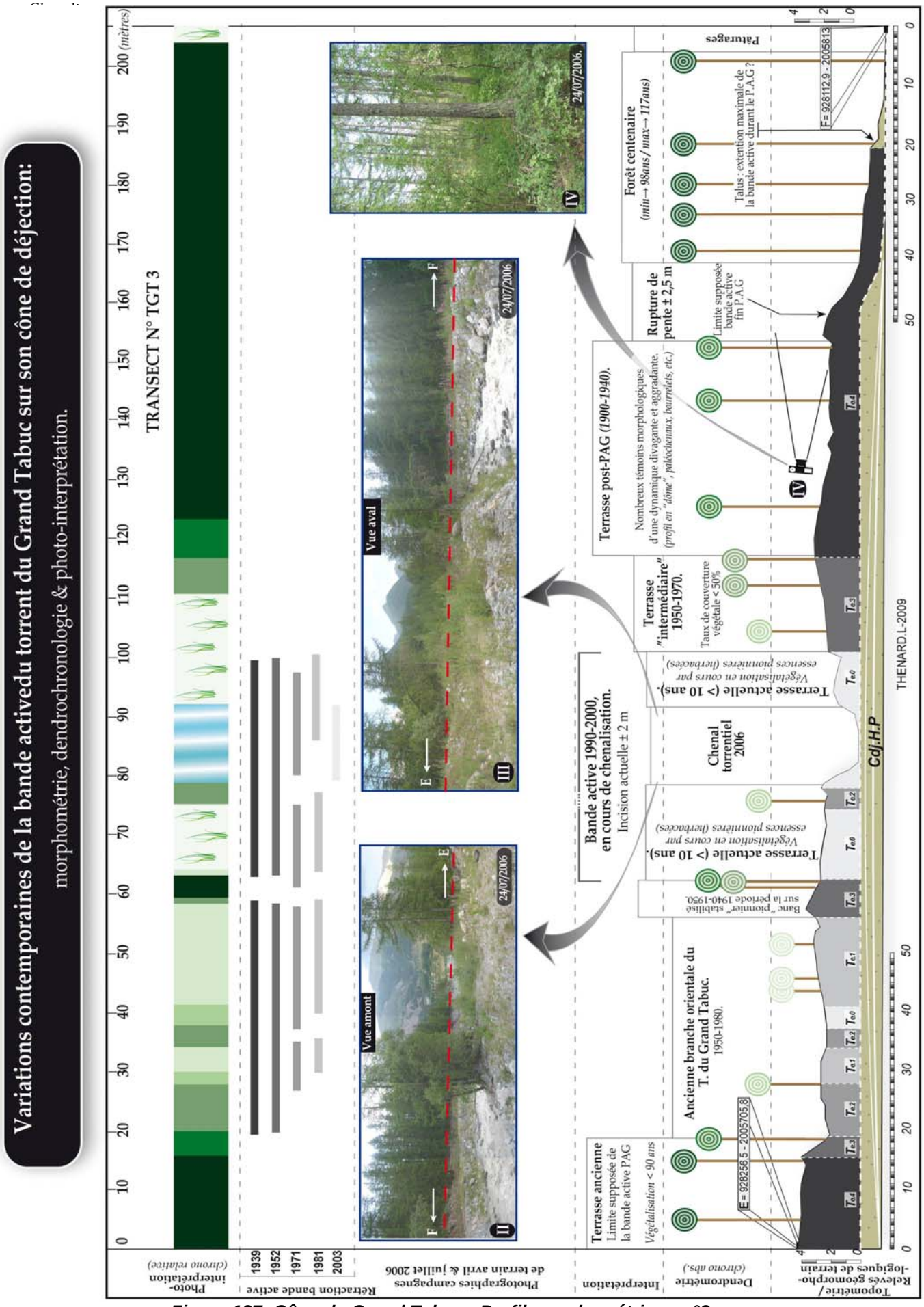


Figure 137: Cône du Grand Tabuc - Profil morphométrique n°3.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

- Viennent ensuite **les zones limitrophes de la bande active actuelle** qui portent manifestement la marque d'une évolution morphologique récente et d'importance. Ce que nous avions interprété dans un premier temps comme de la bande active sur les clichés aériens de 2003, **se révèle être en réalité des terrasses récentes. [Cf. figure 137**, photographies II et III]. La présence de quelques herbacées confirment le caractère récent du **processus d'incision sur le cône**. Cette incision est d'importance puisqu'elle s'établit à environ 2 mètres sous le niveau de l'"ancienne" bande active[109].

Loin d'être un fait isolé, cette incision se manifeste également à l'aval dans des proportions tout à fait comparables. En effet, **les profils 2 et 3** montrent également une tendance à l'incision de la bande active. Les 3 transects prouvent également que la dynamique contemporaine dominante était bien jusqu'à présent la rétraction de la bande active, sans qu'elle ne se soit encore traduite par un enfoncement du lit.

Or, nous avons signalé dans notre analyse du haut bassin versant que le Grand Tabuc était également en cours d'incision. **Il s'agit donc d'une incision progressive, se "propageant" de l'amont vers l'aval, concernant l'ensemble du lit torrentiel**. D'ailleurs, le profil n°1 montre que par ces actions l'homme a accéléré la rétraction de la bande active sur le cône mais également qu'il n'en est pas pour autant directement à l'origine.

Ces résultats démontrent qu'il s'agit bien pour ce torrent d'une évolution "naturelle" répondant à un tarissement des sources et du transit sédimentaire. Ce dernier étant sans doute liée à une modification sensible du contexte bioclimatique, en particulier dans l'étage périglaciaire. Ces analyses de terrain attestent également que **les deux dernières décennies semblent constituer un seuil morphodynamique important pour le Grand Tabuc**. Malgré la rétraction de sa bande active, ce torrent a maintenu durant toute la période contemporaine un style divaguant. **Or, l'incision progressive constatée tend actuellement à concentrer les écoulements du Grand Tabuc évoluant ainsi rapidement vers un style incisé sur son cône.**

[109] Ce secteur se situe bien en amont des aménagements et des perturbations anthropiques récents que nous avons évoqués dans les paragraphes précédents.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

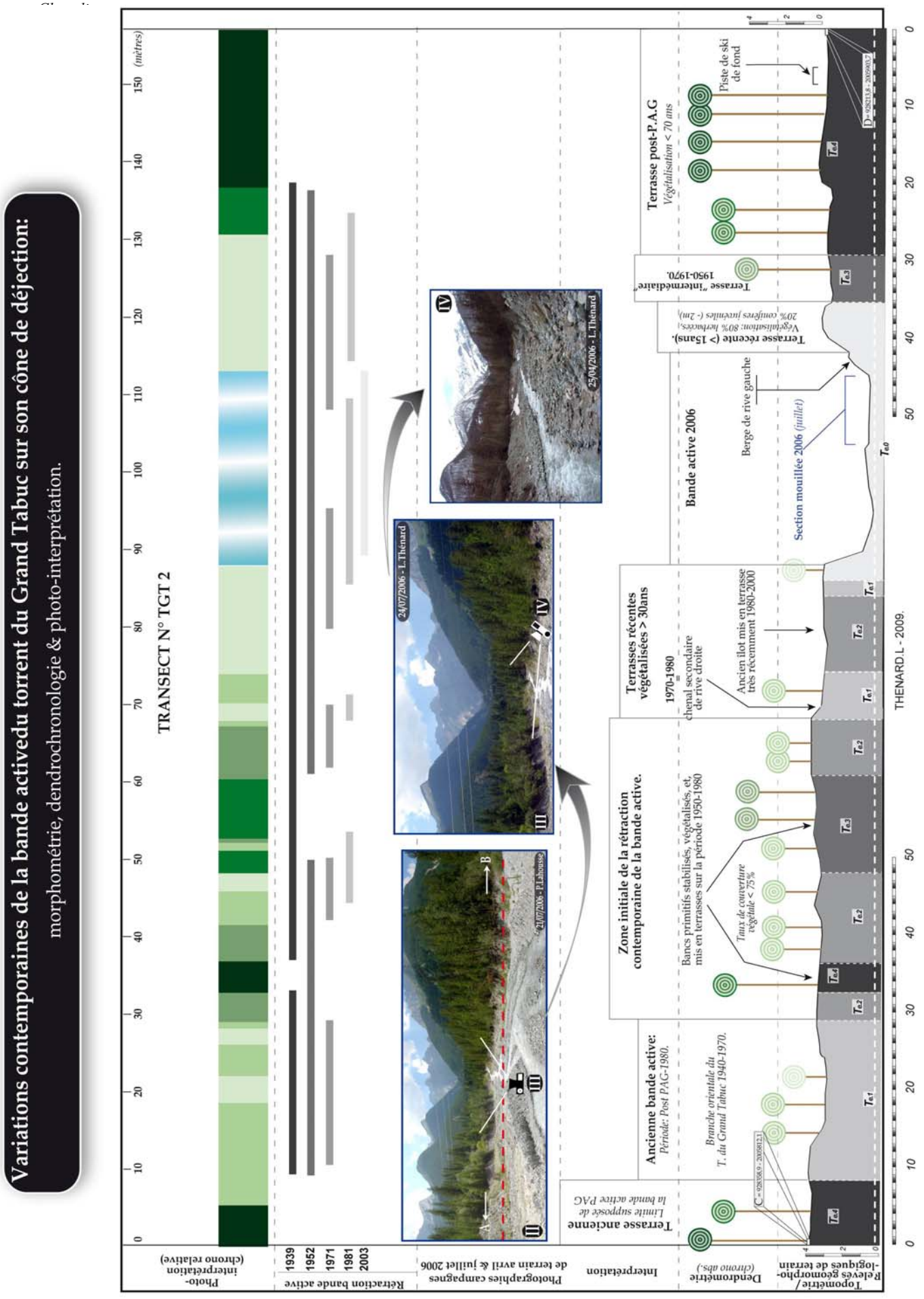


Figure 138: Cône du Grand Tabuc - Profil morphométriques n°2.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

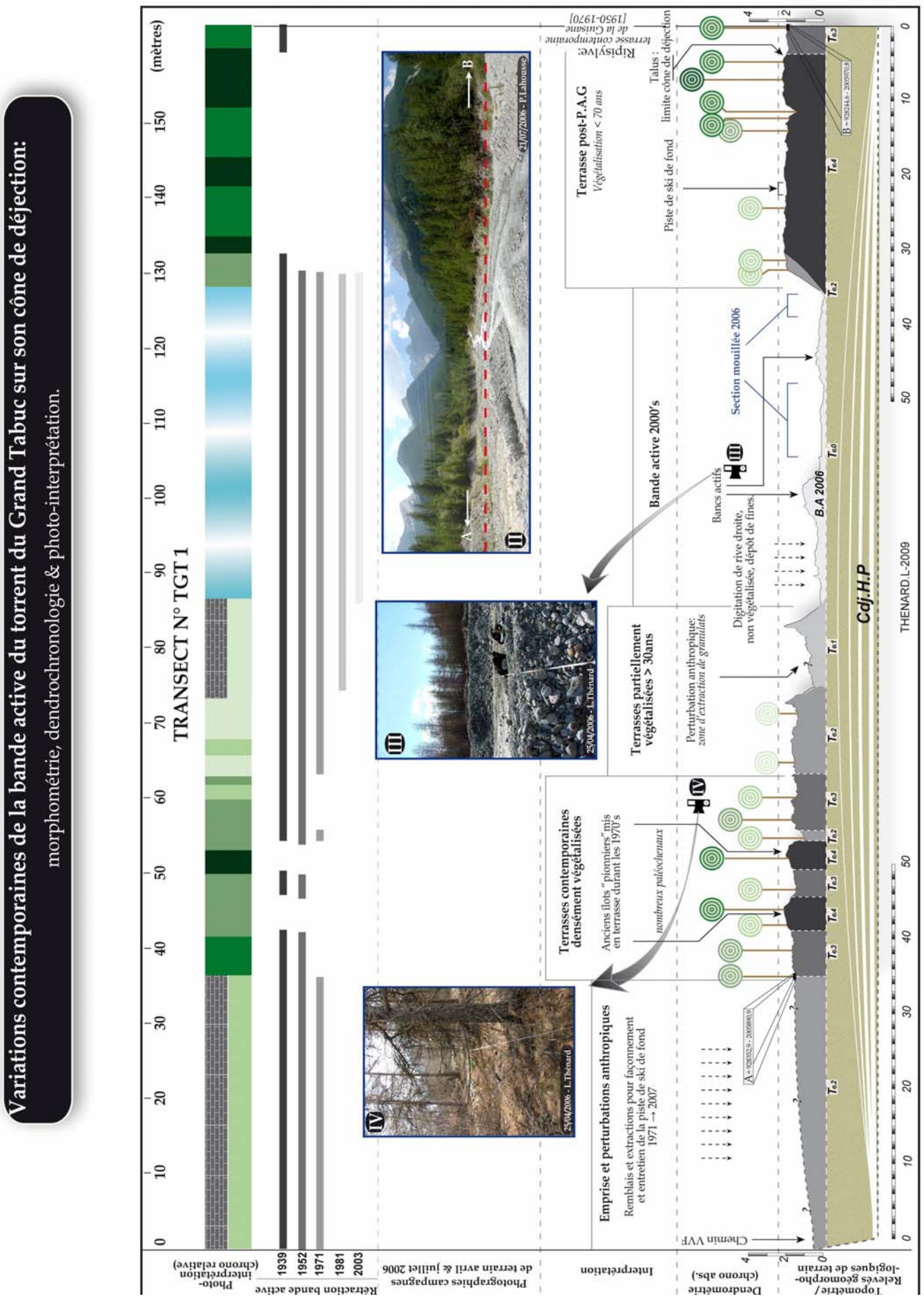


Figure 139: Cône du Grand Tabuc - Profil morphométriques n°1.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Manifestement précoce, la chronologie de la rétraction contemporaine du Grand Tabuc sur son cône semble correspondre globalement à celle mise en avant *(fin 19^{ième} – début 20^{ième})* pour d'autres organismes torrentiels dans le Briançonnais (Garitte, 2006) ou sur la Durance (Miramont *et al*., 1998). Jusque dans les années 1970, cette rétraction de la bande active s'inscrivait comme une réponse du torrent aux évolutions contemporaines de paramètres "naturels". Néanmoins, nous avons vu que, parallèlement au développement économique et spatial de Serre-Chevalier, une première intervention anthropique dans les années 1970 avait eu pour conséquence immédiate l'accélération du processus de rétraction *(- 45% en surface sur 10 ans)*. Par suite, cette "interférence anthropique" (Gauthier, 1994) s'est encore renforcée par le passage d'une piste de ski de fond dans le lit torrentiel.

Si par ses aménagements l'homme n'a fait qu'accélérer et accompagner un processus déjà engagé depuis des décennies, l'évolution de la bande active du Grand Tabuc a probablement renvoyé une image d'apaisement et d'une moindre dangerosité à la société. Avec le développement de Serre-Chevalier et les besoins d'espace qui lui sont associés, les interventions anthropiques se sont fait plus pressantes sur le cône. L'urbanisation du cône dès le début des années 1960 n'a été qu'une première étape de l'anthropisation progressive d'un espace jadis considéré comme trop soumis à l'emprise torrentielle pour être bâti.

Aussi et surtout**, l'anthropisation progressive de ce cône constitue un exemple actuel de l'urbanisation qu'a connu la basse vallée dans les décennies précédentes, et par conséquence de la montée de la vulnérabilité.** Hier comme aujourd'hui, lorsque les besoins économiques ou immobiliers se font plus pressants, la méfiance légitime qu'inspiraient les torrents se tarie rapidement face à de possibles et immédiates retombées socio-économiques. Quelle soit effective ou non, la mémoire du risque est le plus souvent rapidement supplantée par les aspirations ou les convoitises accompagnant le développement économique. Sans autres études préalables *(à notre connaissance)*, l'urbanisation actuelle du cône torrentiel du Grand Tabuc procède visiblement de cette logique.

Or, si la rétraction de la bande active relève d'une dynamique globale, elle n'exclue en rien la survenue d'un évènement paroxystique comme, par exemple, celui du 05 août 1997. Fort heureusement, ce dernier s'est révélé plus morphogène que dommageable et les débordements sur le cône ont essentiellement concerné la rive droite, reprenant globalement les limites de l'ancienne bande active *(ante-1971)*.

L'un des enseignements essentiel de cet évènement est que **les digitations torrentielles ont été considérablement limitées dans leur extension grâce à la densité de la végétation alluviale qui enserre l'actuelle bande active** (Ancey, 1997).

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Sur ce cône, l'efficacité du rôle peignant de la ripisylve est indéniable puisque d'anciens bourrelets ou lobes de débordements, stoppés par la végétation, sont encore visibles **[Cf. figure 140]**. En outre, cet aspect a déjà été évoqué en haute vallée pour le torrent des Vallois qui a connu une importante rétraction de sa bande active dans la zone distale de son cône en raison de l'implantation d'une zone boisée (Cf. 3.3.2.1.2). Ces observations ouvrent sans nul doute quelques perspectives en terme de prévention. Ce thème sera développé lorsque seront évoquées les propositions pour une gestion durable du risque torrentiel.



Figure 140 : Crue du Grand tabuc d'août 1997 et efficacité du rôle peignant de la forêt alluviale

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Outre l'aspect strictement écologique ou paysager, les boisements comme "ouvrage" de protection apparaissent alors comme une solution alternative ou au moins complémentaire des aménagements de prévention habituellement proposés *(enrochements, digues, barrages, etc.)*. Il ne s'agit d'ailleurs pas d'une idée particulièrement novatrice puisque les boisements sont préconisés sur les versants depuis plus d'un siècle afin de limiter les processus érosifs et ainsi restaurer les terrains de montagne. Certes, les boisements sur les cônes torrentiels ne constituent pas une solution systématiquement généralisable mais force est de constater qu'en Guisane elle reste très peu proposée ou appliquée. Cette proposition n'est évidemment envisageable que sur les cônes torrentiels peu ou pas urbanisés et à faible pente. Certes, des exemples récents dans le Briançonnais ont démontré que, sans autres interventions, la présence de zones forestières sur des cônes torrentiels de taille réduite et à forte déclivité ne pouvait suffire à contenir un évènement extrême (Lahousse et Romelé, 2000 ; Lahousse *et al*., 2002 ; Lahousse et Salvador, 2005.).

Néanmoins, l'exemple du Grand Tabuc *(du Grand Tabuc du 05 août 1997)* démontre l'efficience d'une ripisylve entretenue et préservée dans les limites des anciennes bandes actives ou zones d'emprise. En outre, sans intervenir directement sur l'évolution morphodynamique du torrent *(correction active)*, ce type d'implantation végétale pourrait s'inscrire dans la logique d'une gestion durable du risque torrentiel. Même si dans un premier temps des secteurs "tests" devraient éprouvés l'efficacité du dispositif, le boisement de parcelles sur un cône torrentiel implique peu de contraintes techniques et des investissements nettement réduits en comparaison des ouvrages traditionnellement préconisés. Par leur facilité d'accès, l'entretien de ces espaces s'en trouve grandement facilité. D'autant que l'expérience des montagnards ou des services spécialisés dans la valorisation, l'exploitation et la gestion des espaces boisés pourraient aisément être mis à profit. Loin d'en faire des territoires stériles, il serait par exemple envisageable d'en optimiser l'exploitation afin de renouveler et diversifier les ligneux et pourquoi pas amortir l'investissement initial. Enfin, contrairement à la majorité des ouvrages bétonnés (*barrages, radiers, seuils, etc.)*, la présence de tels boisements sur les cônes de déjection pourrait même constituer un atout pour Serre-Chevalier, en s'inscrivant dans une logique visible et concrète de développement durable.

Evidemment, il ne s'agit que d'une proposition générale qui pour être appliquée, doit être évaluée et adaptée aux problématiques locales. Pour des torrents connues pour leur impétuosité et leur forte potentialité, on peut imaginer associer un endiguement *(merlons)* reprenant globalement les limites des bandes actives du début ou du milieu du 20^{ième} siècle, avec en son sein des boisements afin d'assurer un "peignage" efficace et le dépôt de la charge graveleuse. A n'en pas douter la vulnérabilité sur le cône s'en trouverait sensiblement réduite, l'intégration dans le paysage des aménagements serait optimisée. Surtout, ce type de réflexion tranche avec les solutions interventionnistes qui prévalaient jusque là dans le système torrentiel.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

L'évolution récente des propositions ou des aménagements RTM sur les cônes de déjection du Briançonnais rejoint indubitablement cette logique d'adaptation, privilégiant désormais la correction passive.

D'autre part, les populations touristiques ne sont que peu ou pas sensibilisées au risque torrentiel alors qu'elles sont souvent logées dans des structures récentes et surtout vulnérables. Indubitablement, cette méconnaissance voire cette inconscience (*par absence d'information ou de mémoire du risque)* du risque torrentiel est un élément accentuant la situation de vulnérabilité. Outre les vulnérabilités spatiales et économiques s'adjoint donc une vulnérabilité d'ordre sociologique qu'il conviendrait de déterminer plus précisément.

Loin de ces dernières considérations et dans un contexte fortement concurrentiel entre les stations touristiques alpines, les communes composant Serre-Chevalier cherchent actuellement à diversifier leurs activités et moderniser le parc immobilier à vocation touristique. Dernière commune de la Guisane a avoir rejoint le domaine skiable de la station, le Monêtier-les Bains est entrée en ce début de 21^{ième} siècle dans un ambitieux programme de développement, avec comme figure de proue le centre hydrothermal des Grand Bains. La municipalité a alors cherché de nouveaux espaces à urbaniser, et la crue torrentielle du Grand Tabuc d'août 1997 n'a manifestement pas perturbé ou empêché les projets d'aménagement du cône.

Pour preuve, en octobre 2007, des travaux étaient engagés sur le cône du Grand Tabuc afin d'établir de nouveaux établissements à vocation touristique à l'amont du centre VVF **[Cf. figure 141]**. Pour l'instant, ces infrastructures sont relativement éloignées de la bande active torrentielle et ne devraient logiquement pas avoir à subir les crues du Grand Tabuc, sauf évènement exceptionnel. Cette nouvelle implantation met fin à plusieurs siècles de méfiance et de prudence des montagnards à l'égard de ce torrent, et instaure sans nul doute une nouvelle source de vulnérabilité et de risque à Serre-Chevalier. D'après nos informations, d'autres aménagements pourraient voir le jour à moyen terme sur ce cône. Or, nous l'avons vu, la ripisylve qui délimite l'ancienne bande active demeure l'unique contrainte des débordements majeurs. Sa préservation et le maintien à bonne distance des activités anthropiques sont probablement les moyens de prévention les plus efficaces et les plus durables.

Enfin, notons que la rétraction contemporaine de la bande active du Grand Tabuc induit paradoxalement une augmentation progressive de la vulnérabilité. Cette contradiction n'est d'ailleurs ni nouvelle ni unique dans le Briançonnais, et constitue une des bases pour la compréhension de l'évolution de la vulnérabilité et du risque torrentiel (Lahousse et al. 2005 ; Garitte et al, 2008).

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

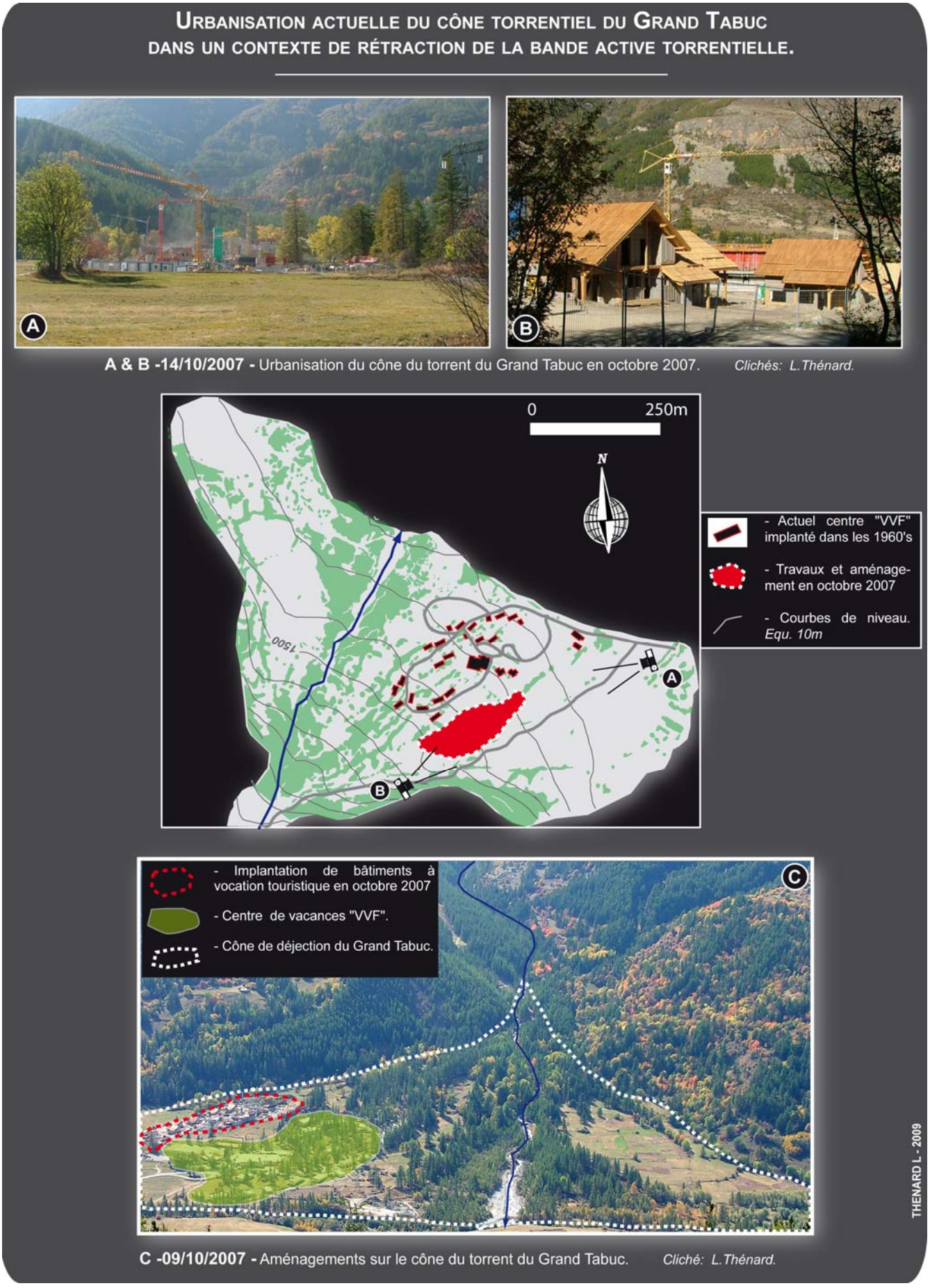


Figure 141 : Aménagement sur le cône du Grand Tabuc en octobre 2007.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

4. D'UNE MENACE LATENTE A UN FAIT AVERE : MISE EN PERSPECTIVE POUR UNE GESTION PLUS DURABLE DU RISQUE TORRENTIEL A SERRE-CHEVALIER.



25/07/1995: Lave torrentielle et débordements dommageables du 24 juillet 1995 sur le cône torrentiel du torrent du Bez *(Comm. La Salle-les-Alpes). Source : RTM 05.*.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

A ce stade de notre analyse, les réflexions porteront cette fois sur l'évolution récente et actuelle des relations "torrents-société" dans la vallée de la Guisane.

Le risque torrentiel procède effectivement de la rencontre de l'aléa torrentiel *(crues, débordements)* et de la vulnérabilité. Cette dernière étant elle-même déterminée par les enjeux *(vies, infrastructures, activités, etc.)* et leur degré d'exposition à l'aléa torrentiel. Bien entendu, le risque *"est une notion relative qui dépend de la perception qu'à le groupe social de l'aléa et de sa vulnérabilité"* (Manche, 1997). Par les quelques exemples étudiés précédemment nous avons vu que, loin d'être figées, les relations entre les hommes et les torrents avaient beaucoup évolué durant la période contemporaine mais aussi que leurs interactions étaient nombreuses et souvent complexes. L'anthropisation des bassins torrentiels en est l'une des illustrations les plus probantes. A l'inverse, la rétraction contemporaine des zones d'emprises ou des bandes actives a favorisé les implantations anthropiques sur les cônes de déjection à proximité immédiate des lits torrentiels en activité. Surtout, les enjeux économiques et immobiliers liés au développement de Serre-Chevalier ont occulté pendant plusieurs décennies la menace torrentielle et engendré une considérable augmentation de la vulnérabilité en fond de vallée.

La création de Serre-Chevalier et son développement ont très rapidement fait des cônes de déjection des espaces convoités et la nature des enjeux est parfois sensiblement différente, selon qu'il s'agisse d'habitat permanent ou d'infrastructures à vocation touristique. Si ces aménagements anthropiques sont exposés à l'aléa torrentiel, il apparaît que la gestion du risque torrentiel a été très différente en fonction de la nature des enjeux, ce qui n'est évidemment pas sans conséquence sur le risque actuel.

De même, certaines crues récentes font du risque torrentiel dans cette vallée un fait avéré et non plus une menace hypothétique. La mise en perspective de la crue du Verdarel du 01 septembre 2005 nous permettra d'étendre notre réflexion globale sur le risque actuel ou à venir, et sa gestion.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

4.1. De la vallee de la Guisane a la station de Serre-Chevalier : une vulnerabilite croissante dans le cadre de la reconversion touristique.

Tout à l'amont de la vallée de la Durance, le Briançonnais constitue un sillon intra-alpin aisément accessible. Jadis, l'activité de la plupart des vallées était essentiellement basée sur l'activité agro-pastorale et sur le commerce. Depuis le Moyen-âge jusqu'au 19ième siècle, sa situation géographique en faisait un lieu stratégique tant d'un point de vue commercial que militaire. La densité des ouvrages militaires et les fortifications Vauban qui ceinturent le "vieux Briançon" en témoignent visiblement. En Guisane, l'économie traditionnelle était basée pour l'essentiel sur l'agro-pastoralisme ainsi que sur les activités artisanales et minières (Feys, 1963 ; Dubost et *al.*, 1981 ; Moyrand-Gattefossé, 1982 ; Meyzenq, 1984). Comme nous l'avons vu, l'impact de ces pratiques traditionnelles sur les versants, et donc sur les dynamiques torrentielles, a parfois été important. A l'instar de la plupart des vallées alpines, la vallée de la Guisane a connu entre 1850 et la première moitié du 20ième siècle une longue phase de déprise agricole, même si par exemple le Monêtier-les-Bains a maintenu un cheptel ovin conséquent jusqu'au début des années 1970[110].

La Guisane a été l'une des premières vallées des Hautes-Alpes à entamer, puis à s'engouffrer plus radicalement dans une reconversion socio-économique majeure. L'avènement des activités touristiques va profondément bouleverser des siècles d'activités traditionnelles, tout comme l'utilisation et la perception de l'environnement. **En passant de la vallée de la Guisane à la station de Serre-Chevalier,** l'urbanisation de nouveaux espaces comme les cônes torrentiels ont mis à mal des siècles d'adaptation des populations montagnardes aux aléas naturels. Cela dit, les populations locales aspiraient fortement à ce renouveau car le briançonnais est longtemps resté enclavé et exclu des révolutions industrielles ou des grandes évolutions économiques du 19ième et du début du 20ième siècle.

[110] Depuis, le cheptel ovins se maintient mais le nombre d'exploitations diminue progressivement, avec par exemple une baisse de 40 à 45 % des exploitations agricoles en activité au Monêtier-les-Bains entre 1970 et 1988 *(Source : Parc National des Ecrins, 2000).*

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr
Thèse L. Thénard, 2009 – Laboratoire TVES ; Université Lille 1- Sciences et Technologies de Lille.

4.1.1. 1950-2000 : création et développement de Serre-Chevalier ou la concentration des enjeux en fond de vallée.

Ce sont les grandes réformes de 1936 et l'instauration des congés payés qui vont précipiter la reconversion de la vallée de la Guisane. Le maire de Saint-Chaffrey affirmait dès 1936 qu'*"un phénomène nouveau va redonner vie à nos villages"* (Moyrand-Gattefossé, 1982).

En fait, le premier élément visible et concret de ce renouveau est l'autorisation accordée par le Conseil Général des Hautes-Alpes dès le 13 mai 1937 de la création d'un téléphérique reliant le hameau de Chantemerle et le sommet de Serre-Chevalier *(2491 m ; commune de Saint-Chaffrey)* [Moyrand-Gattefossé, 1982 ; Flez et Lahousse, 2002]. Perturbés par le déclenchement de la seconde guerre mondiale, les travaux se poursuivront tout de même et ce premier téléphérique, présenté à l'époque comme le plus long d'Europe, sera inauguré le 20 décembre 1941. Cette date marque le tournant de la reconversion de la vallée de la Guisane vers les activités touristiques et plus largement de service.

Les débuts resteront poussifs en raison des difficultés de l'après guerre et le téléphérique changera à plusieurs reprises de propriétaire en raison de l'accumulation des déficits budgétaires. Ce n'est qu'à la fin des années 1950, et surtout au début des années 1960, que la reconversion vers l'économie touristique va s'opérer. Galvanisée par la fièvre de l'"or blanc" et l'urbanisme promotionnel, cette évolution a été extrêmement rapide, car la capacité d'accueil de Serre-Chevalier va presque décupler en l'espace de deux décennies en passant d'environ 3000 lits en 1960 à près de 25 000 lits dans les années 1980 (Meyzenq, 1984).

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

En s'associant, les communes de la Guisane *(Saint-Chaffrey, La Salle-les-Alpes, le Monêtier-les-Bains)* vont rapidement étendre le domaine skiable pour faire de Serre-Chevalier le "fer de lance" de l'industrie touristique dans le Briançonnais. Dans les années 1990, elle aurait atteint le premier rang pour les Alpes du Sud et le sixième rang au niveau national (Duprat, 1994). Par exemple et pour illustrer le poids des retombées touristiques dans cette vallée, le chiffre d'affaire de l'exploitation des pistes et des remontées mécaniques *(exploitant privé : Compagnie des Alpes)* à Chantemerle avoisinait 7 500 000 € en 2006. La même année, la commune de Saint-Chaffrey a également perçu 558 000 € au titre de la redevance d'exploitation[111]. *(Source : mairie de Saint-Chaffrey)*.

Aujourd'hui le domaine de Serre-Chevalier propose plus de 250 km de piste skiable et s'étend sur six communes : Le Monêtier-les-Bains, La Salle-les-Alpes, Saint-Chaffrey, Briançon, Puy Saint-André et Puy Saint-Pierre. **En 2005, la capacité d'accueil de Serre-Chevalier avoisinait les 50 000 lits** soit près de 20% du parc d'hébergement du département des Hautes-Alpes ! Dans les seules communes de la Guisane, la capacité d'accueil s'élève désormais à plus de 35 000 lits (Office Briançonnais du Tourisme et du Climatisme, 2005).

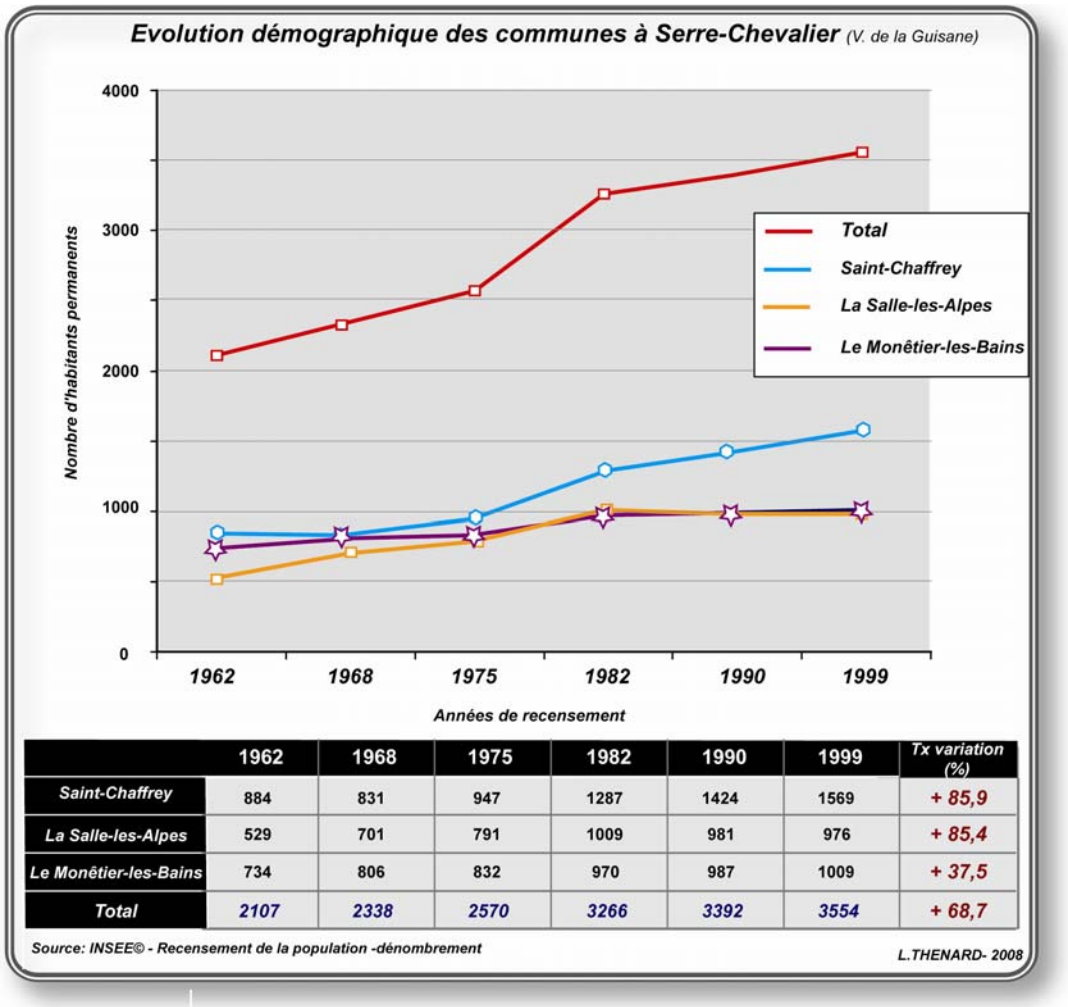
Cette profonde reconversion économique s'est également accompagnée d'un renouveau démographique grâce aux nouvelles infrastructures et aux emplois générés. Par ailleurs, la splendeur des paysages hauts alpins associée au climat particulièrement ensoleillé du Briançonnais, en ont fait un lieu de villégiature prisé. Parmi les néo-montagnards, un grand nombre de retraités ont choisi de résider dans le Briançonnais et notamment à Serre-Chevalier.

[111] L'utilisation et l'exploitation par une entreprise privée de versants communaux relève effectivement d'une délégation de service public.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Pour preuve, **le recensement de la population permanente** réalisé en 1999 par l'INSEE faisait état **d'un excédent démographique** de 1447 individus par rapport à 1962 pour les trois communes de la vallée. Autrement dit, **les communes de la Guisane ont vu leur population permanente s'accroître de près de 70% en 37 années [Cf. figure 142]**.

Cœur historique du développement de Serre-Chevalier, le village de **Saint-Chaffrey** *(y compris les hameaux Chantemerle et L'Envers)*, a connu la plus forte **progression de sa population permanente avec une + 86%,** passant de 844 à 1569 individus sur la période 1962-1999. Cette croissance de la démographie a vraisemblablement pour origine la situation périurbaine de Saint-Chaffrey par rapport à Briançon et l'arrivée dans cette commune de populations retraitée (Flez et Lahousse, 2002). La localisation de Saint-Chaffrey à proximité des services, des commerces et des grands axes de communication de Briançon constitue probablement son principal atout par rapport aux communes voisines.



	1962	1968	1975	1982	1990	1999	Tx variation (%)
Saint-Chaffrey	884	831	947	1287	1424	1569	+ 85,9
La Salle-les-Alpes	529	701	791	1009	981	976	+ 85,4
Le Monêtier-les-Bains	734	806	832	970	987	1009	+ 37,5
Total	2107	2338	2570	3266	3392	3554	+ 68,7

Source: INSEE© - Recensement de la population -dénombrement

L.THENARD- 2008

Figure 142: De la vallée de Guisane à Serre-Chevalier : évolution démographique (1962-1999)

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Evolution du parc résidentiel à Serre-Chevalier (V. de la Guisane)

Evolution du nombre de **résidences principales** dans les communes de Serre-Chevalier

	1968	1975	1982	1990	1999	Tx variation (%)
Saint-Chaffrey	268	335	512	558	659	+ 145,9
La Salle-les-Alpes	207	246	356	405	405	+ 95,6
Le Monêtier-les-Bains	235	236	281	375	424	+ 80,4
Total	710	817	1149	1338	1488	+ 109,6

Evolution du nombre de **résidences secondaires** dans les communes de Serre-Chevalier

	1968	1975	1982	1990	1999	Tx variation (%)
Saint-Chaffrey	212	838	1561	1879	1978	+ 833,1
La Salle-les-Alpes	330	755	1591	1861	2458	+ 644,8
Le Monêtier-les-Bains	287	545	824	1313	1487	+ 418,1
Total	829	2138	3976	5053	5923	+ 614,5

Source: INSEE© - Recensement de la population -dénombrement L.THENARD- 2008

Figure 143: De la vallée de Guisane à Serre-Chevalier : Evolution du parc résidentiel (1968-1999)

L'évolution de la nature de l'habitat est tout aussi révélatrice de la mutation engendrée par le développement de Serre-Chevalier. **Pour les trois communes guisanaises, le nombre de résidences principales s'est accru de 110% entre 1968 et 1999, et les résidences secondaires ont connu une progression 373%,** soit 829 logements secondaires en 1968 contre 3923 en 1999[112] **[Cf. figure 143].** Or, ces activités touristiques ont logiquement concentré les infrastructures en fond de vallée pour des raisons de proximité avec les pistes, des axes de circulation ou des services. Cette urbanisation massive, et pour tout dire assez peu contrôlée, s'est réalisée selon deux grandes modalités : la densification du bâti existant *(noyaux villageois historiques)* et par extension, l'urbanisation des basses terrasses de la Guisane ou des cônes de déjection.

Ici comme ailleurs**, l'urbanisme promotionnel des années 1960-1970 privilégiait de vastes ensembles locatifs à proximité immédiate des pistes**. Dans cette frénésie de la reconversion économique, la pression immobilière s'est rapidement concentrée sur les espaces disponibles en fond de vallée, au premier rang desquels les cônes torrentiels. Jusqu'alors, ces secteurs étaient le plus souvent délaissés par la population montagnarde pour

[112] Source : INSEE©, 2000.

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

l'habitat. L'exploitation des cônes torrentiels relevait généralement d'activités agricoles. Or, les décennies 1960 et 1970 verront de nombreux cônes torrentiels être largement urbanisés, en particulier ceux de La Salle-les-Alpes et de Saint-Chaffrey. **Les cônes des torrents du Verdarel, du Saint-Bernard, de la Salle ou du Bez concentrent aujourd'hui l'essentiel du risque torrentiel à Serre-Chevalier.**

A noter que la nature des infrastructures et leur localisation sont assez contrastées dans cette vallée. Schématiquement, l'habitat traditionnel *(à l'exception du hameau du Bez)*, permanent ou secondaire s'est développé en rive gauche de la Guisane, sur le versant d'adret. Tandis que les infrastructures d'hébergement collectif ont été implantées en rive droite ou pied du versant d'ubac sur lequel s'étend une partie du domaine skiable. Cette simple constatation est néanmoins fondamentale pour comprendre des gestions distinctes du risque torrentiel au cours de la période contemporaine.

Finalement, plus de 80% de ces infrastructures récentes se localisent aujourd'hui sur les cônes torrentiels *(déterminé sous SIG : SIRTOS)*. **En réalité, la présence humaine sur les cônes n'est pas une nouveauté dans cette vallée puisque les trois villages historiques étaient déjà localisés sur des cônes de déjection depuis des siècles** (Cf. 3.2). L'évolution majeure réside dans l'urbanisation d'espaces jadis délaissés et surtout, dans la densité et la proximité de ces infrastructures avec les lits torrentiels. Cette conquête urbaine s'est essentiellement réalisée par l'extension des noyaux villageois historiques et par la création de "villes nouvelles" comme par exemple Villeneuve-la-Salle *(Serre-chevalier 1400)* implantée sur le cône du torrent du Bez **[Cf. figure 144]**, et le "nouveau" Chantemerle *(Serre-Chevalier 1300)* développée sur le cône de déjection du Saint-Bernard.

4.1.2. De l'emprise torrentielle à l'emprise urbaine : exemple des torrents du Bez et de Saint-Bernard.

4.1.2.1. Le torrent du Bez au coeur de Serre-Chevalier 1400m.

Pour certains cônes de déjection de la basse vallée, l'emprise torrentielle a cédé la place à l'emprise urbaine [Cf. figure 144]. Certes, cette anthropisation massive des cônes est concomitante d'une tendance contemporaine à la rétraction des bandes actives ou des zones d'emprises torrentielles. Toutefois, certaines d'entre elles, encore observables sur les photographies aériennes des années 1950, sont aujourd'hui totalement urbanisées.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr



Figure 144: Une urbanisation massive du cône torrentiel du Bez (ante 1995) excluant la dynamique torrentielle.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Par exemple, sur le cône du torrent du Bez, l'un des premiers bâtiments destiné à l'accueil des populations touristiques saisonnières *(habitât collectif)* a été implanté, au début des années 1960, à proximité immédiate du chenal torrentiel et au cœur de la zone d'emprise torrentielle. **[Cf. figure 144 et 145]**. Cette implantation n'était d'ailleurs que le premier temps de la création de Villeneuve-la-Salle *(Serre-Chevalier 1400 m)* puisqu'au cours des décennies suivantes va s'opérer une densification du bâti autour de ce pôle initial. La prudente et ancestrale implantation du hameau du Bez à distance de la zone d'emprise torrentielle et des crues de *la Guisane* n'a visiblement pas inquiété les promoteurs et/ou les gestionnaires du territoire de l'époque. Il faut dire que durant les décennies 1960 et 1970, l'urbanisation massive par de vastes ensembles collectifs répondait à un besoin criant et national de logements et de renouvellement de l'habitat. Ce type d'architecture et d'aménagement du territoire correspondait donc au modèle dominant l'immobilier.

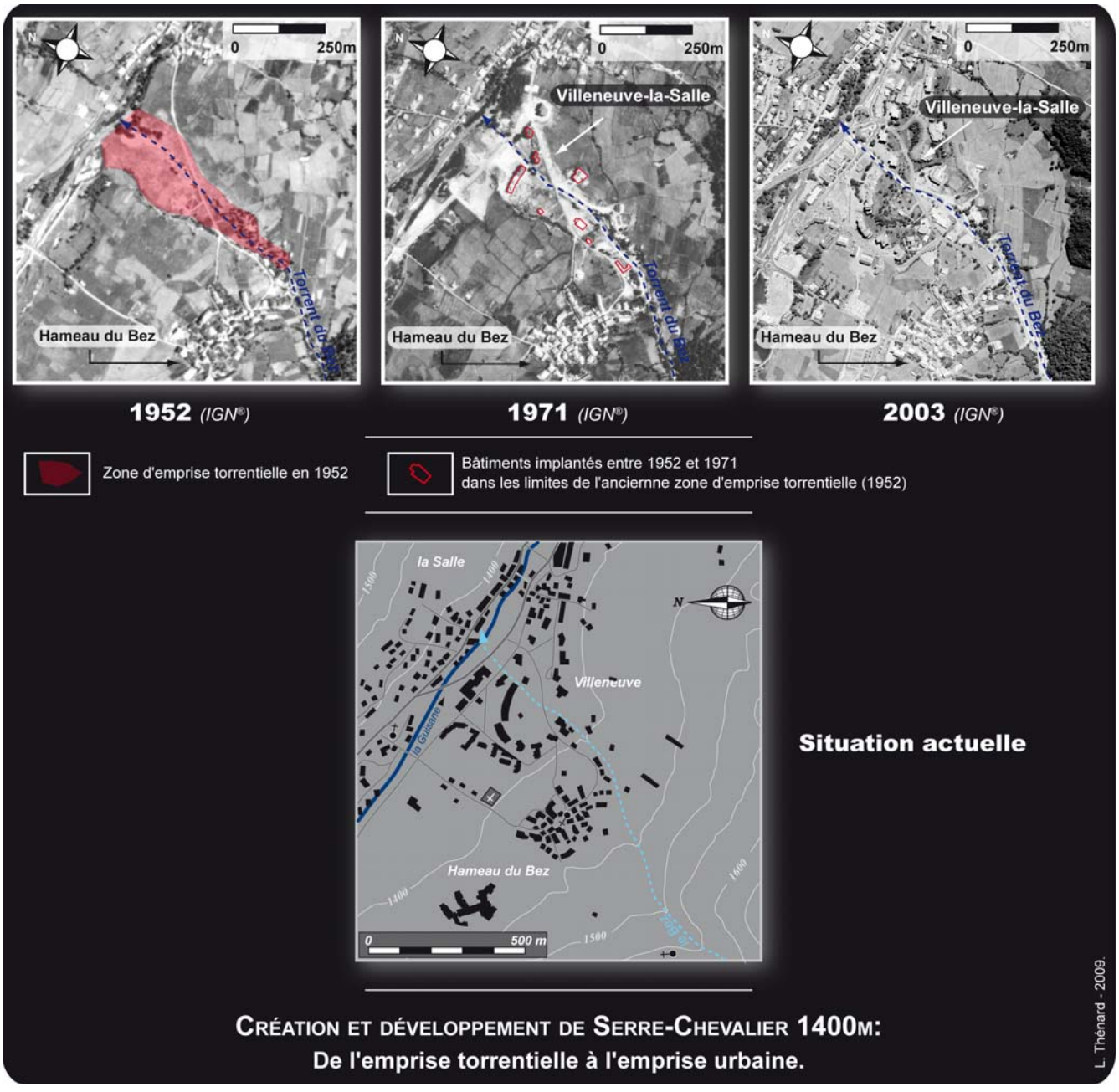


Figure 145 : création et développement de Serre-Chevalier 1400 : De l'emprise torrentielle à l'emprise urbaine.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Or, ce torrent a édifié l'un des plus imposants cônes torrentiels de la vallée *(84 ha)* et il était parfaitement envisageable de développer Villeneuve-la-Salle à distance respectable du chenal en activité ou, au moins, en dehors de la zone d'emprise torrentielle. Facteur aggravant, la proximité de ces nouveaux aménagements avec le torrent du Bez a engendré la multiplication des ouvrages de passage, accentuant d'autant plus les possibilités d'embâcles et de débordements. Sur les 650 mètres de linéaires entre le hameau du Bez et la confluence du torrent avec la Guisane, on dénombre pas moins de 6 ponts ou passerelles. Symptomatique de l'omission du risque, le cône du Bez n'a pas été doté d'ouvrage de protection jusqu'en 1995 en dehors de quelques enrochements destinés à fixer les berges. D'autre part, la faiblesse des enjeux historiques s'est traduite dans les archives par une quasi absence de références (Lahousse et Salvador, 1999). Sur les bases de l'enquête historique, ce torrent n'inspirait donc pas de craintes particulières. **Malheureusement mais logiquement, la crue du 24 juillet 1995 a douloureusement rappelé que la contiguïté avec un torrent n'était jamais anecdotique**.

Malgré cet évènement concrétisant le risque torrentiel à Serre-Chevalier 1400, de nouveaux bâtiments se sont implantés sur ce cône au début des années 2000, dont les deux plus grosses résidences touristiques de la vallée *(Club méditerranée et Pierre & Vacances)*.

La rapidité de la reconversion économique de la vallée a manifestement modifié la perception du risque, au point que les notions d'aléa et de vulnérabilité ont été largement occultées. S'il ne s'agit pas d'un cas unique dans la vallée *(Verdarel, Saint-Bernard, La Salle, etc.)*, le caractère irraisonné de l'urbanisation du cône du Bez est tout de même assez exemplaire de l'inexorable croissance de la vulnérabilité dans cette vallée.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

4.1.2.2. *Le cône "urbain" de Saint-Bernard (Serre-Chevalier 1300m) : un exemple de dénégation des dynamiques torrentielles.*

L'exemple du **torrent de Saint-Bernard** est tout aussi emblématique de cette véritable "métamorphose" urbaine en fond de vallée.

Situé sur le versant d'adret de la commune de Saint-Chaffrey, ce torrent est effectivement réputé peu dangereux. Même si la réputation et la dangerosité sont des notions assez subjectives, nous avons pu vérifier que la dynamique de ce torrent n'était pas particulièrement dominée par des évènements paroxystiques. D'ailleurs, ce torrent n'a pas fait l'objet d'une correction active de son lit de la part du service RTM. L'enquête historique le confirme pour la période contemporaine puisque seules quatre crues peu dommageables ont été recensées entre 1973 et 1981, période durant laquelle l'urbanisation du cône a été la plus intense **[Cf. figure 146]**.

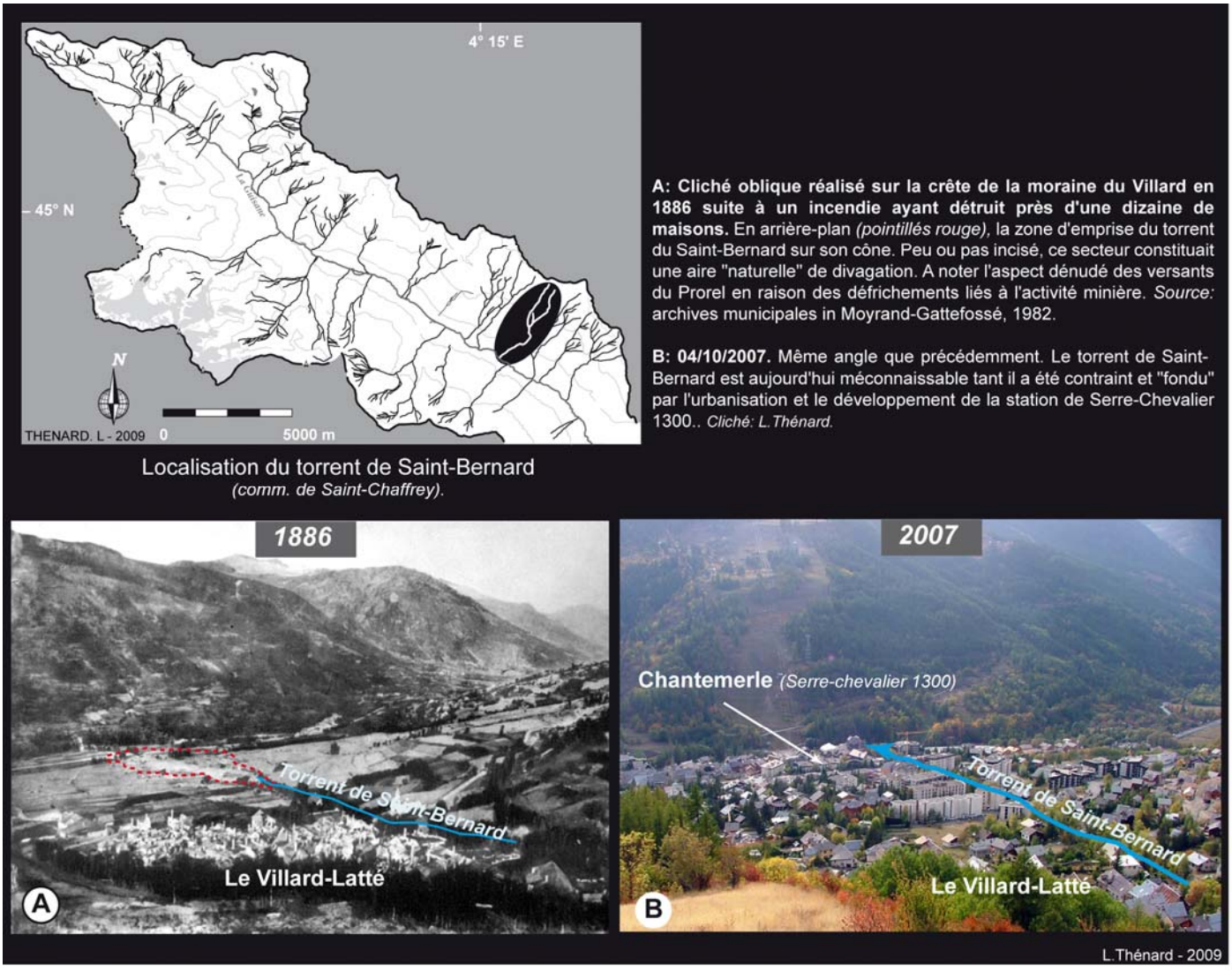


Figure 146: L'urbanisation des cônes torrentiels dans le cadre du développement de Serre-Chevalier : l'exemple du torrent de Saint-Bernard
(Commune de Saint-Chaffrey)

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

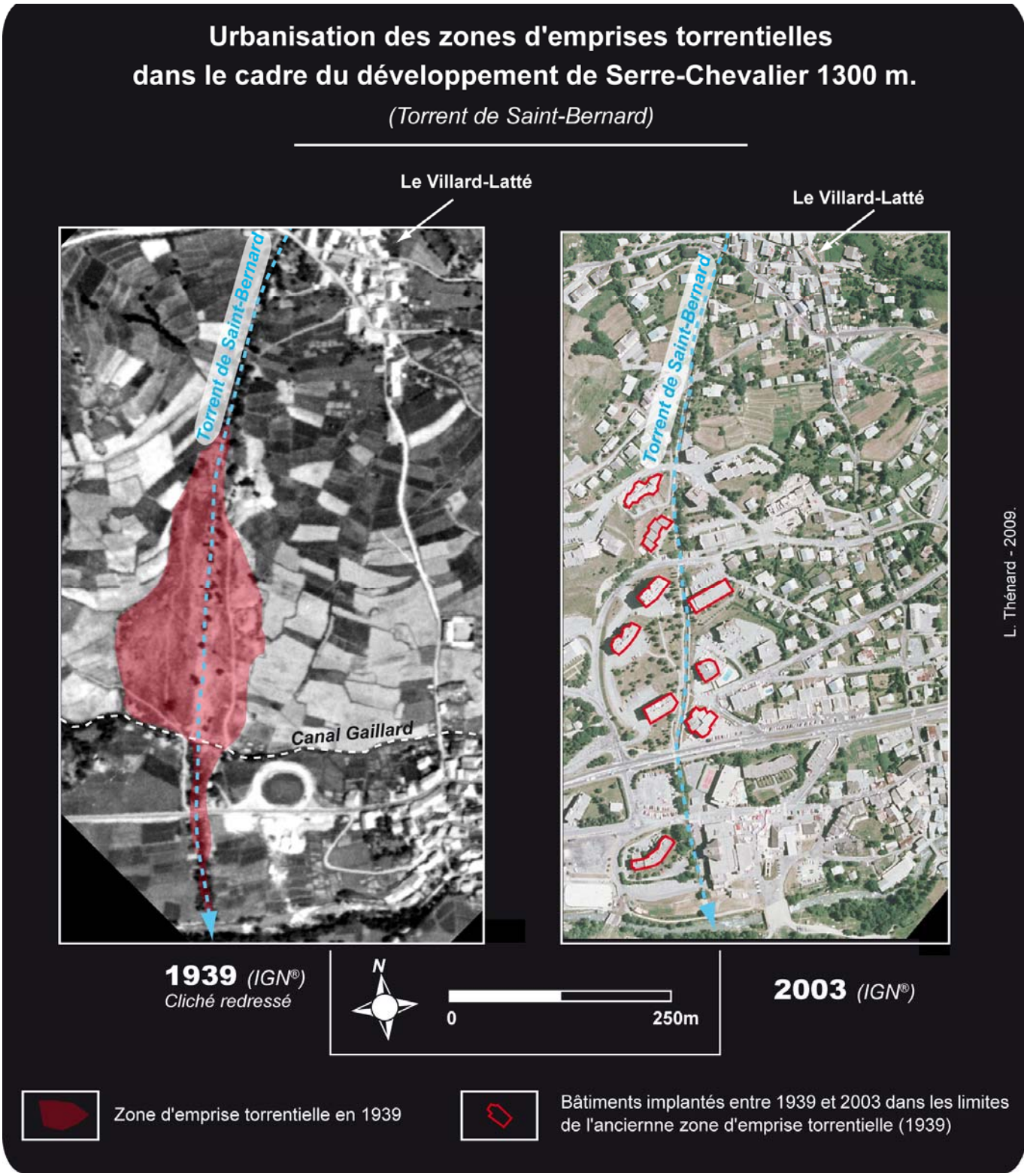


Figure 147: Serre-Chevalier 1300 : une urbanisation massive des zones d'emprises torrentelles

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Jusqu'au début des années 1960, les implantations humaines sur son cône de déjection se limitaient aux hameaux du Villard-Latté et de Chantemerle, tout deux prudemment installés en rive droite du Saint-Bernard. Par exemple, à Chantemerle, sur la photographie aérienne de 1939, le bâtiment le plus proche se situait tout de même à 160 mètres du lit torrentiel **[Cf. figure 147]**.

La comparaison d'une photographie réalisée en 1886 sur la crête de la moraine du Villard avec un cliché actuel permet de mesurer l'ampleur des changements intervenus en fond de vallée **[Cf. figure 148]**. **Il est désormais difficile de distinguer le torrent tant la densité du bâti est importante. Presque intégralement endigué sur son cône, le torrent du Saint-Bernard est complètement intégré au tissu urbain.** Certains bâtiments ont même été construits à quelques mètres, et parfois moins, du lit actuel. Par ailleurs, ce cliché de la fin du 19^{ième} siècle montre que le Saint-Bernard disposait d'une large zone d'emprise dans la zone distale de son cône et que ce secteur restait vierge de toute infrastructure anthropique. Le lit torrentiel apparaît également peu incisé dans son cône avec des traces de divagations torrentielles définissant une large zone d'emprise. Ce qui témoigne tout de même d'un transit sédimentaire "régulier". Dans les détails de ce cliché, la zone d'emprise apparaît même "coupée" par un réseau de drainage, le canal *Gaillard* en l'occurrence, et la route principale. A l'aval, le torrent reprend l'aspect d'un chenal torrentiel bien délimité, sans que l'on puisse observer des traces de débordements éventuels.

Nous avons ensuite employé les clichés aériens IGN© à partir de 1939 pour analyser l'évolution contemporaine de cette zone d'emprise puis son urbanisation massive, et donc la vulnérabilité. Après redressement géométrique, ces clichés ont été intégrés sous SIG pour les traitements et l'analyse.

Au sortir de ces investigations, on observe que le Saint-Bernard a maintenu une zone d'emprise jusqu'au début des années 1960, approximativement similaire en surface *(environ 4 ha)* à celle déterminée sur la photographie oblique de 1886 à l'aval de la RD 1091. Même si, à cette date, un premier bâtiment était déjà implanté en rive gauche à quelques dizaines de mètres du torrent. Puis cette zone d'emprise torrentielle disparaît complètement des clichés aériens dès 1971, car l'urbanisation du cône était déjà fortement avancée. En une décennie, 7 bâtiments ont été implantés au sein de l'ancienne zone d'emprise, dont 4 imposants complexes hôteliers ou résidentiels. Dans la décade suivante, l'urbanisation s'est poursuivie à un rythme soutenu, aboutissant sur le cliché de 1981 à une quasi continuité du tissu urbain du Villard-Latté à Chantemerle.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

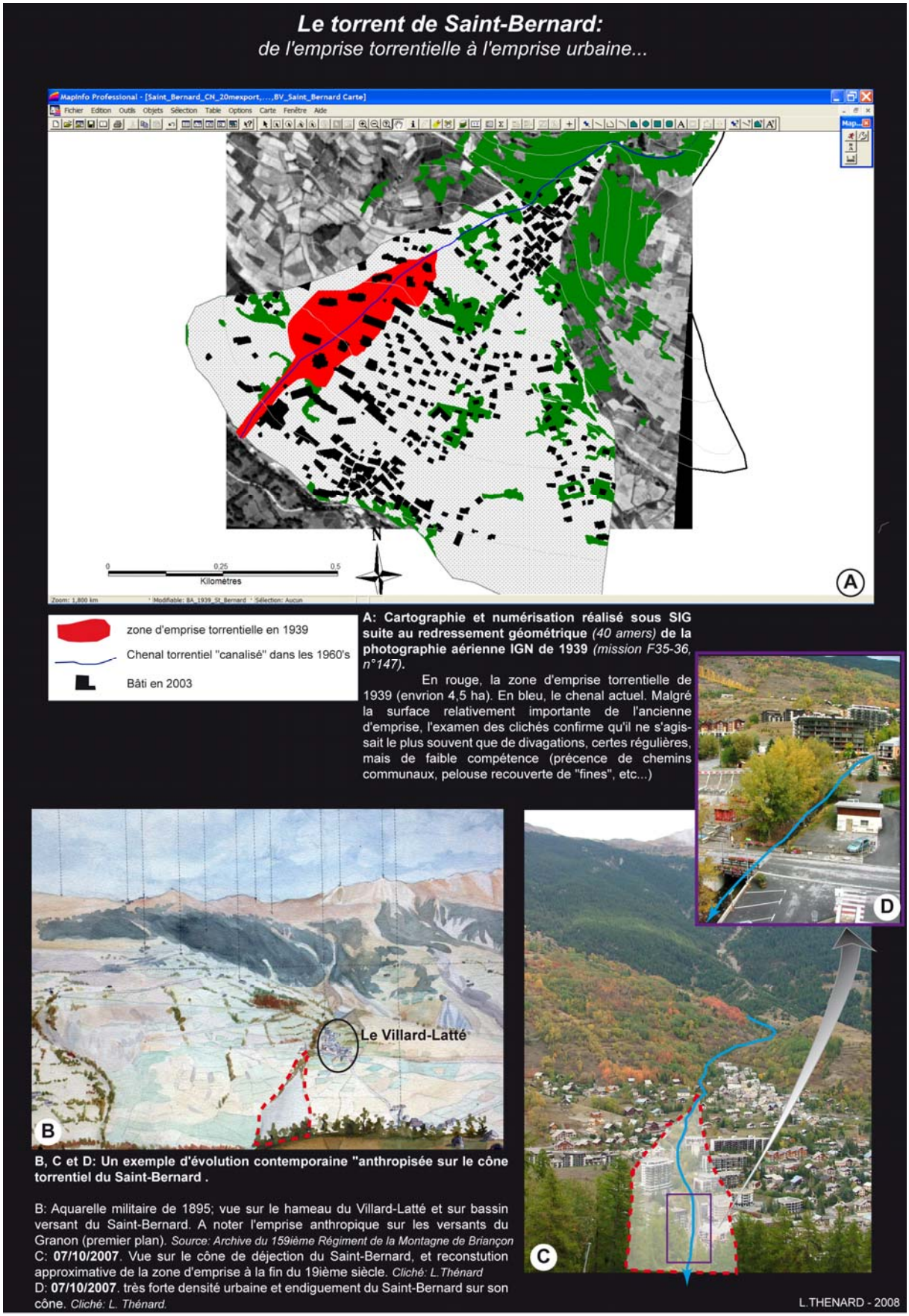


Figure 148: Du cône de Saint-Bernard à la station de Chantemerle.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

L'année 1981 marque un tournant puisque l'urbanisation du cône va considérablement se ralentir et seule une dizaine de bâtiments sera implantée à distance du chenal durant cette période. En réalité, ce ralentissement est une des conséquences directes de la crue dommageable du 09 juillet 1981 *(lave torrentielle d'environ 40 à 50 000 m^3)* ayant affecté le torrent voisin du Verdarel, et de la brutale prise de conscience du risque torrentiel qu'elle a induite chez les élus et les habitants. La commune de Saint-Chaffrey cherchera alors à "mieux" encadrer l'urbanisation des cônes de déjection par l'intégration de la menace torrentielle dans les projets d'aménagements *(POS approuvé le 07/06/1988 et PPR en cours)*.

Paradoxalement, la reconnaissance officielle de la dangerosité du Verdarel provoque actuellement une reprise de l'urbanisation sur le cône de déjection du Saint-Bernard, qui comparativement apparaît moins menaçant. En raison de l'exiguïté spatiale et de la rigueur des cadres réglementaires actuels, la municipalité de Saint-Chaffrey désire poursuivre son développement en opérant une densification du bâti existant afin d'accompagner la diversification des activités de Serre-Chevalier 1300m. Ainsi en octobre 2007, nous avons pu constater une reprise des aménagements sur le cône du Saint-Bernard, dont certains à moins de 3 mètres du chenal actuel, et à notre connaissance, sans que de nouvelles mesures de prévention ou de protection vis-à-vis de l'aléa torrentiel ne soient prévues. Or, et à l'échelle contemporaine, si le torrent du Saint-Bernard ne semble pas particulièrement prédisposé aux phénomènes paroxystiques *(laves torrentielles)*, la vulnérabilité ne cesse pourtant de s'accroître sur son cône. **Sans même évoquer l'éventuelle survenue d'un évènement exceptionnel, la densité du bâti sur ce cône est désormais telle, que quelques débordements suffiront à être particulièrement dommageables.** D'ailleurs, le 06 mai 1973, une crue de faible intensité avait déjà rappelé la réalité de la menace **[Cf. figure 149]**. Faiblement dommageable et à l'apogée de la reconversion économique vers l'industrie touristique, cet évènement a manifestement été relégué au registre de l'anecdotique et n'a pas empêché, jusqu'aujourd'hui, la poursuite de l'urbanisation du cône du Saint-Bernard…

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr



Figure 149 : Crue du torrent de Saint-Bernard du 06 mai 1973.

Le nihilisme de la dynamique torrentielle ayant conduit à urbaniser l'ancienne zone d'emprise a inexorablement accrue la vulnérabilité sur ce cône. A l'évidence, et compte tenu de l'importance des enjeux, de nouvelles études à grande échelle doivent être réalisées pour définir la "potentialité" maximale de l'aléa et définir des mesures adaptées. En effet, il est tout de même assez peu compréhensible, ni même admissible, de pérenniser des infrastructures et/ou des activités alors qu'elles demeurent continuellement sous la menace d'une crue torrentielle dévastatrice. Pourtant, une grande partie de la ville neuve de "Chantemerle" *(Serre-Chevalier 1300)* se trouve encore actuellement dans ce cas de figure et à l'instar du torrent du Bez évoqué précédemment, les autorisations de construire ont été accordées durant 4 décennies.

Une gestion plus durable du risque torrentiel passera nécessairement par la définition d'une nouvelle stratégie de développement à moyen et long terme. Cette dernière devra réintégrer la dynamique torrentielle, en incorporant les impératifs de développement sans ignorer l'importance de la vulnérabilité sur ce secteur. Une telle démarche ne peut être envisageable que si elle est politiquement soutenue et qu'elle se réalise en concertation avec les acteurs locaux de la gestion du territoire. D'autre part, pour que la réduction du risque torrentiel puisse être durable, comprise et acceptée par la population, un considérable effort d'information doit être entrepris. Celle-ci débute en premier lieu par une meilleure connaissance de l'aléa torrentiel car les échelles spatiales et surtout temporelles qui régissent les dynamiques torrentielles sont parfois difficilement perceptibles pour des non-initiés en comparaison des échelles socio-économiques.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Or, et à l'inverse de la perception répandue du caractère antinomique de la gestion des risques naturels et du développement, ces questions sont en réalité intimement associées. Par exemple et sans considérer les enjeux vitaux, les coûts cumulés de la correction active *(implantation, entretien, etc.)* habituellement proposée peuvent à terme se révéler bien supérieurs aux dommages directs d'une crue, voire même aux coûts d'expropriation ou d'acquisition. Or, ces aménagements sont généralement à la charge[113] des municipalités, et logiquement, de tels investissements impliquent d'une manière ou d'une autre des répercussions sur le développement économique communal.

Dans le cas du cône du Saint-Bernard, notre analyse a suffisamment démontré que la réduction durable de la vulnérabilité ne peut raisonnablement pas passer une unique action sur l'aléa. **Certes, et pour plus de sûreté, il serait souhaitable que soit mis en place un drainage actif et une stabilisation de la moraine du Villard.** Constituant la rive gauche du torrent de Saint-Bernard à l'apex de son cône, cette dernière porte effectivement la marque de ravinements intenses et donc en cas de saturation, de possibles "départs en paquet". **[Cf. figure 150]**

Néanmoins et au moins pour la période contemporaine, ce torrent ne semble pas présenter de prédispositions particulières aux évènements paroxystiques. A moins d'imaginer une correction de l'ensemble du bassin versant en espérant "éteindre" la dynamique torrentielle, **les efforts menant à une diminution sensible et durable de la vulnérabilité doivent être concentrés sur les enjeux.** Compte tenu de leur importance actuelle, les solutions seront nécessairement complexes, adaptées et si possible novatrices, tant dans les réflexions préalables que dans leur application. A moins d'un danger vital majeur et imminent, il est évidemment illusoire d'imaginer un déplacement des infrastructures ou des activités à court terme, en rappelant que Chantemerle constitue tout de même le cœur historique de Serre-Chevalier.

[113] Suite à un évènement dommageable, une partie des aménagements de prévention peuvent être l'objet de subventions étatiques, régionales ou éventuellement du fond de prévention des risques naturels.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

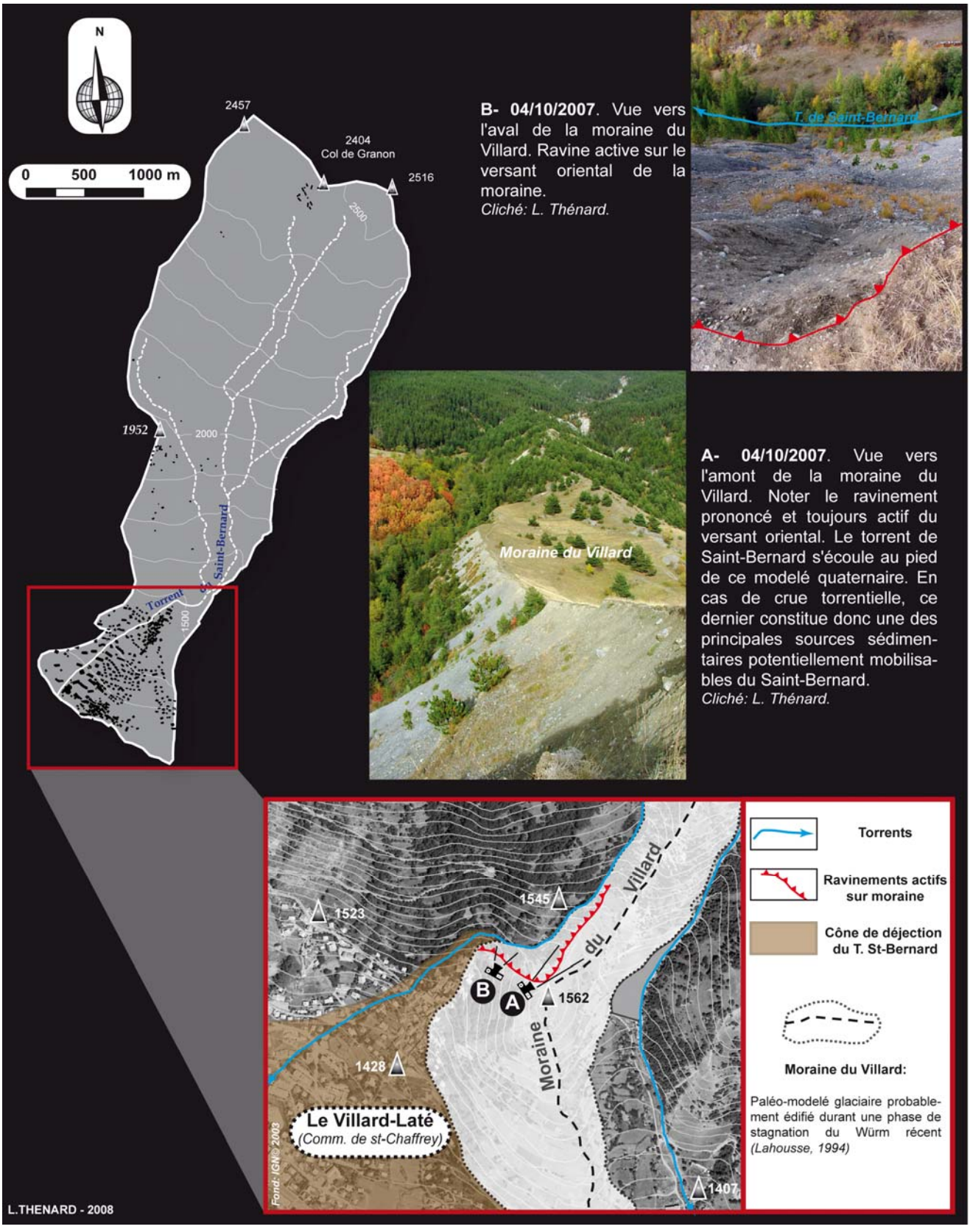


Figure 150: Torrent de Saint-Bernard : ravinement de la moraine du Villard.

L'érosion du flanc oriental de la moraine du Villard est la principale source sédimentaire aisément mobilisable du bassin versant. Si dans son fonctionnement "habituel" contemporain, ce torrent ne présente que de faibles prédispositions à développer des évènements de forte intensité, on ne peut pas totalement exclure la survenue d'une lave torrentielle à la faveur par exemple, d'un glissement massif dans la moraine du Villard.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Même si des études complémentaires, transversales et à grande échelle, doivent encore être entreprises, **nous proposons d'utiliser les connaissances déjà acquises sur ce torrent pour redéfinir un plan d'action à moyen et long terme :**

- Puisqu'elle a pu être reconnue, il s'agirait dans un premier temps de **reprendre schématiquement les limites de l'ancienne zone d'emprise sur le cône**, zone dans laquelle se dirigeront prioritairement les actions visant à réduire la vulnérabilité **[Cf. figure 151]**. Ce zonage présente l'avantage évident de ne pas reposer sur les limites de débordements d'un évènement paroxystique qui pourrait être perçu comme exceptionnel ou comme une référence qui n'en n'est pas forcément une, mais bien sur une ancienne aire de divagation torrentielle que tous les débordements actuels ou à venir sont susceptibles de reprendre naturellement. Ainsi, cette démarche repose sur des faits établis, et renvoie à une dynamique naturelle inscrite dans la durée, aisément appréhendable. Au moins, peut-on par ce biais, éviter en partie le sentiment d'injustice que les zonages actuels provoquent bien souvent.

- Pour réduire durablement le risque, cette zone prioritaire doit également être considérée comme un espace non seulement et immédiatement inconstructible, mais surtout qui à terme devra être "rendu" au torrent *(au moins dans la zone distale de son cône)*. Ainsi, un espace bien délimité et correctement calibré permettrait au torrent de dissiper naturellement son énergie comme il l'a fait depuis des millénaires pour édifier son cône de déjection… Evidemment et compte tenu de la densité du bâti actuel, il serait indispensable de procéder **à un endiguement** qui ceinturerait la zone déterminée précédemment, limitant ainsi l'extension d'éventuels débordements. Par exemple, **des merlons pourraient être intégrés au tissu urbain**, dans les parcs privatifs ou les espaces municipaux. En attendant d'être détruits dans quelques décennies, les bâtiments situés à la périphérie de cette zone feraient la jonction avec les merlons, puisqu'ils constituent par définition des obstacles aux écoulements. Pour assurer leur efficacité et leur intégration au paysage urbain, les merlons pourraient par exemple être renforcés par des enrochements et végétalisés *(pelouse, ligneux, etc)*. **Evidemment, de tels aménagements supposent en amont une longue et substantielle démarche d'information et de concertation** ; éventuellement, des mesures incitatives pourraient être proposées *(déductions fiscales, exonérations partielles, etc…)*. A condition qu'elles soient comprises et soutenues à tous niveaux, les deux premières propositions pourraient raisonnablement être mise en œuvre à l'échelle d'une décennie.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

- Par suite et en s'inscrivant cette fois à l'échelle temporelle d'une génération à deux générations *(30 à 60 ans)*, **les bâtiments implantés dans la zone endiguée évoquée ci-avant devront progressivement disparaître.** Là encore, il ne s'agit pas d'une démarche révolutionnaire ou chimérique mais bien d'employer le cadre législatif actuel encadrant la prévention des risques naturels *(PPRN)*. Si l'expropriation est probablement la mesure la plus radicale, elle est également la plus connue et assurément la moins appliquée. Or, il existe désormais des solutions alternatives comme par exemple **la procédure d'acquisition à l'amiable (***Art. L561-3/2003 du code de l'Environnement)* que nous développerons par la suite. Moins lourde administrativement, elle relève généralement d'une démarche municipale. Elle permet donc d'atténuer le caractère arbitraire de l'expropriation puisqu'il s'agit d'une proposition et d'un accord amiable entre un particulier ou un groupement de particuliers et une commune. Par ailleurs et par exemple, l'acquisition amiable permet de faire des propositions d'achat de bâtiments basées sur les prix du marché immobilier et surtout hors contexte du risque naturel en cause. Ce dispositif légal constitue manifestement une avancée importante puisqu'elle évacue la menace d'une sous-évaluation et/ou de la dévaluation. Aussi, le financement des travaux de protection ou des rachats par les communes peut être en partie ou totalement assuré par le Fond de Prévention des Risques Naturels Majeurs[114] *(FPRNM)* sous réserve que *"le prix de l'acquisition amiable s'avère moins coûteux que les moyens de sauvegarde et de protection des populations"*.

Dans le cas du Saint-Bernard et dans la zone prédéfinie, nous proposons donc de généraliser cette procédure d'acquisition à l'amiable, sous réserve évidemment que le financement puisse en être assuré. Toutefois, il s'agit d'une démarche à long terme qu'il est à priori possible d'amortir sur plusieurs décennies pour les communes de Serre-Chevalier. Ainsi, il serait envisageable d'effectuer régulièrement *(rythme quinquennal par exemple)* des propositions d'acquisition à l'amiable dans cette zone sur une dizaine de bâtiments. Si toutefois aucun accord n'arrivait à être convenu, l'inconstructibilité du secteur permettrait à terme de considérablement réduire la vulnérabilité. En revanche, la mise en sécurité durable du reste du cône torrentiel permettrait de poursuivre la densification de l'existant et le développement de la station sans accroître la vulnérabilité.

[114] Le FPRNM est actuellement géré par la CCR *(Caisse Centrale de Réassurance)*. Cette société figure actuellement parmi les 20 premiers réassureurs mondiaux.Il s'agit une société anonyme au capital de 60 millions d'euros, détenue à 100 % par l'État français. En 2008, son chiffre d'affaires s'élevait à 1, 208 milliards d'euros. L'originalité de cette entreprise est d'être une garantie par l'Etat, et de proposer des couvertures illimitées pour des branches spécifiques au marché français telles que les catastrophes naturelles, les risques exceptionnels ou les risques d'attentat et de terrorisme.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Bien entendu, il ne s'agit que de propositions qu'il faudrait sans doute affiner et adapter aux problématiques complexes du cône du Saint-Bernard. Pour autant, la démarche se veut relativement novatrice et surtout elle réintègre le torrent de Saint-Bernard dans le développement de Serre-Chevalier 1300, selon différentes échelles temporelles. En tout état de cause et s'agissant du torrent de Saint-Bernard, il nous paraît à l'évidence plus efficace et plus durable d'adapter les enjeux à l'aléa que la réciproque.

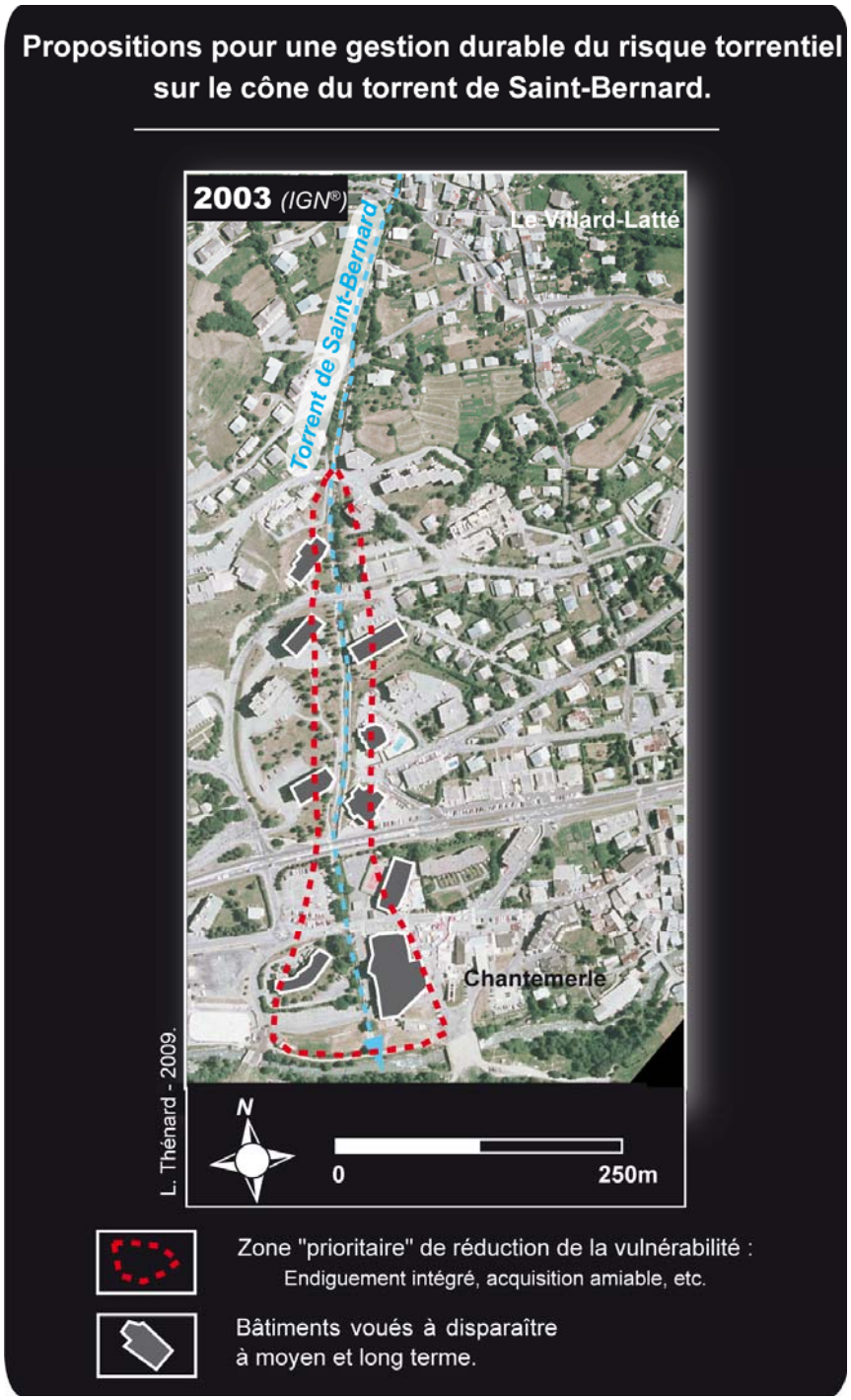


Figure 151 : Proposition pour une gestion plus durable du risque torrentiel sur le cône du torrent de Saint-Bernard.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

4.1.3. Serre-chevalier en 2008 : un aléa, des vulnérabilités…

Si l'aléa torrentiel est présent à différents degrés sur la presque totalité du linéaire guisanais, les actions de prévention passées et actuelles apparaissent très contrastées. Ces disparités actuelles tiennent tant de la nature de la vulnérabilité *(et donc des enjeux)* qu'à la gestion du risque torrentiel.

Suite aux crues dévastatrices de 1856, les services forestiers puis le service RTM ont concentré leur action en Guisane dès la fin du 19ième siècle, sur les torrents les plus actifs *(forte occurrence de l'aléa)* et surtout dont les crues étaient les plus dommageables. Logiquement, les torrents concernés se situaient à proximité immédiate des noyaux villageois. C'est essentiellement en raison de cet historique que les torrents de Saint-Joseph, de La Salle **[Cf. figure 152]**, du Sainte-Elisabeth ou de Réguinier sont aujourd'hui les torrents les plus lourdement et anciennement équipés. Ainsi durant ce que l'on a appelé l'"âge d'or de la RTM", le Saint-Joseph a été l'un des premiers torrents à avoir été intégré aux périmètres RTM et à avoir fait l'objet d'un programme global de correction torrentielle *(reboisement du bassin versant, barrages, seuils, etc.)*. Ces périmètres RTM s'étendront dès le début du 20ième siècle *(1903)* aux torrents de Saint-Chaffrey *(Verdarel, Sainte-Elisabeth)*. Par suite, l'action du Service RTM a essentiellement consisté en l'entretien de ces ouvrages et/ou éventuellement à la poursuite de l'entreprise de correction. Les torrents précités se localisent tous sur le versant d'adret, en rive gauche de la Guisane. Or, le développement du domaine skiable de Serre-Chevalier sur le versant d'ubac a naturellement concentré les infrastructures à vocation touristique sur les cônes situés en rive droite de la Guisane, à l'exception notable du torrent de Saint-Bernard que nous avons étudié précédemment. De fait, les cônes anciennement et nouvellement anthropisés situés en rive gauche et à proximité des villages historiques, ont été majoritairement exploités pour l'habitat permanent et secondaire. **Dans cette vallée, la nature des enjeux a incontestablement et jusqu'aujourd'hui conditionné la gestion du risque torrentiel.**

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

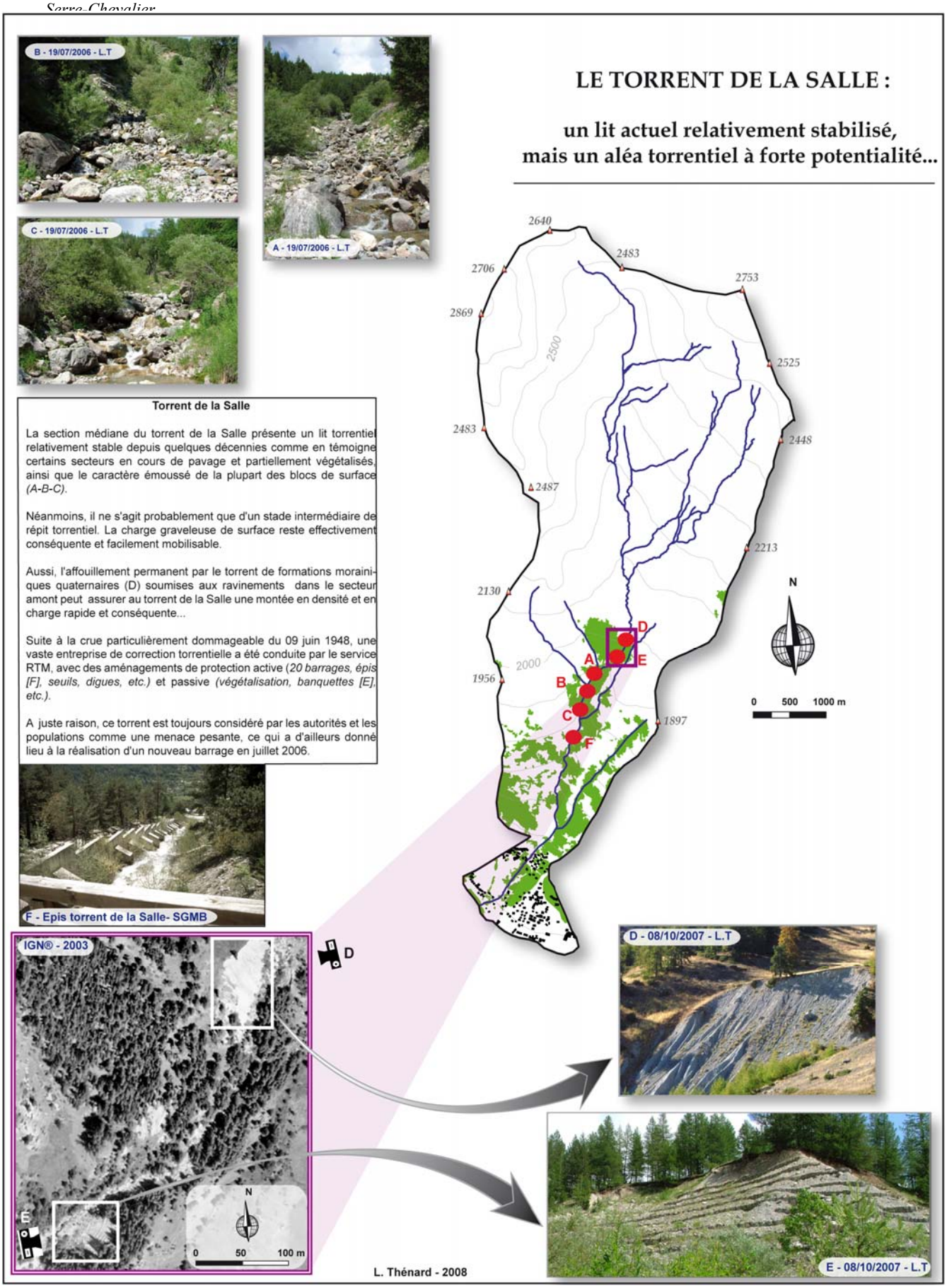


Figure 152: Torrent de la Salle [Id 27] .

Un torrent périmétré RTM et lourdement équipé (Barrages, épis, seuils, banquettes, etc.), relativement stabilisé à l'heure actuelle. Mais, cette période de répit torrentiel pourrait être remise en question par un évènement de forte intensité. Car les sources sédimentaires restent abondantes et donc le torrent de la Salle demeure un torrent de forte potentialité en terme d'aléa.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Pour preuve, le désormais tristement célèbre cône du torrent du Bez, sur lequel est implanté Villeneuve-la-Salle *(Serre-Chevalier 1400)* depuis le début des années 1960, n'a fait l'objet d'aucune mesure particulière vis-à-vis de la prévention du risque torrentiel jusqu'en 1995. Pourtant, au printemps 1973, une première alerte sérieuse aurait pu ou du sensibiliser les responsables de l'époque. **[Cf. figure 153]**.



Figure 153 : Crue et débordement du torrent du Bez en mai 1973.

Les dégâts limités, la faible conscience du risque et surtout l'importance des enjeux économiques ont rapidement occulté l'idée même de vulnérabilité. Le torrent de La Salle fait presque figure d'exception *(dans le bassin versant et non sur le cône)* car les services techniques de la Salle-les-Alpes ont gardé la maîtrise de l'aménagement du territoire communal, sans en extérioriser la gestion au service RTM (Flez et Lahousse, 2002). Bien que dans le cas du torrent de la Salle, il ait fallu attendre qu'une crue occasionne des dégâts assez considérables le 09 juin 1948 sur le cône de déjection. La maîtrise d'oeuvre de la correction torrentielle a alors été confiée au service RTM. A noter également que concernant le Bez et deux ans seulement avant la crue dévastatrice du 24 juillet 1995, un rapport interne du service RTM réalisé dans le cadre de l'établissement du POS, signalait l'important potentiel de ce torrent et l'ampleur de la vulnérabilité des infrastructures sur le cône (Perinet, 1993).

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

Toutefois, ces recommandations n'ont pas été suivies d'effet probablement par crainte que l'image de Serre-Chevalier 1400 puisse être ternie par une prise en compte visible du risque. Force est de constater qu'aujourd'hui le sujet reste sensible puisque peu de nos tentatives pour rencontrer les élus et les responsables municipaux concernés[115] ont abouti et alors qu'une première tranche de travaux de protection est en cours à la racine du cône.

A l'inverse, nous verrons que la gestion récente et actuelle du risque pour le torrent du Verdarel *(Saint-Chaffrey)* est bien différente, fonction de la nature des enjeux. L'équipement du torrent du Verdarel suite à la crue du 09 juillet 1981 et la poursuite de la correction actuelle en témoignent largement. **Toutefois, la gestion actuelle du risque torrentiel tend à privilégier les ouvrages de correction passive sur les cônes de déjection ou les implantations ponctuelles d'ouvrages *(barrages, seuils, dents freineuses, etc.)* dans les lits torrentiels. Cela constitue indéniablement un changement de conception de la gestion du risque comparativement aux solutions proposées depuis plus d'un siècle et appelle certainement à une réflexion plus globale sur ce thème.**

[115] Malgré le caractère sensible de la thématique du risque torrentiel pour la commune de la Salle-les-Alpes, nous tenions à exprimer notre gratitude à Mr Gauthier, responsable des services techniques municipaux, pour son accueil et les quelques renseignements qu'il a pu nous fournir à propos des travaux de mise en sécurité sur le cône du Bez.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

4.2. LE VERDAREL : UN TORRENT A L'ORIGINE DE LA PRISE DE CONSCIENCE DE LA REALITE DU RISQUE TORRENTIEL A SERRE-CHEVALIER.

Depuis toujours, les torrents constituent un des aléas naturels les plus redoutés dans la vallée de la Guisane, et plus largement dans l'ensemble du Briançonnais. Dans cette vallée, l'association des contextes morphostructuraux et bioclimatiques en fait naturellement un secteur privilégié pour le développement d'une torrentialité intense et de forte occurrence.

Pour s'en prémunir nous avons vu que les forestiers, puis le service RTM avaient engagé dès la fin du 19^{ième} siècle des actions de correction pour les torrents menaçant directement les noyaux villageois historiques. L'objectif initial était une restauration des terrains les plus dégradés par les activités anthropiques traditionnelles *(agro-pastoralisme, activités minières, etc.),* et donc en proie à d'intenses processus érosifs. La correction torrentielle devait à terme aboutir à l'extinction des torrents (Surell, 1841 ; Cézanne, 1872 ; Demonzey, 1882). Si ces interventions se sont souvent révélées efficaces sur l'aléa, l'ampleur de la tâche, les restrictions budgétaires de la première moitié du 20^{ième} siècle, la complexité et la diversité des bassins torrentiels ne permettront pas de généraliser ce type d'interventions ni même l'éradication du risque torrentiel. Aussi et surtout, la reconversion économique de la vallée de la Guisane avec le développement de Serre-Chevalier dès les années 1950 jusqu'aujourd'hui, a entraîné une urbanisation parfois massive du fond de vallée et principalement des cônes de déjection.

Auparavant, l'absence d'enjeux sur ces cônes nouvellement anthropisés ne justifiait pas d'interventions particulières dans les bassins versants. Or, le succès et l'expansion de Serre-Chevalier ont abouti à un considérable bouleversement socio-économique de la vallée et une rupture tout aussi brutale du point de vue de la mémoire et de la perception des risques naturels. Inexorablement et très rapidement, la progression de la vulnérabilité sur ces cônes torrentiels s'est accrue dans l'indifférence générale. Pour preuve, les autorisations de bâtir au sein même des zones d'emprises torrentielles existantes ont été accordées durant près de quatre décennies.

Malgré les ravages causés par le torrent de la Salle en 1948 sur son cône de déjection et quelques alertes sérieuses dans les décennies suivantes *(ex : crues de 1955 et 1973)*, l'urbanisation soutenant le développement de Serre-Chevalier s'est poursuivie à un rythme soutenu sans véritables contraintes.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Logiquement, cette menace latente se concrétisa rapidement et brutalement. Par les dommages et la frayeur qu'il a suscités en juillet 1981, le torrent du Verdarel *(Saint-Chaffrey)* a rétabli comme une réalité le risque torrentiel dans la conscience collective. Avec celui du Bez, le cône du Verdarel constitue encore aujourd'hui un des sites les plus vulnérables de la vallée à l'aléa torrentiel. L'analyse de la crue de septembre 2005 le confirmera d'ailleurs (Cf. 3.5.1.3). En cela, il symbolise non plus seulement l'éventualité mais bien la véracité du risque torrentiel à Serre-Chevalier.

Avant de poursuivre notre analyse sur le Verdarel, il nous faut signaler que ce torrent a déjà fait l'objet de plusieurs publications scientifiques et de nombreux rapports techniques, notamment au sujet de crue de 1981 et de ses conséquences. Naturellement et dans un premier temps, nous nous appuierons sur ces articles, auxquels nous renverrons le lecteur pour des détails éventuels. En revanche, la crue de septembre 2005 sera plus largement analysée.

4.2.1. Un bassin versant aux caractéristiques morphologiques prédisposant à un aléa torrentiel intense.

Le torrent du Verdarel se localise en basse vallée de la Guisane et constitue environ 16% du territoire communal de Saint-Chaffrey **[Cf. figure 154]**. En rive gauche de la Guisane *(versant d'adret)*, son cône de déjection se situe immédiatement en amont du centre villageois.

Le bassin versant du Verdarel couvre environ 3,6 km² et jusqu'à 4,27 km² *(427 ha)* en lui adjoignant le cône torrentiel. D'Ouest en Est, son bassin de réception s'insère entre le Grand Meyret *(2516m)* et les sommets escarpés de la crête de Peyrolle *(Croix de la Cîme : 2606m)*. Avec 1296 mètres de dénivellation[116], la pente moyenne du linéaire torrentiel est de 15,6° *[R_R = 11,77°]*. Aussi, ce torrent s'inscrit dans le bois du Villard et celui des Rousses, ce qui confère à son bassin un taux de boisement d'environ 48%. Donc, de prime abord, le Verdarel ne se présente pas comme un torrent particulièrement atypique comparativement aux autres torrents de la basse vallée (Cf. 2.4.2 / tableau XV).

En revanche, il se démarque plus nettement s'agissant de la forme de son bassin avec un indice de compacité *(Gravelius)* de 1,79, ce qui en fait l'un des torrents les plus étirés de la vallée. Aussi et surtout, le Verdarel possède la deuxième plus importante densité de drainage de tous les torrents guisanais *[D_d = 5,8 km.km^{-2}]*. Cette spécificité résulte pour l'essentiel d'une mauvaise qualité d'infiltration dans la section supérieure du bassin, et donc, du développement d'un réseau élémentaire très resserré dont la principale caractéristique est d'être court et intermittent.

[116] L'altitude de la confluence entre la Guisane et le Verdarel est de 1310 mètres.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

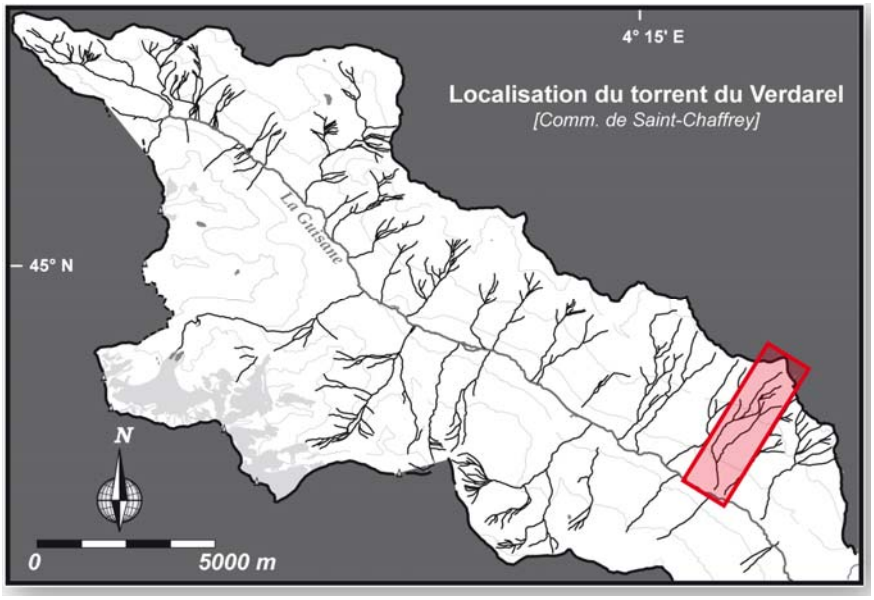


Figure 154 : Localisation du torrent du Verdarel

D'autre part, l'impluvium prend l'aspect d'un vaste amphithéâtre visuellement assez contrasté, car les zones sommitales apparaissent franchement minérales et le fond forme de vastes alpages *(pelouse alpine)*. Le bassin de réception du Verdarel correspond en fait à un ancien cirque glaciaire. Autrement dit, on perçoit d'ores et déjà ici la capacité du torrent à capter et à concentrer rapidement les eaux de ruissellement vers les chenaux principaux. En cas de sources sédimentaires abondantes, cette organisation du réseau hydrographique constitue déjà une prédisposition importante pour des montées en compétence rapides et massives.

Enfin, ce torrent s'organise selon deux axes d'écoulement principaux **[Cf. figure 155]**: le Grand *(branche occidentale)* et le Petit Verdarel *(branche orientale)*. Le premier constitue le tronçon hydrographique principal et la jonction entre ces deux chenaux se réalise à la cote 1407 mètres, juste en amont du "Pont des Neyzets", sur le cône de déjection. La physionomie de ces deux branches apparaît sensiblement différente puisque l'instabilité et une forte incision verticale caractérise le Grand Verdarel sur l'ensemble de son linéaire, alors que le Petit Verdarel semble bien plus stable présentant même une végétalisation avancée de son lit. A noter également que le Grand Verdarel dispose dans la partie supérieure de son bassin d'un affluent en rive droite *(confluence vers 1765m)*, le Malatra[117], qui est une importante source sédimentaire potentielle et directe du Verdarel. Même s'il n'est plus signalé sur les cartes topographiques récentes, ce ravin a pleinement contribué à l'alimentation de laves torrentielles lors des évènements de 1981, 1983 et 1988. Actuellement et malgré sa végétalisation superficielle, le chenal est entièrement rechargé de blocs parfois plurimétriques.

[117] "MALATRA" : En Provensal, ce terme semble signifier *"mauvais attelage"* ou *"mauvais chemin"*, ce qui en soit n'est pas très différent. Des rapprochements étymologiques ont été évoqués avec d'autres noms attribués aux torrents du Briançonnais, comme par exemple le torrent de Malefosse, qui littéralement peut se traduire comme un *"mauvais trou"* ou *"fossé"*. Ces termes ne laissent en tout cas que peu de doute quand à la défiance des autochtones vis-à-vis de ces torrents ou ravins !

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

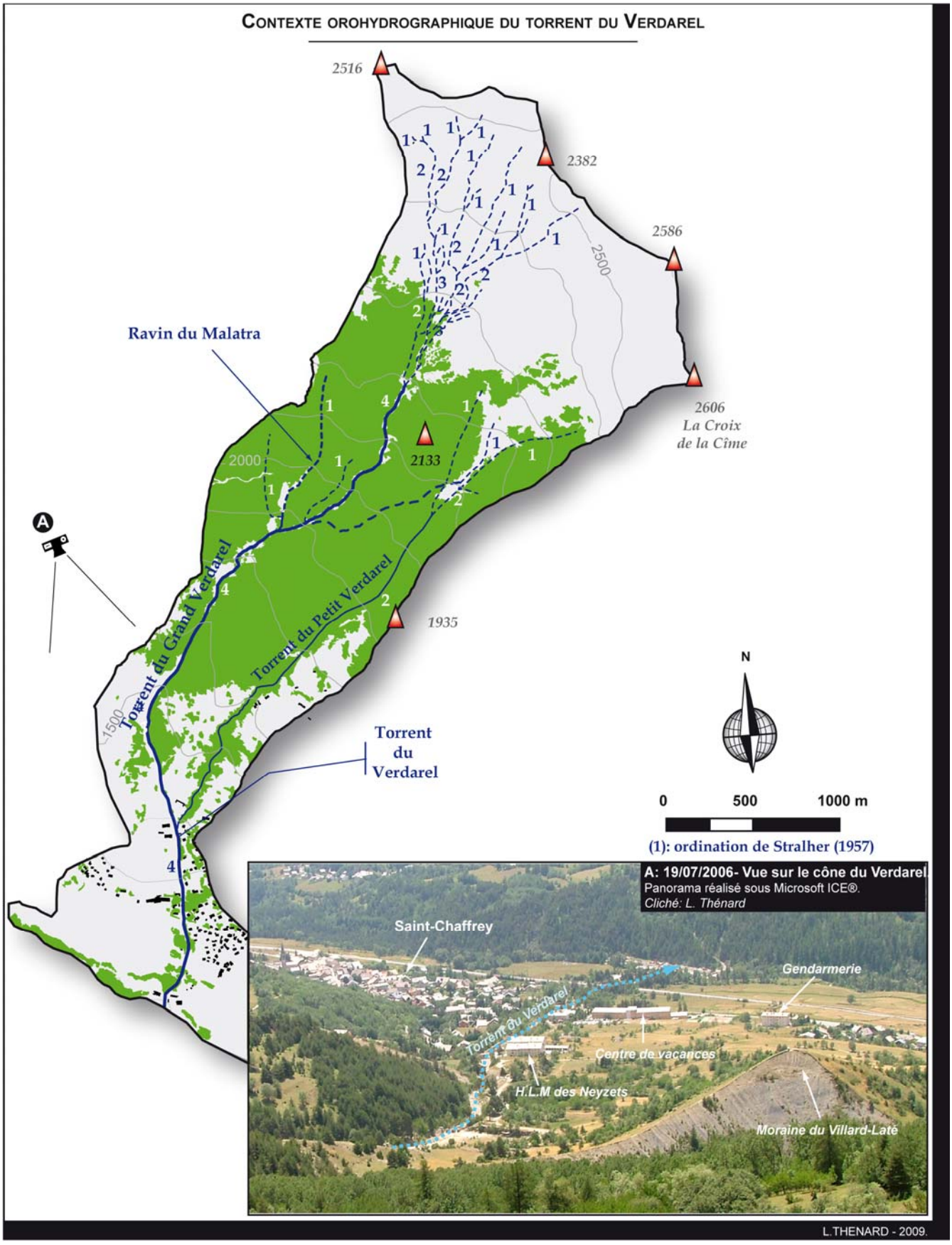
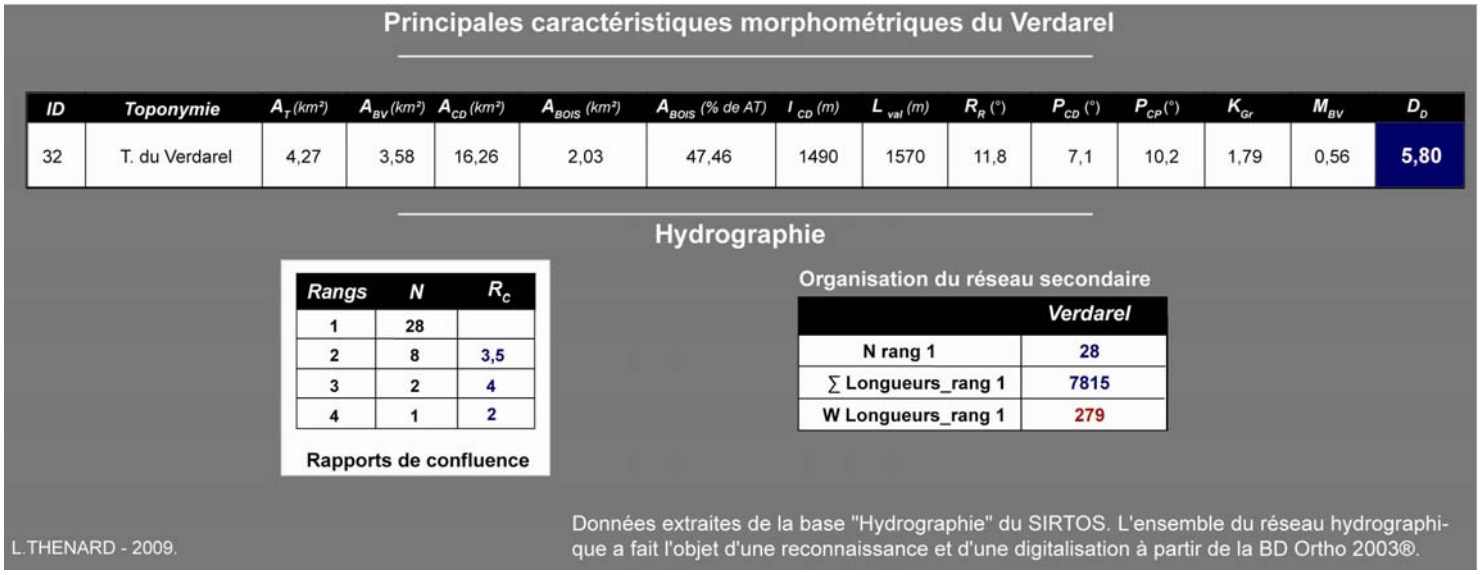


Figure 155 : Contexte orohydrographique du torrent du Verdarel.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr



ID	Toponymie	A_T (km²)	A_{BV} (km²)	A_{CD} (km²)	A_{BOIS} (km²)	A_{BOIS} (% de AT)	I_{CD} (m)	L_{val} (m)	R_R (°)	P_{CD} (°)	P_{CP} (°)	K_{Gr}	M_{BV}	D_D
32	T. du Verdarel	4,27	3,58	16,26	2,03	47,46	1490	1570	11,8	7,1	10,2	1,79	0,56	5,80

Rangs	N	R_C
1	28	
2	8	3,5
3	2	4
4	1	2

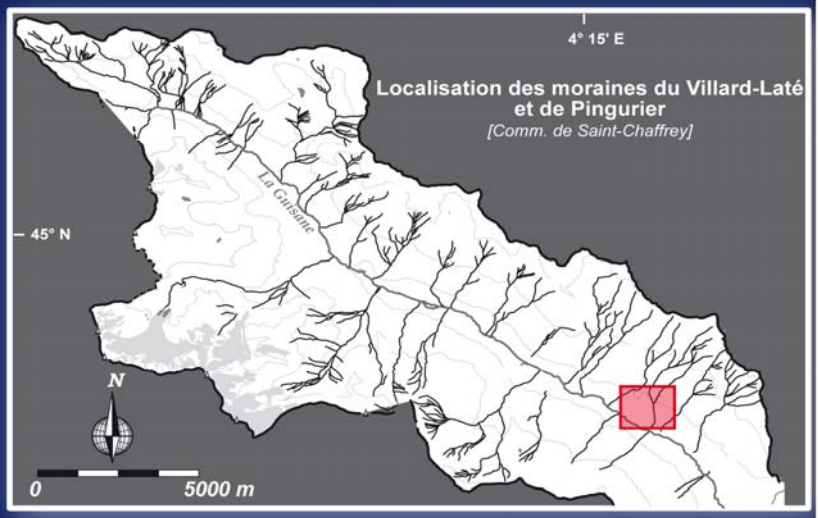
Figure 156 : Principales caractéristiques morphométriques du Verdarel.

L'absence de véritable contrainte structurale locale (Piegay et al, 2000), dans la dimension transversale de la vallée *(largeur max. de versant à versant = 1570m)*, a permis au torrent du Verdarel d'édifier un puissant cône de déjection. Il s'étend sur 69 ha et sa pente moyenne n'excède pas 7,1°**[Cf. figure 156]** Aujourd'hui, et en raison de nombreux aménagements réalisés sur le cône, le torrent adopte un style largement canalisé sur les 2/3 inférieurs de l'édifice détritique. Ce cône montre néanmoins quelques spécificités morphométriques. Il se présente en effet sous une forme assez étirée, en étant nettement plus long *(1490m)* que large *(largeur max. : ± 700m)*. Cet aspect résulte de la contrainte latérale qu'exercent les imposantes moraines quaternaires du Villard-Laté et de Pingurier **[Cf. Encadré Vi]**. En encadrant le cône de déjection, leur présence a limité les étalements torrentiels latéraux mais les processus érosifs qui les affectent *(ravinements)* peuvent, le cas échéant, contribuer à la recharge sédimentaire ou à l'alimentation des crues. L'affouillement du Verdarel à la base de la moraine de Pingurier entretient cette instabilité sur le flanc occidental.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

L'omniprésence des héritages glaciaires pléistocènes en basse vallée de la Guisane.

En basse vallée de la Guisane, et pour ne citer qu'elles, les puissantes moraines latérales du **Villard-Laté** et de **Pingurier** illustrent parfaitement les propos précédents. Situées en rive gauche de la Guisane juste en amont de Saint-Chaffrey, **ces édifices quaternaires encadrent toute la partie apicale et médiane du cône de déjection du torrent du Verdarel sur son cône de déjection.** La moraine du Villard-Laté est la plus imposante puisqu'elle s'étire sur près de 1500 mètres pour atteindre localement plus de 120 mètres d'énergie, et sa largeur basale varie de 150 à plus de 400 mètres !





Témoins morphologiques d'une ancienne récurrence glaciaire et manifestement d'une longue phase de stagnation *(fin du pléniglaciaire ou tardiglaciaire?)*, ces moraines influent sensiblement sur le tracé du torrent de Verdarel et plus encore sur celui de Saint-Bernard. **Les ravinements permanents et les instabilités locales qui affectent régulièrement ces modelés sont également suceptible de contribuer de façon conséquente à l'alimentation des crues torrentielles** *(notamment les "laves")*, en particulier à l'apex des cônes torrentiels et donc juste à l'amont de zones densément urbanisées...



A- 07/10/2007. Vue sur le Villard-Laté, sur sa moraine éponyme et sur la moraine de Pingurier. A noter l'importance des ravinements affectant les flancs occidentaux *(flèches rouges)*.
Cliché: L. Thénard.

A'- 04/10/2007. Cliché axial de la moraine du Villard-Laté.
Cliché: L. Thénard.

B - 22/04/2006. Photographie réalisée depuis le sommet de la moraine de Pingurier - Vue sur le flanc oriental de la moraine du Villard-Laté.
Cliché: L. Thénard.



L. Thénard - 2009.

Encadré v : L'omniprésence des héritages würmiens en basse vallée de la Guisane.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

L'imperméabilité du haut bassin versant est liée à la nature du substrat sur lequel le Verdarel s'organise. Les sections supérieure et médiane du bassin versant reposent essentiellement sur des terrains du Carbonifère, et notamment houillers *(conglomérats polygéniques, grès, schistes, pélites, anthracite, etc.)* appartenant à la zone briançonnaise (Cf. 1.2.3.1). Or, sur ces séries peu perméables reposent d'épaisses formations superficielles quaternaires, essentiellement morainiques. Des sondages sismiques réalisés dans le bassin versant ont démontré que ces dépôts d'origine glaciaire pouvaient ponctuellement atteindre des épaisseurs de l'ordre de 30 à 35 mètres (Colas 1982). La présence du soubassement houiller et les pentes accusées ont entraîné une forte instabilité des formations morainiques. Ainsi, les mouvements de terrain sont particulièrement nombreux et actifs dans cette partie supérieure du Verdarel. D'autre part, l'affouillement torrentiel sur le front des glissements contribue largement au maintien d'une instabilité chronique. Ces formations morainiques perturbées forment l'essentielle de la charge et de la recharge sédimentaire du Verdarel dans ce secteur (Lahousse, 1994 et 1996).

En deçà de 2100 mètres d'altitude, le substratum houiller prédomine toujours largement en profondeur sous une forme assez dégradée, puisqu'un fauchage généralisé des têtes de bancs s'est réalisé à l'affleurement sous l'effet de la contrainte tectonique (Barféty *et al.*, 1995 ; Lahousse et Salvador, 2002). Depuis le désenglacement de la vallée et la décompression des versants qui s'en est suivie, l'ensemble de ces formations à blocs du Houiller est en proie à une forte instabilité, se concrétisant en surface par d'innombrables et puissants mouvements de terrain plus ou moins stabilisés. En réalité, ces systèmes de "coulées à blocs" affectent l'ensemble de la section supérieure de la retombée méridionale du Granon, dont le bassin du Verdarel forme l'extrémité orientale. Là encore, le sapement opéré par le torrent du Verdarel entretient largement l'instabilité. Ainsi, en dessous de 2100 mètres, son alimentation sédimentaire est essentiellement assurée par ces vastes mouvements de terrain. Au total, les formations superficielles quaternaires recouvrent près de 90% de la surface du bassin versant !

Autrement dit, le contexte morphostructural du torrent du Verdarel lui confère d'intarissables sources sédimentaires, dont le renouvellement est presque exclusivement réalisé par les mouvements de terrain. Outre l'importance de cet aspect, cela signifie également que les morphodynamiques du Verdarel sont relativement indépendantes du contexte bioclimatique, du moins à l'échelle de l'Holocène. Dès à présent, ce torrent dégage une forte "potentialité" et apparaît prédisposé au développement d'évènements paroxystiques *(laves torrentielles)*, sans que ceux-ci soient pour l'instant influencés par le contexte global et contemporain *(post-PAG)* de tarissement des sources sédimentaires *(notamment périglaciaires)*.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

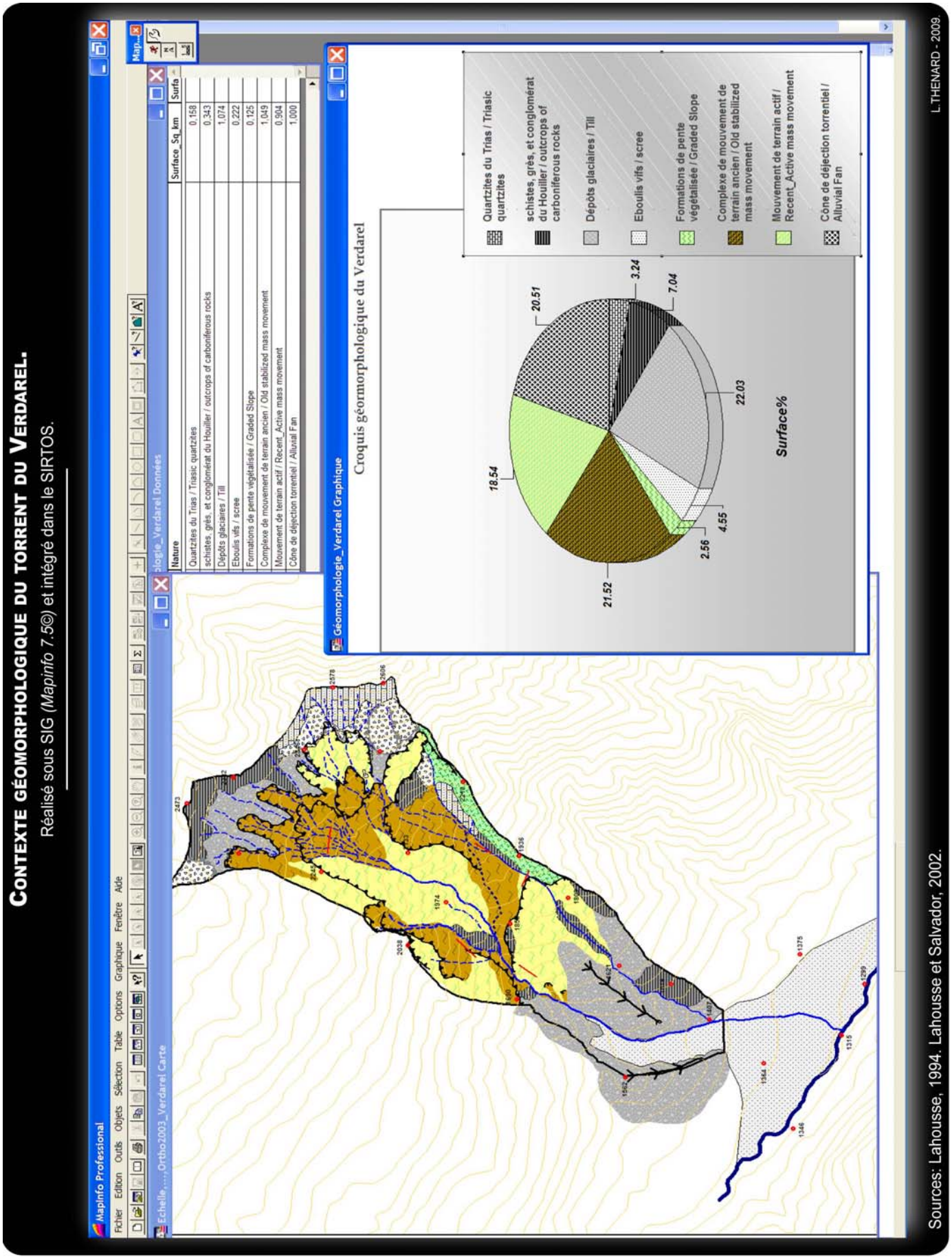


Figure 157 : Contexte géomorphologique du Verdarel (sous SIG).

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

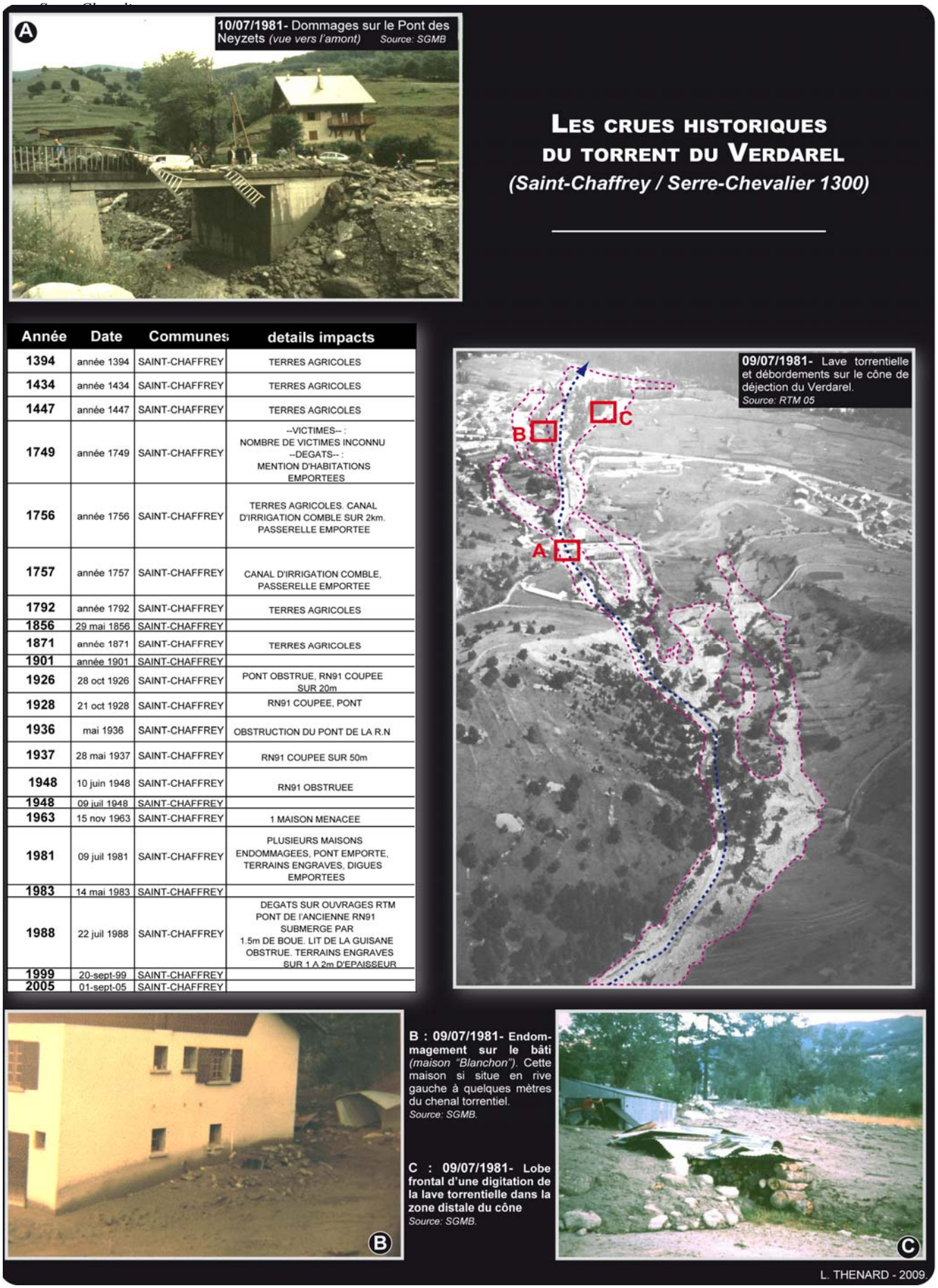
4.2.2. Le paradoxe entre un constat historique éloquent et l'urbanisation récente du cône torrentiel.

Dans les archives, Saint-Chaffrey ressort comme une des communes des Hautes-Alpes ayant de tout temps été particulièrement concernée par l'aléa torrentiel et même l'une des plus affectées (Fanthou, 1991 et 1994 ; Lahousse, 1994 et 1997 ; Baraille, 2001). Pour preuve, 58 crues torrentielles ont été recensées depuis 1394. Dans leur grande majorité, ces évènements sont attribués aux torrents de Sainte-Elisabeth et du Verdarel. Ce dernier rassemble à lui seul près de 35% des crues recensées à Saint-Chaffrey, soit 20 évènements depuis 1394 jusque 2005. A l'instar de l'enquête historique réalisée à l'échelle de la vallée, on observe pour le Verdarel une absence totale de références historiques entre le début milieu du 15^{ième} siècle et le début du 18^{ième} siècle [Cf. 3.2]. D'après ce que nous en connaissons, cette époque s'inscrit en pleine péjoration climatique du PAG. Il est donc difficilement concevable que le torrent du Verdarel soit resté parfaitement inerte durant près de 3 siècles, reconnus par ailleurs avoir été très propices à la torrentialité (Bravard, 1989).

Concernant la période contemporaine *(post 1850)*, 13 évènements ont été recensés pour le Verdarel, dont 11 sont intervenus après l'acquisition par le RTM de la branche occidentale du torrent *(1903)*. A l'échelle contemporaine, le temps de retour moyen entre 2 crues s'établie donc à environ 12 ans. A l'évidence, l'aléa torrentiel se caractérise ici par une forte occurrence et les descriptions des crues confirment l'importance de leur intensité car en dehors des dégâts occasionnés, les deux tiers des références font mention de laves torrentielles.

Avant 1981, les crues historiques ressortant comme les plus importantes dans les archives sont celles de 1749, 1871 et mai 1936 **[Cf. figure 158]**. La description de l'évènement de 1749 classe cette crue parmi les plus dévastatrices qu'ait engendrées ce torrent. Même s'il faut adjoindre quelques réserves quand à la fiabilité de ce type de description, cette référence rapporte sans plus de détails, qu'une lave torrentielle aurait "emportée" des habitations et provoquée plusieurs victimes. De la même manière, la note sur la crue de mai 1936 fait état de l'obstruction de la route nationale 91 *(actuelle D 234)* et d'une éventuelle victime. Malgré nos recherches, cette dernière information n'a pas encore pu être vérifiée.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr



Année	Date	Communes	details impacts
1394	année 1394	SAINT-CHAFFREY	TERRES AGRICOLES
1434	année 1434	SAINT-CHAFFREY	TERRES AGRICOLES
1447	année 1447	SAINT-CHAFFREY	TERRES AGRICOLES
1749	année 1749	SAINT-CHAFFREY	--VICTIMES-- : NOMBRE DE VICTIMES INCONNU --DEGATS-- : MENTION D'HABITATIONS EMPORTEES
1756	année 1756	SAINT-CHAFFREY	TERRES AGRICOLES. CANAL D'IRRIGATION COMBLE SUR 2km. PASSERELLE EMPORTEE
1757	année 1757	SAINT-CHAFFREY	CANAL D'IRRIGATION COMBLE, PASSERELLE EMPORTEE
1792	année 1792	SAINT-CHAFFREY	TERRES AGRICOLES
1856	29 mai 1856	SAINT-CHAFFREY	
1871	année 1871	SAINT-CHAFFREY	TERRES AGRICOLES
1901	année 1901	SAINT-CHAFFREY	
1926	28 oct 1926	SAINT-CHAFFREY	PONT OBSTRUE, RN91 COUPEE SUR 20m
1928	21 oct 1928	SAINT-CHAFFREY	RN91 COUPEE, PONT
1936	mai 1936	SAINT-CHAFFREY	OBSTRUCTION DU PONT DE LA R.N
1937	28 mai 1937	SAINT-CHAFFREY	RN91 COUPEE SUR 50m
1948	10 juin 1948	SAINT-CHAFFREY	RN91 OBSTRUEE
1948	09 juil 1948	SAINT-CHAFFREY	
1963	15 nov 1963	SAINT-CHAFFREY	1 MAISON MENACEE
1981	09 juil 1981	SAINT-CHAFFREY	PLUSIEURS MAISONS ENDOMMAGEES, PONT EMPORTE, TERRAINS ENGRAVES, DIGUES EMPORTEES
1983	14 mai 1983	SAINT-CHAFFREY	
1988	22 juil 1988	SAINT-CHAFFREY	DEGATS SUR OUVRAGES RTM PONT DE L'ANCIENNE RN91 SUBMERGE PAR 1.5m DE BOUE. LIT DE LA GUISANE OBSTRUE. TERRAINS ENGRAVES SUR 1 A 2m D'EPAISSEUR
1999	20-sept-99	SAINT-CHAFFREY	
2005	01-sept-05	SAINT-CHAFFREY	

Figure 158 : Les crues historiques du torrent du Verdarel

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Si la forte occurrence de l'aléa torrentiel caractérise le Verdarel, ce torrent présente également une grande variabilité temporelle dans la distribution des évènements paroxystiques. En effet, il démontre une aptitude à générer des crues parfois très rapprochées *(quelques années d'intervalle)* : 1749 ; 1756 ; 1757 / 1926 ; 1928 / 1936 ; 1937 / 1981 ; 1983 ; 1988. Cette faculté mobilisatrice alimentant des évènements extrêmes indique une grande capacité de la réserve et de la recharge sédimentaire. L'importance de la couverture et de l'instabilité des formations superficielles nappant le bassin versant sont essentiellement à l'origine de l'efficacité de la recharge sédimentaire du Verdarel [Cf. 4.2.1].

Dès lors, on comprend pourquoi le cône du Verdarel est quasiment resté vierge de toute implantation anthropique jusqu'au milieu du 20^{ième} siècle. A l'inverse, l'inconscience ayant accompagné l'urbanisation de ce cône durant la période récente *(post 1950)* apparaît aujourd'hui comme un pari assez irraisonné. Une nouvelle fois, la reconversion économique s'est traduite par une importante modification de la perception de l'environnement. La défiance qu'inspiraient les torrents s'est effacée au profit d'une course frénétique au développement, en particulier sur les aspects immobiliers. Dans ce contexte, la notion d'exposition à un aléa naturel redoutable a été complètement occultée. Toutefois et à l'instar de bien d'autres cônes torrentiels de la basse et moyenne vallée, l'urbanisation sur le cône du Verdarel s'est réalisée durant 4 décennies sans autre forme de contrainte ni même d'inquiétude. La course au développement et l'illusion d'une croissance économique perpétuelle ont évacué la conscience du milieu naturel sur lequel la station touristique s'étendait *(en dehors de son aspect ludique)* et les principes de bons sens qui prévalaient jusque là chez les montagnards.

Ainsi, l'urbanisation sur le cône du Verdarel s'est réalisée durant les décennies 1960-1970 et pour l'essentiel en rive gauche du torrent *(zones médianes et distales du cône)*. En 1981, on dénombrait déjà 56 bâtiments implantés sur le cône torrentiel. D'autre part et de manière assez inhabituelle pour ce torrent durant la période contemporaine, les habitants de Saint-Chaffrey n'ont eu à déplorer aucun débordement majeur sur le cône de déjection entre 1948 et 1981. La dernière crue notable remontait effectivement aux 09 et 10 juin 1948, mais elle s'est révélée assez peu dommageable en dehors de l'engravement de la RN 91. Donc, de manière concomitante au développement de Serre-Chevalier, le torrent du Verdarel n'a généré aucun phénomène paroxystique durant plus de trois décennies, ce qui évidemment a renforcé le sentiment de sécurité, et plus sûrement, a fait du cône du Verdarel l'un des plus vulnérables à l'aléa torrentiel de toute la vallée.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Aussi et contrairement aux cônes nouvellement urbanisés étudiés précédemment (Cf. 3.4.1.2), le cône du Verdarel a vu s'édifier essentiellement des bâtiments destinés à de l'habitat permanent *(habitat collectif de type H.L.M, logements de particuliers, locaux professionnels, gendarmerie, etc.)*. Sur ce cône et actuellement, la part des constructions occupées en permanence atteint même 75% (Flez et Lahousse, 2002). La nature des enjeux apparaît d'ores et déjà assez différente des cônes touristiques évoqués préalablement et de fait la problématique de la gestion du risque torrentiel va s'en ressentir fortement.

4.2.3. 09 juillet 1981 : la prise de conscience de la réalité du risque torrentiel à Serre-Chevalier.

Le 09 juillet 1981, un orage de convection localisé à proximité du col des Barteaux et particulièrement intense, a déversé un véritable "sac" d'eau et de grêle dans le bassin de réception du Verdarel. Compte tenu des éléments déjà évoqués *(contexte géomorphologique, organisation du réseau hydrographique, etc.)*, et suite à trois décennies de recharge sédimentaire, cet extrême climatique a déclenché une réponse hydro-géomorphologique très intense. En effet, le torrent du Verdarel a alors généré une lave torrentielle dont le volume a été estimé entre 30 000 et 50 000 m^3 (Colas, 1987 ; Cocheteau *et al*, 1989).

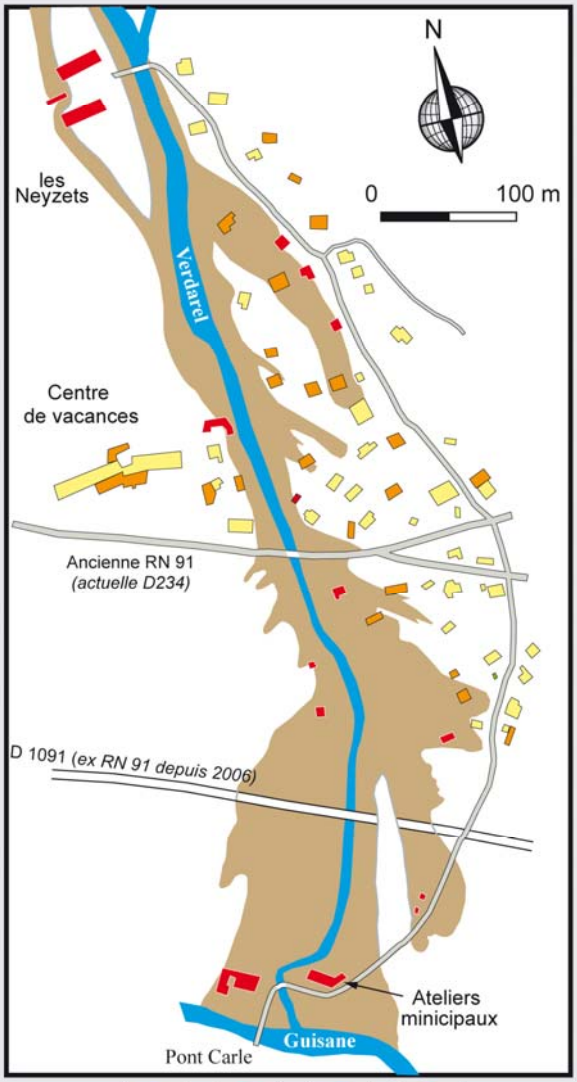
Les débordements et l'envahissement du cône de déjection ont provoqué des dégâts considérables, touchant indistinctement les habitations et les infrastructures (Flez et Lahousse, 2002 et 2004) **[Cf. figure 159]**. A titre d'exemple, la lave torrentielle a descellé et déplacé sur une trentaine de mètres le pont de la RN 91 *(actuelle D 234)*. Ce qui, par ailleurs, a été providentiel pour une habitation et ses occupants situés en rive gauche et à quelques mètres du chenal torrentiel car le tablier du pont déplacé et redressé a fait office de digue provisoire.

Ainsi, 16 bâtiments ont été touchés par la lave torrentielle, à différents degrés et toute nature confondue. Le montant cumulé des dégâts a été évalué à près de 1 000 000 d'euros[118] (Flez et Lahousse, 2002). Si cette crue particulièrement dommageable n'a pas fait de victimes, l'effroi qu'elle a suscité a brutalement concrétisé le risque torrentiel à Serre-Chevalier. Le retentissement de cet évènement ne s'est pas limité aux populations riveraines mais à l'ensemble du Briançonnais et même au-delà. Il faut dire que l'ampleur des dégâts avait même nécessité le concours de l'armée *(génie civil)* et la mise en place d'un pont provisoire. La violence de cette crue a largement ébranlé l'insouciance qui accompagnait le développement de Serre-Chevalier et prédominait depuis plus de 3 décennies. Brutalement, l'ensemble des institutions en charge de la gestion du territoire, des élus et une bonne partie des administrés de Saint-Chaffrey ont pris la mesure de la vulnérabilité sur le cône du Verdarel. Cette dernière est le résultat de plus de trente années de reconversion économique certes, mais aussi d'une dérive de la gestion des territoires, assurément aveuglée par l'exaltation de la course à l"or blanc".

[118] L'euro n'étant pas en vigueur à l'époque, ce montant résulte de la conversion des francs constants 2000.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

UN TORRENT À L'ORIGINE DE LA PRISE DE CONSCIENCE DE LA RÉALITÉ DU RISQUE TORRENTIEL À SERRE-CHEVALIER.



1. 2. 3. 4.

1- Extension de la lave torrentielle du 09 juillet 1981. **2 -** Bâtiments endommagés le 09/07/1981. **3 -** Bâtiments antérieurs au 09/07/1981. **4 -** Bâtiments implantés après le 09/07/1981

Nature des dommages	Montant des préjudices *(en euros*)*
Habitat individuel	88 550
Microcentrale électrique *(pont Carle)*	58 015
Réfection de la RN91 *(D1091): désengravement, installation d'un pont provisoire et construction d'un nouveau pont*	381 680
Voirie (hors RN 91), réhabilitation des ateliers municipaux et désengravement des terrains.	362 595
Remise en état des réseaux (eau, électricité)	43 510
Réfection des canaux	43 510
Total	***977 860***

* Les montants en euros correspondent à la conversion des francs constants 2000



09/07/1981: Vue aérienne oblique sur le cône de déjection du torrent du Verdarel. Les secteurs blanchâtres à proximité du chenal correspondent aux débordements de la lave torrentielle. Source: RTM 05.

L. THENARD - 2009.

Sources carte et tableau: Flez et Lahousse, 2002 et 2004, Lahousse et al, 2003.

Figure 159 : Un torrent à l'origine de la prise de conscience de la réalité du risque torrentiel à Serre-Chevalier.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Depuis cette date, le risque torrentiel est (re)devenu une réalité et la dangerosité du Verdarel est désormais attestée. Dès l'été 1981, la prise de conscience engendrée par cette lave torrentielle va entraîner la commune de Saint-Chaffrey dans un ambitieux programme de correction torrentielle (Flez et Lahousse, 2002). Cette réactivité et la volonté de prévenir le risque torrentiel étaient évidemment nécessaires mais aussi politiquement incontournables. Rappelons que l'une des principales caractéristiques de l'urbanisation du cône du Verdarel est de recevoir essentiellement de l'habitat permanent, et donc à la fois des administrés et des électeurs. Dans ce cas de figure, la préservation de l'image de la station de Serre-Chevalier ne pouvait être mise en avant vis-à-vis des sinistrés. Par ailleurs, cette dernière raison n'aurait probablement pas été tolérée en regard du retentissement qu'a provoqué cette lave torrentielle dans l'esprit des riverains

De ce fait entre 1981 et 1982, les premiers travaux ont été confiés au service RTM et à la DDE **[Cf. figure 160]**. Des endiguements ont été entrepris essentiellement dans les zones urbanisées, globalement entre 1450 mètres d'altitude et la confluence du Verdarel avec la Guisane *(1310 m)*. Aussi, une vaste plage d'étalement sédimentaire d'environ 1,5 ha a été implantée en rive droite, à l'apex du cône torrentiel. L'objectif initial était de prévenir rapidement un autre évènement paroxystique. En dehors du caractère louable de cette initiative, elle traduit également une évolution sensible des aménagements préconisés de manière séculaire par le service RTM pour prévenir le risque torrentiel. Il s'agit non plus uniquement d'agir sur l'aléa dans le bassin versant, mais bien de contenir les masses sédimentaires immédiatement en amont des zones urbaines. Techniquement moins problématique et moins coûteuse que la correction active dans le lit torrentiel, ce type de dispositif est désormais assez systématiquement proposé. Dans le même temps et désormais consciente de la vulnérabilité du site, la commune de Saint-Chaffrey va afficher sa volonté d'intégrer la menace torrentielle dans le développement urbain en intégrant au POS les données du Plan des Zones Exposées aux Risques Naturels *(PZERN)* établi juste après la crue de 1981 (Colas, 1982 ; Lahousse, 1994 ; Flez et Lahousse, 2002 et 2004).

Par suite, une nouvelle phase de travaux est engagée en 1982-1983 sur le cône de déjection. Elle vise à compléter les ouvrages mis en place l'année précédente par de petits barrages de stabilisation, des seuils et des digues (Flez et Lahousse, 2002 et 2004 ; *source : RTM 05*). Ces travaux ont paru d'autant plus indispensables que le 14 mai 1983 une nouvelle lave torrentielle viendra rappeler, s'il était encore nécessaire, la dangerosité du Verdarel. Néanmoins, cet évènement s'apparente plus à une conséquence de l'importante incision verticale du lit torrentiel et de l'instabilité associée, provoquées par la crue de 1981. Le point de départ de cette lave provenait cette fois du ravin du Malatra mais sans provoquer de dégâts particuliers en dehors de quelques ouvrages RTM fraîchement construits sur le cône. D'autre part, les volumes mobilisés étaient sans commune mesure avec ceux de 1981.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

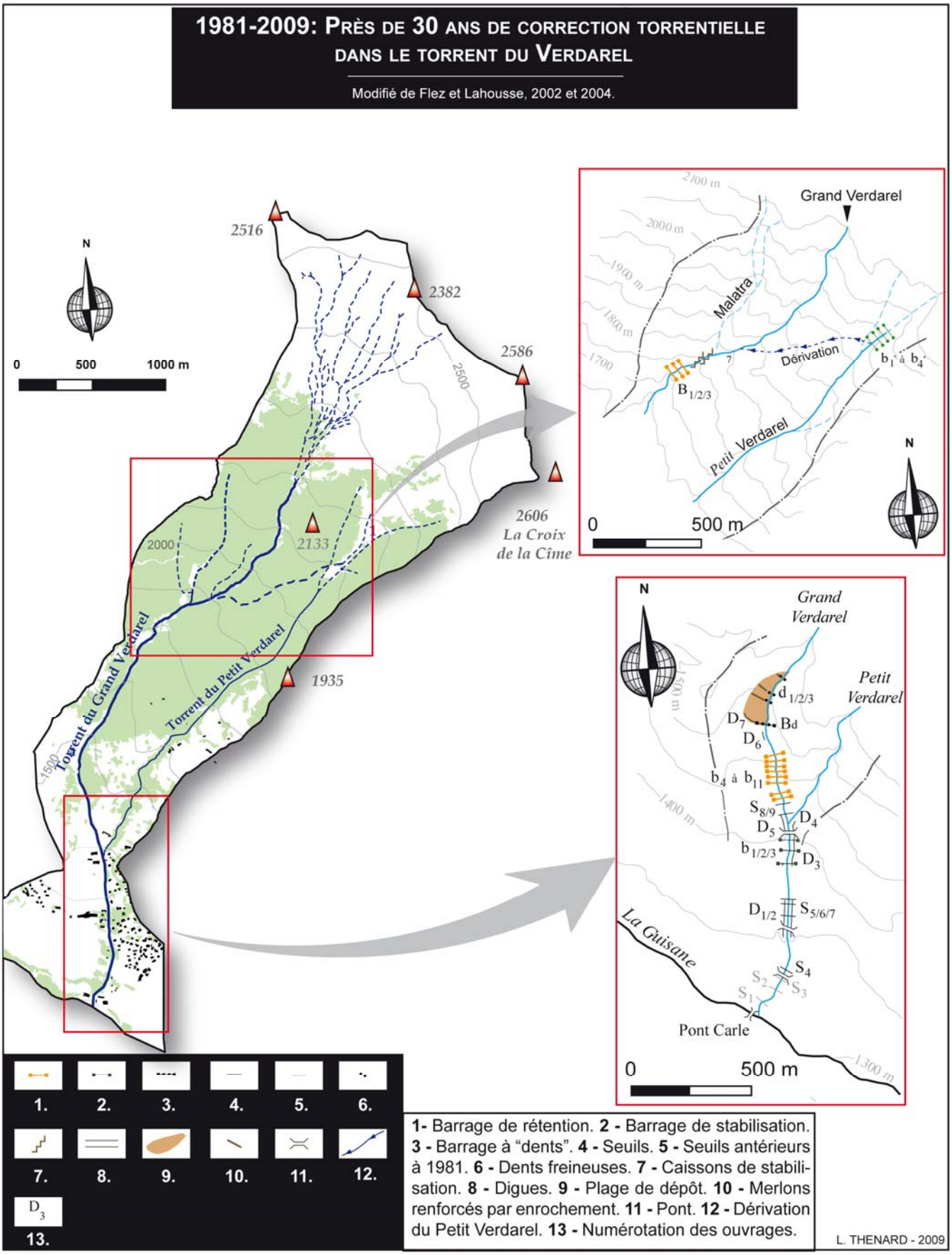


Figure 160 : 1981-2009 :Près de 30 ans de correction torrentielle dans le Verdarel.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

A partir de 1985 jusqu'en 2001, une série de 4 grands barrages a été implantée dans la section supérieure du bassin versant, lançant ainsi un programme de correction active à long terme. Deux nouvelles laves torrentielles viendront crédibiliser ces investigations dans le lit du Verdarel : 22/06/1988 et 20/09/1999. La plus intense et la plus volumineuse est incontestablement celle du 22 juin 1988. L'élément déclencheur de la crue a été un orage localisé sur le bassin de réception, mais cette fois, et à l'inverse de 1981, la charge sédimentaire mise en mouvement provenait essentiellement du lit torrentiel sans que les versants n'aient vraiment contribué à l'alimentation de la lave. Malgré quelques débordements sur le cône, les dommages sont restés relativement limités. Par ailleurs, si la révision du POS était engagée depuis 1981, son approbation n'est intervenue que le 07 juin 1988, soit 15 jours avant la lave du 22 juin. Bien qu'incomparable avec celle de 1981, tant dans les sources sédimentaires sollicitées que dans les volumes en jeu[119], la crue de juin 1988 a rassuré les élus et les riverains sur l'efficacité des aménagements réalisés les années précédentes.

Ces éléments cumulés ont eu tôt fait de relancer la convoitise immobilière sur le cône de déjection, et à nouveau des implantations "hasardeuses". En effet, entre 1981 et 1995, 21 nouvelles infrastructures *(bâtiments ou extension)* ont vu le jour sur son cône dont environ un tiers se situe dans la zone des débordements de 1981 (Flez et Lahousse, 2002 et 2004). En 1995, suite à de nouveaux débordements torrentiels dans la vallée et conformément au nouveau cadre législatif sur la prévention des risques naturels *(loi "Barnier" du 02 février 1995)* et en vertu du principe de précaution une zone dite inconstructible *(UR)* sera définie par le service RTM sur le cône du Verdarel et est toujours en vigueur aujourd'hui *(POS de 1999)*.

Suite à deux décennies d'investissements très lourds, les responsables et les élus locaux ont vivement réagi par rapport à ce "gel" de l'urbanisation. Inévitablement, cette décision a été perçue comme un désaveu des efforts entrepris et la prévention des risques naturels comme une contrainte au développement. Toutefois, entre 1981 et la mise en place de ces mesures restrictives, la vulnérabilité sur le cône du Verdarel s'est fortement accrue **[Cf. figure 161]**. Non pas tant par un regain d'activité torrentielle que par l'apparition de nouveaux enjeux *(bâtiments, ouvrages de protection, etc.)*.

[119] Les estimations basées sur les matériaux déposés sur le cône font état, pour l'évènement de juin 1988, de volumes compris entre 8 000 et 12 000 m^3 (SOGREAH, 1997).

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

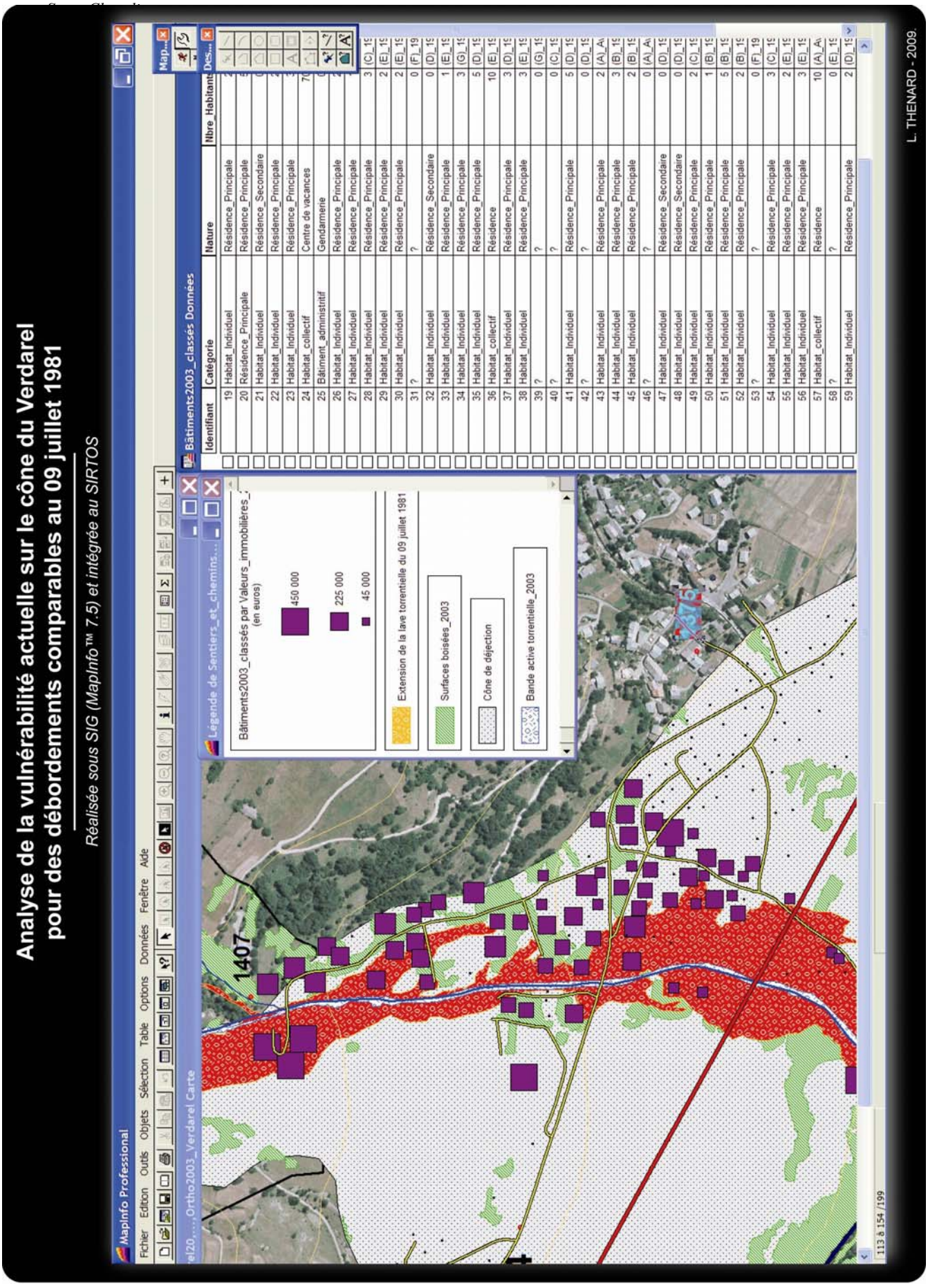


Figure 161 : Analyse de la vulnérabilité sur le cône du Verdarel pour des débordements comparables à ceux de 1981.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Les crues torrentielles du 24 juillet 1995 n'ont pas concerné le Verdarel mais les débordements ayant affecté les cônes des torrents du Bez et de Peytavin *(crue du torrent de Sainte-Elisabeth sans dommage)* ainsi que l'ensemble du Briançonnais, ont remis le risque torrentiel en première ligne dans un contexte de réforme de la politique nationale de la prévention des risques naturels. La commune de Saint-Chaffrey s'est à nouveau interrogée sur l'efficience réelle des ouvrages mis en place sur le Verdarel, en particulier la plage de dépôt. Une modélisation a donc été décidée afin de déterminer si cet ouvrage de défense passive suffirait à contenir des volumes sédimentaires comparables à ceux de 1981. Or, les résultats de cette simulation[120] sont sans appel puisqu'elle a démontré que la plage d'étalement ne pourrait empêcher les débordements et les dommages en aval, face à une lave torrentielle équivalente à celle de 1981 (SOGREAH, 1997).

Par ailleurs, l'ensemble des ouvrages de protection a été calibré par rapport à la lave torrentielle de 1981. Cet évènement a été présenté comme un phénomène aussi exceptionnel qu'imprévisible, et donc une référence pour la gestion du risque. Or, des études récentes ont démontré par une approche hydro-géomorphologique réalisée à grande échelle que les sources sédimentaires directement mobilisables au cours d'une seule crue, s'élevaient à au moins 60 000 m^3 (Lahousse, 1996 ; Lahousse et Salvador, 2002). **Il s'agit donc de la "potentialité" telle que nous l'avons définie précédemment, et nos investigations dans ce torrent démontreront que ses capacités mobilisatrices sont en réalité encore plus élevées**. (Cf. 4.2.4)

[120] La concentration volumique solide retenue pour cette simulation a été fixée à 75%.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Donc au début des années 2000 et malgré l'implantation du barrage "Gaudi" *(2001)* dans la section amont du Grand Verdarel, ce torrent demeure l'un des plus menaçants à Serre-Chevalier. En dépit des actions de prévention et de correction, l'urbanisation s'est poursuivie et donc la vulnérabilité y est plus prononcée qu'en 1981. Par ailleurs, le Verdarel constitue un exemple de la gestion récente et actuelle du risque torrentiel sur un cône de déjection nouvellement urbanisé mais dont les bâtiments et les infrastructures ne relèvent pas, dans leur grande majorité, d'une vocation touristique. Par les investissements lourds réalisés, la commune de Saint-Chaffrey a incontestablement pris en considération le risque torrentiel, ce qui apparaît comme un cas presque unique pour la période récente en Guisane. Toutefois, la stratégie adoptée a une nouvelle fois privilégié les interventions directes sur l'aléa. Concernant les enjeux, une zone inconstructible ("UR") a bien été imposée, dès 1996, par les services déconcentrés de l'État *(RTM)* afin de limiter une reprise de l'urbanisation sur ce cône.

Inéluctablement, cette approche a induit un paradoxe méthodologique désormais mal perçu par les élus et les riverains, considérants que telle qu'elle est appliquée, la prévention du risque torrentiel constitue une fuite en avant (Flez et Lahousse, 2002). En incitant dans un premier temps la municipalité à réaliser d'importants aménagements sur le cône et dans le bassin versant pour ensuite imposer des restrictions sévères à l'urbanisation en vertu du principe de précaution, cette gestion du risque torrentiel tend à réfuter l'efficacité des dispositifs que les services de l'État avaient pourtant préconisé et elle est désormais ressentie comme un assujettissement et une contrainte au développement local. De ce point de vue et sur ces bases, la prescription d'un PPR *(2001)* et son application *(2009)* n'ont pas franchement amélioré cette perception car le déclassement de la zone "UR" constituait un des points les plus discutés.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

4.2.4. Enseignements et mise en perspective de la crue du 01 septembre 2005.

Après la lave torrentielle de 1988, une nouvelle crue a affectée le torrent du Verdarel, le 20 septembre 1999. Ce qui porte au nombre de 4, les crues par lave torrentielle depuis celle de 1981 incluse, soit un temps de retour moyen pour les 20 dernières années d'environ 5 ans. Toutefois, cet évènement n'a pas été ressenti sur le cône de déjection et n'a pas occasionné de dégâts particuliers. Suite à un orage, une lave torrentielle dont les volumes sont restés modestes *(quelques milliers de m^3)*, s'est effectivement déclenchée dans la section supérieure du Grand Verdarel. Malgré les résultats pour le moins médiocres de la simulation réalisée deux années auparavant (SOGREAH, 1997) **[Cf. figure 162]**, la crue de septembre 1999 a plutôt rassurée quand à l'efficacité et la pertinence des nouveaux aménagements de correction active réalisés dans le Grand Verdarel. Effectivement, l'atterrissement de la majeure partie de la lave torrentielle du 20 septembre 1999 sur les "grands" barrages Blanchard *(1985)*, Queyras *(1992)* et Allamanno *(1998)* pouvait laisser supposer que ces aménagements allaient enfin tempérer les crues du Verdarel. Étant entendu que les terrains *(morainiques pour l'essentiel)* de la partie supérieure du bassin versant étaient et sont toujours considérés comme particulièrement instables, et à titre, les plus susceptibles d'alimenter des laves torrentielles.



Figure 162 : Modélisation SOGREAH sur l'efficacité de la plage de dépôt du Verdarel.

En retour et dans le cadre de la révision du POS amorcée dès 1996, une zone inconstructible "UR" a été imposée sur le cône de déjection. Cette décision était d'autant plus incompréhensible pour les élus et les riverains que la crue de septembre 1999 semblait confirmer l'efficacité des dispositifs en place. D'ailleurs, conforté dans ce choix de la correction active, le service RTM a complété les ouvrages existants en 2001, par l'implantation du barrage "Gaudi" et de son contre-barrage, pour un montant de 340 000 € H.T.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Le 01 septembre 2005, un orage violent a une nouvelle fois déclenché un phénomène paroxystique dans le torrent du Verdarel [Cf. figure 163]. L'orage à l'origine de la crue était très localisé *(impluvium du Verdarel)* puisque les stations météorologiques du Monêtier-les-Bains et de Briançon n'ont enregistré aucune précipitation. Si aucune donnée précise ne peut être avancée, l'intensité de cet orage est toutefois attestée par l'importante lave torrentielle engendrée par le Verdarel. Peu dommageable, cette crue s'est essentiellement manifestée sur le cône de déjection par une importante aggradation du chenal torrentiel, quelques débordements mineurs dans la zone distale du cône et tout de même par l'obturation partielle de la Guisane. Cette dernière a d'ailleurs créé une importante retenue au niveau du pont Carles, situé juste en amont de la confluence Verdarel-Guisane. Ce qui a nécessité dans l'urgence l'intervention d'engins de dégagement afin de réduire le risque de rupture d'embâcle.

Compte tenu de l'ampleur des dépôts sédimentaires sur le cône, les premières constatations envisageaient un évènement comparable à celui du 09 juillet 1981, pris pour référence. Évidemment, l'absence de débordements majeurs prouverait alors l'efficacité des dispositions prises depuis 24 ans ! Toutefois, les travaux universitaires menés dans ce torrent depuis une vingtaine d'années (Lahousse, 1991, 1994 et 1996 ; Lahousse et Salvador, 2002 ; Flez et Lahousse, 2002 et 2004 ; Beaugendre, 2004) et l'expertise géomorphologique que nous avons réalisée au lendemain de la crue de septembre 2005, démontrent que l'analogie entre ces évènements n'est pas recevable, tant du point de vue des volumes en jeu que dans le développement de la lave. Autrement dit, le "scénario" proposé par le torrent du Verdarel en septembre 2005 était jusqu'alors inédit.



Figure 163 : Lave torrentielle du Verdarel le 1er septembre 2005.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Après avoir analysé les manifestations géomorphologiques de la crue de septembre 2005 et tirés les premiers enseignements, nous étudierons les conséquences de cet évènement en terme de gestion du risque torrentiel.

4.2.4.1. Un évènement paroxystique particulièrement morphogène : le chenal torrentiel comme principale source sédimentaire.

Disposant d'un profil longitudinal précis *(mesures tachéométriques)* datant de 2000, le protocole méthodologique appliqué quelques jours après la crue du 1er septembre 2005 a essentiellement consisté à renouveler un profil en long afin de procéder à une analyse comparative. Aussi, la remontée du chenal a permis de préciser les principales sources sédimentaires contributrices et d'interpréter les témoignages morphologiques de l'évènement. La comparaison des clichés de terrain réalisés en 2000 *(P. Lahousse & P-G Salvador)* et en 2005 *(P. Lahousse & L. Thénard)* a appuyé l'analyse des mesures et les différentes interprétations.

Pour plus de cohérence et même si les mesures ont été effectuées de l'aval vers l'amont, le commentaire se fera dans le sens des écoulements.

Nous avons vu que l'organisation du réseau hydrographique élémentaire du Verdarel dans son bassin de réception lui permet de concentrer rapidement les eaux de ruissellement. Dès la partie supérieure de son bassin et lors d'un extrême climatique *(orage)*, ce torrent peut acquérir une grande compétence et une forte capacité érosive. Outre cet aspect, le contexte géomorphologique du haut bassin versant, dominé par d'importants mouvements de terrain dans les complexes morainiques quaternaires, est de nature à favoriser le départ et l'alimentation de laves torrentielles. La comparaison des profils topométriques de 2002 et de 2005 renforce cette affirmation puisqu'elle démontre que le départ de la lave torrentielle du 1er septembre 2005 se situe vers 2000 mètres d'altitude.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

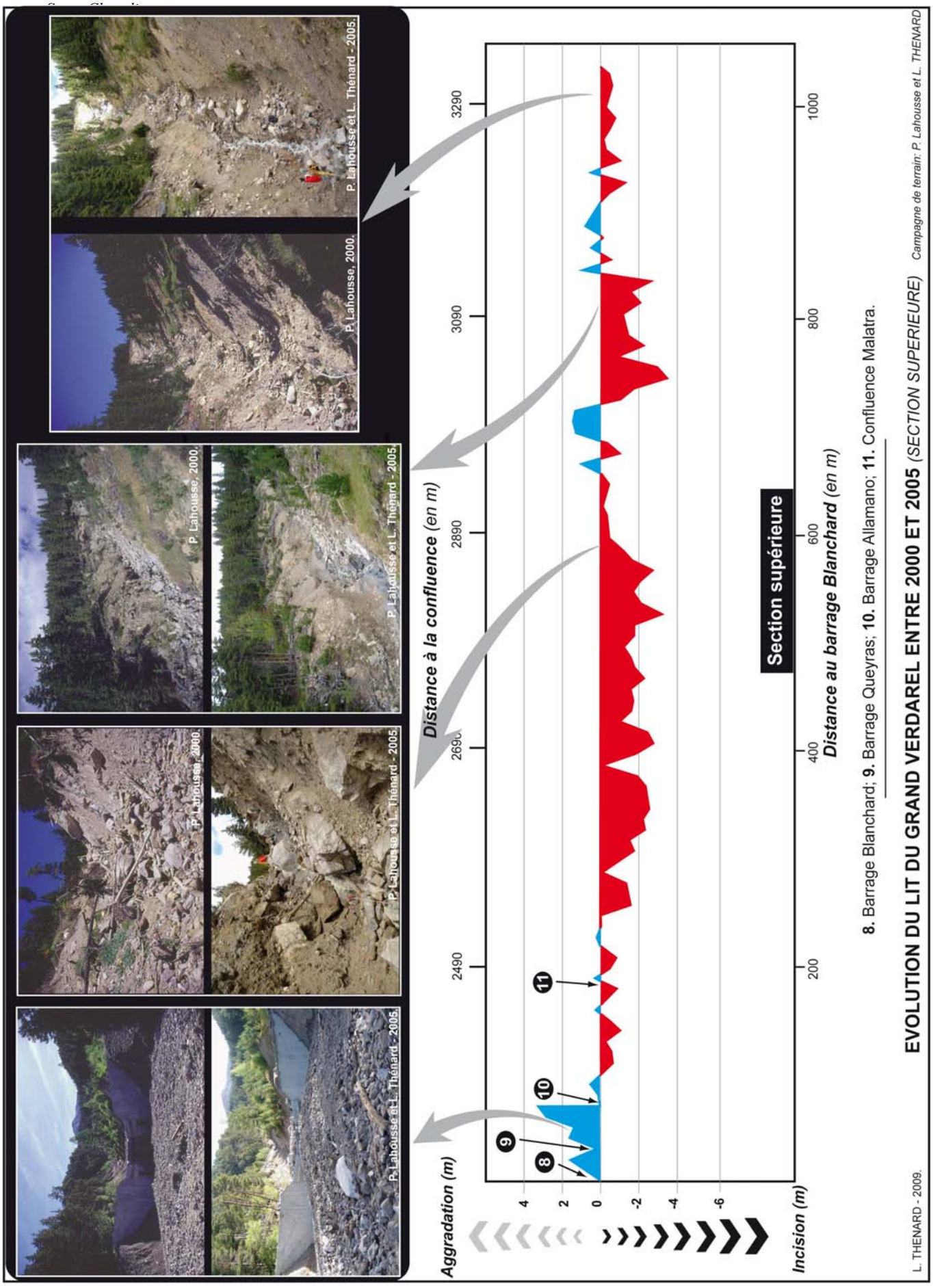


Figure 164 : Évolution du lit du Grand Verdarel entre 2000 et 2005 (section supérieure).

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

- Dans la section supérieure du chenal principal *(Grand Verdarel)* et d'une manière générale, la comparaison des profils fait ressortir la montée en puissance progressive de la crue torrentielle et les transferts de charge successifs associés **[Cf. figure 164]**. En effet, la première phase d'incision du lit est peu intense *(entre 0,3 et 1 m)* et ne s'opère que sur quelques dizaines de mètres linéaires. Ce stade initial d'incision est très rapidement suivi d'un épisode d'aggradation tout aussi court que le précédent.

Classiquement, cette première substitution de charge a pour effet d'accentuer la capacité érosive des flux torrentiels dont la densité volumique ne fait que s'amplifier. Après les 200 premiers mètres sur lesquels apparaissent les premiers désordres perceptibles de la crue de 2005, le chenal torrentiel a alors subi un intense remaniement. D'ailleurs, et même s'ils demeurent limités, la présence de bourrelets latéraux tend à prouver que ce secteur correspond à une évolution des processus morphodynamiques, passant du charriage hyperconcentré à la lave torrentielle. Sur environ 140 mètres linéaires, l'incision du lit prend indéniablement de l'ampleur puisqu'elle oscille entre 0,9 et 3,7 mètres.

Par suite, un relais sédimentaire va de nouveau s'opérer et **marque le stade le plus intense de la crue torrentielle dans la section amont du Verdarel**. A la faveur de pentes un peu plus accusées, l'incision affectant les 200 mètres suivants dépasse régulièrement 2 mètres, et atteint ponctuellement 3 mètres ! Dans ce secteur, le caractère monophasique du processus torrentiel s'affirme plus franchement car les quelques levées latérales observées se présentent sous la forme de diamictiques non triées. **La faible contribution sédimentaire des versants pressentie en amont se confirme plus franchement dans cette zone.**

Les berges montrent en effet peu de signes d'instabilité en dehors d'un inévitable affouillement basal et de la chute de quelques blocs instables. En revanche, par l'importante incision verticale qu'il a subit, le lit torrentiel se présente cette fois comme la source sédimentaire ayant principalement contribué à l'alimentation de la lave de septembre 2005. Et cette constatation est assez inattendue car les versants en glissement du haut bassin versant ont formé l'essentiel de la charge sédimentaire mobilisée à l'occasion de l'évènement du 09 juillet 1981. D'ailleurs, l'implantation des barrages RTM dans ce secteur avait et a toujours pour objectif de retenir la charge graveleuse provenant de ces versants. Dans son déroulement, la crue de septembre 2005 présente d'ores et déjà des distinctions sensibles avec les évènements paroxystiques antérieurs *(pour la période récente)*.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

A cette zone d'intense incision du chenal succède, entre 250 et 90 mètres de distance du barrage Blanchard, un secteur de seuils naturels n'ayant donc pas radicalement évolué depuis 2000. Globalement, cette portion du Grand Verdarel a subi une purge sédimentaire en septembre 2005, avec quelques phases de sapements latéraux des berges *(formations superficielles quaternaires et dépôts torrentiels)*. Une nouvelle fois, la contribution des versants apparaît très limitée. Pour preuve, le ravin du Malatra qui constitue le principal affluent de rive droite du Grand Verdarel n'a manifestement pas contribué à la crue de 2005, fort heureusement d'ailleurs. A la confluence, le maintien de la végétalisation du chenal et les eaux claires du Malatra contrastent avec la turbidité des écoulements et l'aspect chaotique du lit du Verdarel **[Cf. figure 165]**.



Figure 165 : Recharge sédimentaire "composite" : un facteur supplémentaire de complexité dans l'appréhension des dynamiques torrentielles.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

L'arrivée sur les grands barrages RTM constitue une importante rupture de pente et un élargissement marqué du lit. La brutale perte d'énergie de la lave torrentielle s'est traduite par une aggradation de l'ordre de 3 mètres sur le barrage Allamano et d'environ 2 mètres sur les barrages Queyras et Blanchard **[Cf. figure 166]**. L'affaiblissement de la célérité de la lave se traduit par un granoclassement normal au niveau des bourrelets latéraux. Complètement comblés, ces ouvrages ont indéniablement rempli leur office en retenant la majeure partie des matériaux mobilisés en amont. De ce point de vue, les barrages ont démontré leur efficacité même s'il nous faut objecter qu'il aura suffi de la seule incision du chenal principal pour que ces ouvrages soient intégralement comblés. Or, l'évènement de 1981 a déjà suffisamment démontré que les versants constituent potentiellement de considérables sources sédimentaires.

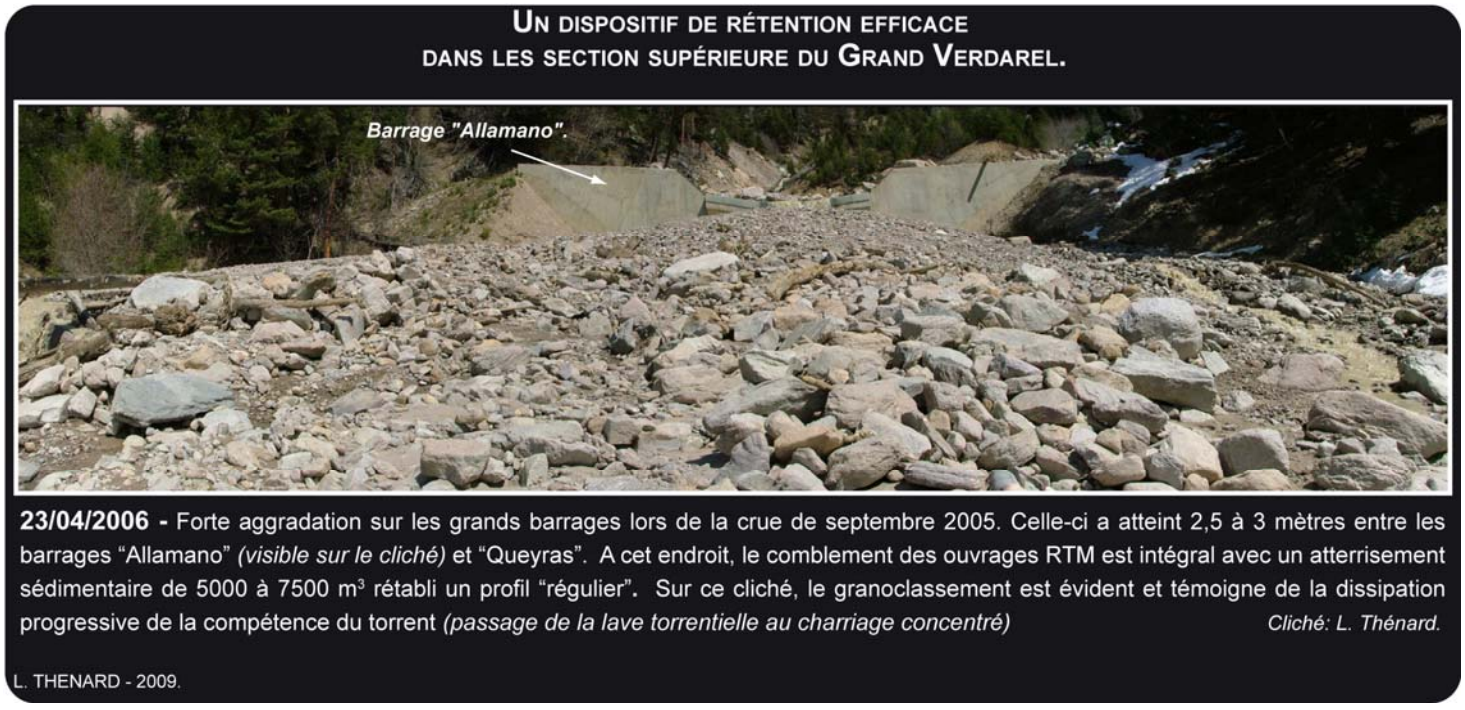


Figure 166 : Un dispositif de rétention efficace dans la section supérieure du Verdarel.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Au final, cette section supérieure montre que le torrent du Verdarel a essentiellement puisé sa charge sédimentaire par incision de son propre lit. Dans cette partie amont, l'incision moyenne verticale est d'approximativement 0,8 mètres. En considérant une largeur moyenne du chenal de 10 mètres, les volumes mobilisés lors de la crue de septembre 2005 dans le haut bassin versant avoisineraient 5000 à 7500 m^3. Ces premières phases de l'épisode paroxystique apparaissent certes morphogènes, mais d'intensité moyenne car le Verdarel est loin d'avoir sollicité l'ensemble des sources sédimentaires directement disponibles.

- **La section inférieure du lit du Grand Verdarel** correspond à l'ensemble du secteur situé en aval du barrage Blanchard jusqu'à l'apex du cône de déjection **[Cf. figure 167]**. Dans la lignée des observations précédentes, le barrage "Gaudi" implanté en 2001 est l'ouvrage de correction active présentant la plus forte aggradation, avec un exhaussement maximal de plus de 4 mètres. Là encore, l'efficacité du dispositif dans la retenue de la charge sédimentaire est incontestable. En revanche, la comparaison des profils de 2000 et 2005 laisse ensuite apparaître un phénomène d'incision verticale sans commune mesure avec la portion supérieure du chenal. En effet, à l'aval du barrage "Gaudi", l'incision du lit torrentiel est presque continuellement supérieure ou égale à 2 mètres.

La reprise de la capacité érosive du torrent apparaît immédiatement après le passage du barrage et se traduit par le sévère endommagement infligé au contre-barrage "Gaudi". Juste à l'aval de ce dernier ouvrage et sur près de 500 mètres, le Verdarel a opéré une véritable purge sédimentaire de son lit, atteignant régulièrement la roche en place. Du contre-barrage jusqu'à l'apex du cône, on observe globalement une décroissance progressive de l'incision, ce qui témoigne d'une brusque reprise érosive juste en aval des barrages puis par augmentation de la concentration volumique *(lave torrentielle)*, d'une atténuation de l'ablation du lit. En contrebas du secteur des barrages, on atteint même les valeurs extrêmes puisque l'incision est parfois supérieure à 6 mètres.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

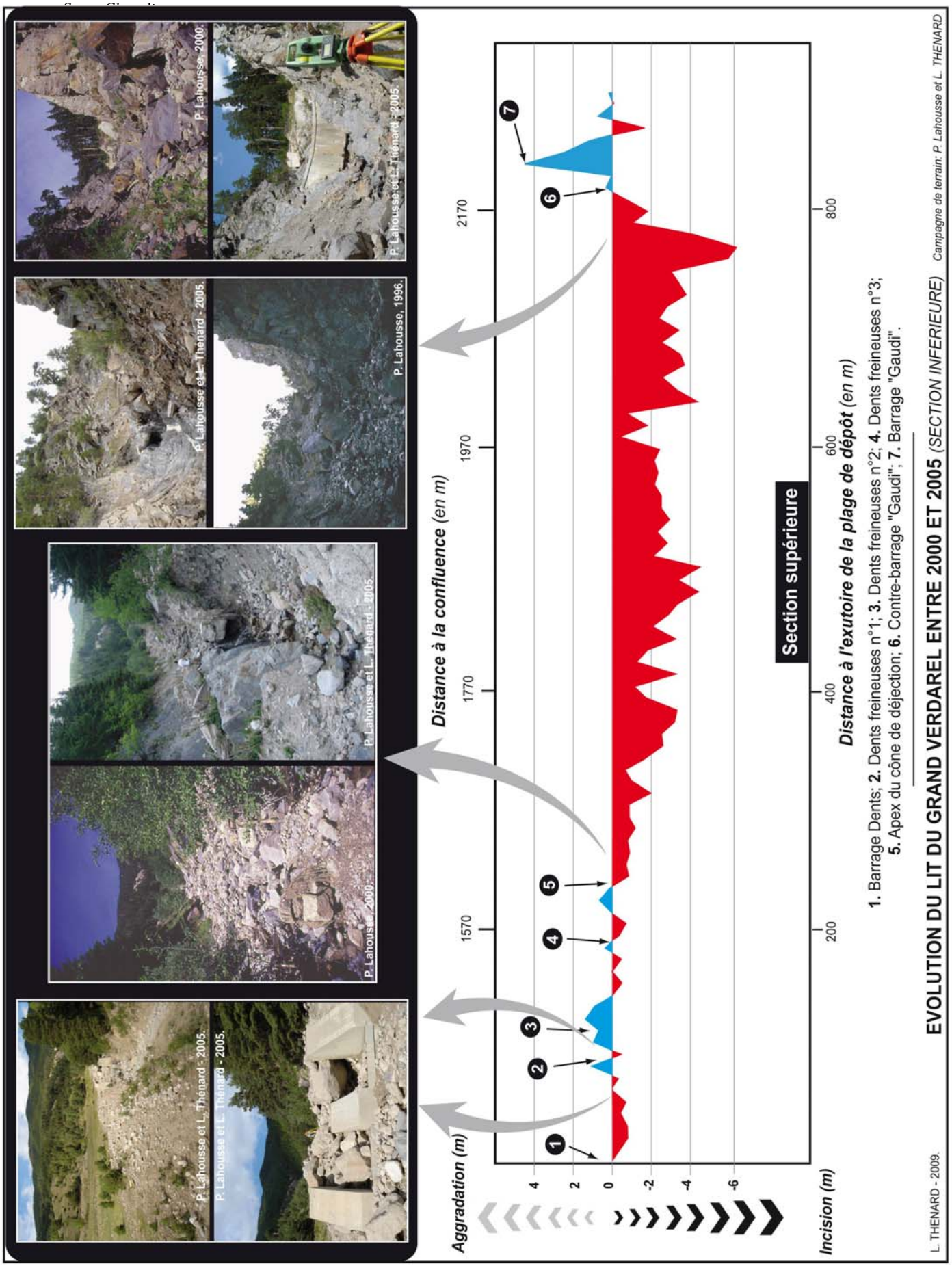


Figure 167 : Évolution du lit du Grand Verdarel entre 2000 et 2005 (section inférieure).

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

En 2000, cette zone présentait un faciès tourmenté avec de nombreux blocs plurimétriques aujourd'hui disparus. Par ailleurs, des flottants encore couverts de fines ont été retrouvés à plus de 8 mètres du lit actuel et témoignent de l'intensité de la crue sur ce secteur. Toutefois, et à l'instar de la section supérieure du chenal, les versants n'ont pas ou peu contribué à l'alimentation sédimentaire de la lave torrentielle. Le Verdarel a presque intégralement puisé sa charge au sein de son lit. L'incision du lit se poursuit ensuite jusqu'à la zone apicale du cône, avec des valeurs régulièrement supérieures à 2 mètres. A l'évidence, la crue du 01 septembre 2005 a été bien plus intense à l'aval des ouvrages RTM qu'à l'amont. La comparaison des profils démontre que les barrages ont, paradoxalement, joué un rôle essentiel dans la reprise de la capacité érosive et l'accroissement de la compétence torrentielle. L'atterrissement de la première bouffée torrentielle sur les barrages a provoqué un important phénomène de substitution de charge à l'aval. L'intervention directe dans le chenal torrentiel a incontestablement induit une évolution sensible dans le développement des évènements extrêmes. Les données recueillies sur le terrain traduisent cette affirmation, puisqu'en moyenne pour cette section médiane du Verdarel, l'incision torrentielle s'établit à 1,5 mètre, soit près du double que dans la section amont. En appliquant une largeur moyenne de 12 mètres, les volumes mobilisés dans la partie inférieure du Grand Verdarel *(hors cône)* sont évalués entre 14 000 et 17 500 m^3.

En conséquence, l'ensemble de ces mesures permet d'affirmer que le volume sédimentaire global de la lave torrentielle du 1er septembre 2005 est de l'ordre de 19 000 à 25 000 m^3. Pour la période récente, ces valeurs classent cet évènement comme un épisode d'une intensité intermédiaire entre les crues de juillet 1981 *(40 000 à 50 000 m^3)* et de juin 1988 *(8000 à 12 000 m^3)*. Si l'incision moyenne sur l'ensemble du profil s'élève à 1,1 mètre, 70% de la charge sédimentaire provient de la section inférieure ! En cherchant à limiter les apports sédimentaires provenant des terrains instables du haut bassin versant, l'implantation des barrages a abouti en 2005 à accentuer l'intensité de la crue en aval. Évidemment, il est désormais difficile d'extrapoler sur ce qu'il serait advenu sans ces ouvrages. Toutefois, le déroulement de la crue de 2005 apparaît relativement inédit pour la période récente.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

- **Sur le cône de déjection**, les enseignements de la crue de 2005 concernent surtout les dispositifs de mitigation et de protection de l'aléa torrentiel, progressivement installés depuis 1981.

Tout d'abord, rappelons qu'en dehors de quelques débordements mineurs et de l'obturation de la Guisane, cette lave torrentielle a été peu dommageable. Ce bilan de prime abord plutôt rassurant cache de fortes disparités dans l'efficacité des ouvrages de protection. Dans la zone apicale du cône, les barrages "à dents" ont joué un rôle de premier plan et ont probablement évité des embâcles et les débordements associés en aval **[Cf. figure 168]**.



Figure 168 : PHOTO E (cf. fig.154)Torrent du Verdarel 03/09/2005.

Campagne de terrain : P. Lahousse et L. Thénard / Cliché : P. Lahousse.

Vue vers l'amont et sur un ouvrage RTM type "dents freineuses" positionné à la hauteur de la plage de dépôt *(située en rive droite)*, dans la zone apicale du cône de déjection.

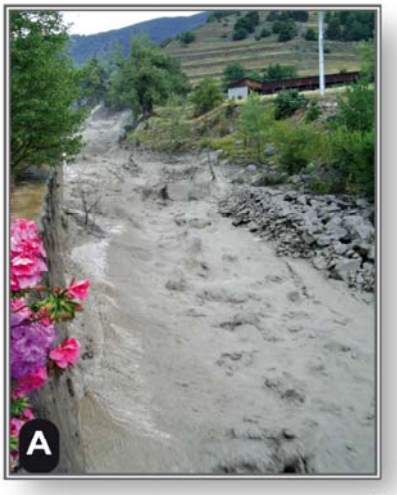
Emblématique de cette compétence extrême, un bloc très imposant *(plurimétrique)* a été retenu lors de cet évènement par des ouvrages de protection sur le cône *("dents freineuses")* que nous avons évalué à près de 35 tonnes ! Cette estimation réalisée sur le terrain lors de relevés topométriques, est basée sur la masse volumique moyenne correspondant à la nature calcaire du bloc piégé, soit **2,6 t/m^3** *(l : 3,25/ L : 2,75/ h : 1,5 → 34,9 tonnes)*

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

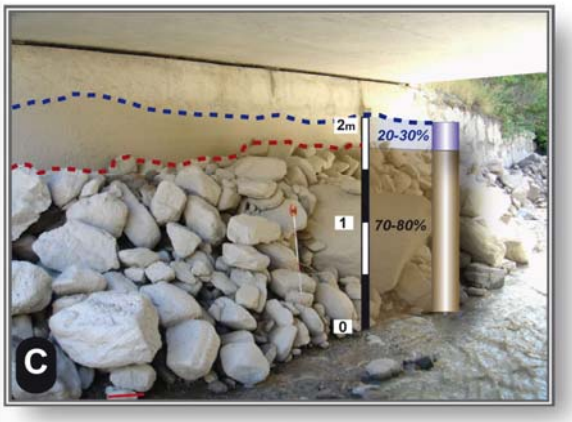
En effet, ces "dents freineuses" ont soit contenu des blocs très volumineux propices aux embâcles dans le chenal, soit ces derniers ont été disloqués en se fracassant sur les ouvrages. En saturant rapidement les barrages-dents, les flux torrentiels les ont ensuite contourné par incision pour réintégrer le chenal. Il s'agit là d'un des principaux enseignements de cette crue car la plage de dépôt réalisée en rive droite du Verdarel, ne s'est pas révélée fonctionnelle. En effet, seuls quelques débordements limoneux ont atteint cet ouvrage. Cette crue confirme d'ailleurs les conclusions du modèle physique réalisé en 1997 (SOGREAH, 1997). Initialement calibrée pour contenir 30 000 à 40 000 m^3, cette plage d'atterrissement n'a quasiment reçu aucune charge sédimentaire en 2005, pour des volumes de moitié inférieurs.

En aval, dans les zones médianes et distales du cône torrentiel, les digues canalisant le torrent ont de justesse réussi à contenir la lave torrentielle. Toutefois, il était encore possible quelques jours après la crue d'observer d'imposants bourrelets latéraux *(lave)* ainsi qu'un substantiel et progressif *(amont-aval)* exhaussement du lit correspondant à la régulière perte de compétence du torrent sur son cône. Protégées des intempéries sous les ponts, des traces d'écoulements marquent le niveau maximal atteint par le torrent **[Cf. figure 169]**. Souvent à la limite du "débit" à plein bord, les flux torrentiels ont été contenus *in extremis*. Un embâcle ou quelques centaines de mètres cubes supplémentaires auraient immanquablement provoqués des débordements dommageables.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr



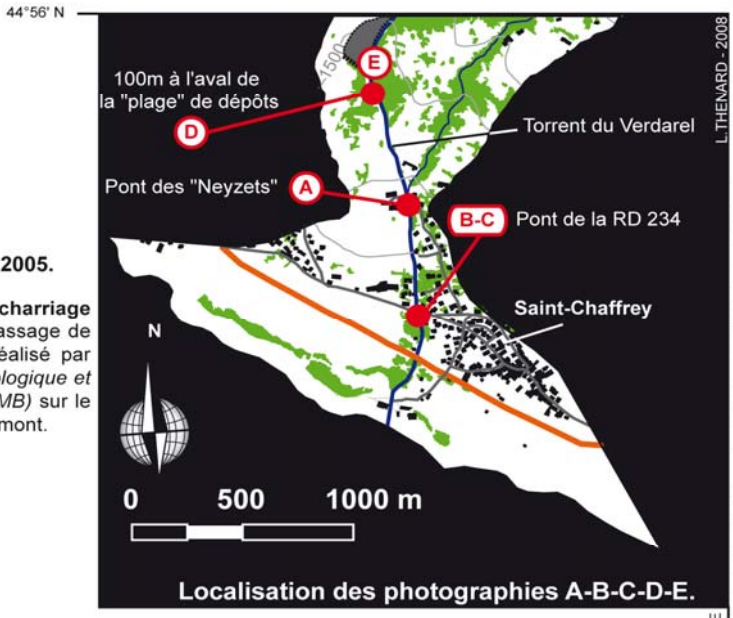




?. A-B-C / Verdarel *(Campagne de terrain: P. Lahousse et L. Thénard*
Clichés: [A] SGMB 01/09/2005; [B &C] P; Lahousse ; 03 septembre 2005).

A - Crue du 01 septembre 2005.

Processus de fin de crue par **charriage hyperconcentré,** suite au passage de la lave torrentielle. Cliché réalisé par R. Lestournelle *(Société Géologique et Minière de Briançonnais-SGMB)* sur le pont des Neyzet, vue vers l'amont.



B & C - Bourrelet de lave torrentielle;

En rive gauche *(b: vers l'amont / c: vers l'aval)* sous le pont de la D 234 *(ancienne RN 91)* s'étirant sur près de 35 m et pour une épaisseur moyenne de 1,5-1,60m.

Très instructive, cette levée latérale témoigne à la fois de la compétence extrême du torrent du Verdarel lors de cet évènement *(3 blocs plurimétriques recensés en surface pour des masses estimées entre 3 et 6,5 t)* et de l'intensité du lavage opéré par les écoulements hyperconcentrés de fin de crue; en effet la matrice "fine" *(lutites et arénites)* exportée laisse une fraction graveleuse particulièrement massive *(classe modale [30-40cm])* avec près de 60% de la charge grossière comprise entre 20 et 40 cm.

Par ailleurs, le pilier du pont permet d'apprécier la concentration volumique de ce spasme torrentiel car il a gardé à l'abri des intempéries la marque du niveau maximal atteint par la lave torrentielle. Compte tenu de l'accumulation sédimentaire sous-jascente, une **concentration volumique supérieure à 70%** ne fait aucun doute, ni le processus affilié *(lave)*.

D - Verdarel *(Campagne de terrain: P. Lahousse et L. Thénard / Cliché: P; Lahousse ; 03 septembre 2005)*

Lobe frontal d'une "bouffée" torrentielle dans le chenal principal et dans la zone médiane du cône de déjection.

A noter la présence de blocs plurimétriques au front de la coulée et un granoclassement latéral positif tout à fait caractéristique des dépôts de laves torrentielles. Par ailleurs, l'incision du chenal vers l'aval traduit un épiphénomène de substitution de charge durant l'évènement, renforcé ensuite par l'incision des écoulements hyperconcentrés de fin de crue.



L.THENARD - 2008

Figure 169: Torrent du Verdarel : lave torrentielle du 01/09/2005

Actuellement, ce torrent est considéré comme le plus actif de la moyenne et basse vallée de la Guisane, tant en terme d'occurrence qu'en terme d'intensité. Au cours des 25 dernières années, trois laves torrentielles de plus de 10 000 m^3 ont été recensées, ce qui traduit un potentiel très important de ressources sédimentaire et de compétence.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Au terme de ces investigations de terrain et de l'analyse des manifestations de la crue du 1er septembre 2005, il est donc possible d'affirmer que cet évènement était d'intensité moyenne par rapport au potentiel de ce torrent. Par ailleurs, l'impact des barrages apparaît évident sur le développement de cette lave torrentielle puisque plus des 2/3 de la charge sédimentaire déposée sur le cône ou dans la Guisane provenaient de la section aval du Grand Verdarel.

En revanche, si la plage de dépôt a montré sa faible fonctionnalité, les barrages à dents implantés sur le cône présentent une efficacité certaine pour la retenue ou la dislocation des plus gros blocs. Néanmoins, avec des volumes comparables à ceux de 1981 et malgré le dispositif de protection actuel, il ne fait aucun doute que les débordements et l'envahissement d'une partie du cône du Verdarel n'auraient pu être évités.

Enfin, cette crue a démontré que le Verdarel était capable de générer une importante lave torrentielle en puisant directement dans son lit, alors que les sources sédimentaires directement mobilisables sur les versants n'ont été que très peu exploitées. Des études récentes ont démontré que la "potentialité" de ce torrent était d'au moins 60 000 m3, et ces travaux ne comptabilisent que les apports latéraux directement disponibles (Lahousse et Salvador, 2002). Or, la crue de 2005 et notre étude ont montré qu'il fallait adjoindre au moins 20 000 m^3 provenant directement du chenal principal.

Donc, si la recharge sédimentaire du lit est suffisamment aboutie et les versants sollicités, une crue de l'ordre de 70 000 à 80 000 m^3 est tout à fait envisageable. Malgré un renforcement du dispositif de protection en 2007 et 2008, une lave torrentielle supérieure à 40 000 m^3 aurait immanquablement des conséquences désastreuses sur le cône du Verdarel.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

4.2.4.2. *Conséquences pour la gestion du risque torrentiel actuelle et à venir.*

Comme nous l'avons évoqué précédemment, le bilan de la crue du 1er septembre 2005 apparaît de prime abord assez flatteur concernant les mesures prises depuis près de 25 ans pour prévenir le risque torrentiel sur le cône du Verdarel. En effet, nul ne peut contester que le barrage Blanchard et ses homologues ont parfaitement répondu aux objectifs escomptés et que les dents freineuses implantées sur le cône ont certainement limité des débordements dommageables.

Toutefois, avec 20 000 m^3 à 25 000 m^3 mobilisés, cette crue du Verdarel a mis un coup d'arrêt au semblant d'atténuation de l'aléa torrentiel qui s'insinuait dans les consciences depuis 1981[121] . De la même manière, cet évènement a confirmé que la plage de dépôt était inopérante en l'état. En outre, s'il faut objectivement se réjouir que les débordements sur le cône aient pu être évités *(de justesse !)* et que les ravages de juillet 1981 ne se soient pas répétés, nos investigations de terrain ont tout de même démontré que les volumes considérés en 2005 étaient moitié moins importants qu'en 1981! Enfin, la correction active réalisée dans le bassin versant depuis le début des années 1980 constitue un paramètre supplémentaire dans le système torrentiel, se traduisant par des évolutions notables, mais apparemment non modératrices, des morphodynamiques paroxystiques.

Dans le contexte de la procédure d'approbation du PPR sur la commune de Saint-Chaffrey, cette nouvelle crue du Verdarel constituait sans nul doute une occasion supplémentaire de dresser le bilan d'un quart de siècle d'efforts réglementaires, financiers et techniques visant à réduire le risque torrentiel sur ce cône. Concernant l'aléa, les enseignements les plus visibles de cet évènement résident dans le fait que le chenal torrentiel a été la principale source sédimentaire sollicitée et que la majeure partie de cette charge sédimentaire a été prélevée dans la section inférieure du Grand Verdarel. A l'évidence, une réflexion était et reste toujours à mener sur l'impact à moyen et long terme des ouvrages de correction. Par ailleurs et précédemment à nos travaux, des recherches menées à grande échelle dans ce torrent avait déjà démontré un potentiel mobilisable au cours d'un seul évènement bien supérieur aux 40 000 m^3 que pouvait théoriquement contenir l'ensemble du dispositif de protection (Lahousse, 1994 ; Lahousse, 1996 ; Lahousse et Salvador, 2002). Or, la crue de 2005 a révélé, sans dommage, que ce torrent disposait de stocks sédimentaires directement disponibles encore plus importants, et surtout, que les limites de retenues de l'ensemble des ouvrages de protection avaient été atteintes pour des volumes bien inférieurs à ceux pour lesquels ils ont été calibrés.

[121] **09/07/1981** : 40 000 à 50 000 m^3 **– 22/06/1988** : 8000 à 12 000 m^3 – **20/09/1999** : ± 5000 m^3

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

L'atténuation de l'aléa torrentiel présentant un bilan mitigé, ces réflexions apparaissent d'autant plus nécessaires que la vulnérabilité s'est accrue sur le cône depuis 1981, par l'implantation de plus d'une vingtaine de bâtiments. Sans totalement remettre en question les aménagements réalisés lors des deux dernières décennies, la crue de 2005 aurait pu aboutir à repenser la gestion du risque torrentiel et à engager une nouvelle phase dans sa prévention en s'attachant cette fois aux enjeux.

Or, les conséquences de la crue de 2005 se sont traduites par une poursuite de la logique engagée depuis 25 ans sur ce torrent. Autrement dit, les actions menées postérieurement à cet évènement portent intégralement sur l'aléa, en modifiant et en complétant les ouvrages déjà existants.

- En dehors du nettoyage du chenal torrentiel sur le cône de déjection réalisé dans les semaines suivantes, les premières actions engagées et les plus visibles ont concerné le dispositif de protection passive *(plage de dépôt)* à l'apex du cône **[Cf. figure 170]**. **Conscient des limites de cet aménagement, le service RTM a procédé dès 2007 au remodelage complet de la plage de dépôt en suivant scrupuleusement les propositions faites par la SOGREAH en 1997.**

  Ainsi, la digue aval fermant cet ouvrage vers le chenal torrentiel a été rehaussée de 3 à 4 mètres. Ce rempart artificiel s'élève désormais de 6 mètres dans sa partie occidentale et de 8,5 mètres dans la partie orientale de l'ouvrage *(vers le torrent)*. Aussi, cette plage d'atterrissement a été intégralement reprofilée afin de contraindre plus efficacement les laves torrentielles à pénétrer cette aire. En complément **3 vastes merlons**, renforcés par des enrochements sur leur face amont, ont été réalisés perpendiculairement au torrent dans le prolongement des barrages à "dents" [Cf. Figures 155 et 156]. Le premier d'entre eux est situé tout à l'amont de la plage de dépôt.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr



Figure 170 : Conséquences de la crue de septembre 2005 sur la gestion du risque.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Avec une hauteur moyenne de 3,5 mètres, l'empattement de cet édifice fait près de 10 mètres linéaires *(face aval)*. Indéniablement, le reprofilage de la plage de dépôt à l'apex du cône devrait convenablement orienter les flux torrentiels dans ce "piège" sédimentaire désormais réellement calibré pour contenir 30 000 à 40 000 m^3 **[Cf. figure 171]**. Toutefois, si la modélisation était basée sur une concentration volumique solide de 70% tout à fait crédible, elle décrivait également un mouvement monophasique d'une masse homogène. Or, depuis que ce torrent est étroitement suivi, il montre une propension particulière pour générer des laves à blocs, et ceci en raison de la nature de sa charge sédimentaire. On peut donc légitimement s'interroger sur l'efficacité de ces dispositifs face à des processus rhéologiques pour lesquels ils n'ont pus être éprouvés.

D'autre part, la localisation du premier merlon tout à l'amont de la plage de dépôt implique une fermeture brutale de l'apex du cône. D'après nos estimations, le périmètre concerné, partant de l'entrée du chenal sur le cône de déjection au premier merlon, ne pourrait contenir plus de 10 000 m^3 de matériaux avant son engravement intégral. L'obturation et l'exhaussement qui en résulteraient, pourraient très rapidement saturer les dents freineuses et en limiter ainsi l'efficacité. Il paraît urgent que des études complémentaires soient entreprises pour évaluer la pertinence de ses aménagements. En tout état de cause, le coût du reprofilage de la plage de dépôt et la création des merlons s'élèvent à 138 000 € H.T *(Source : RTM 05)*. Afin de limiter la submersion du Pont des Neyzet qui constitue le premier véritable ouvrage de passage de la zone urbanisée, **une "casquette" recourbée et en béton armée** a été réalisée en 2007, pour un montant de 20 000 € H.T **[Cf. figure 173]**. Évidemment et en dehors de quelques subventions départementales et régionales, une grande partie de ces aménagements restent à la charge de la commune.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

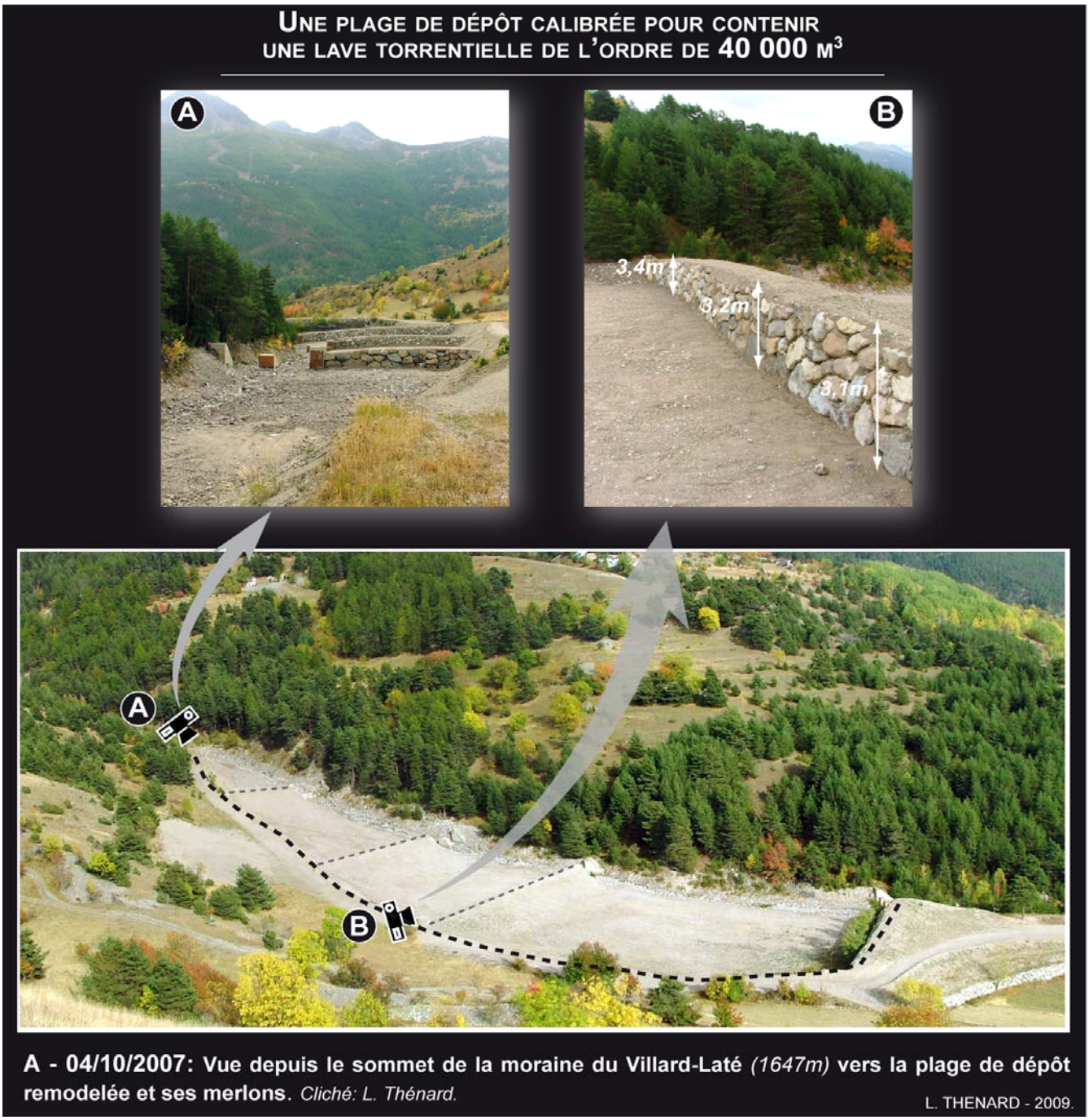


Figure 171 : une plage de dépôt calibrée pour contenir une lave torrentielle de l'ordre de 40 000m^3.

- Réalisée en 2008, une seconde phase d'aménagements dans le bassin versant se présente également comme une conséquence de la crue de 2005 **[Cf. figure 172]**. Pour l'essentiel, elle a consisté à désengraver et à remettre en état les "grands" barrages du Verdarel. Aussi, **deux caissons stabilisateurs** constitués de trois paliers chacun, ont été réalisés entre la confluence du ravin de Malatra avec le Grand Verdarel et le barrage Allamano. Ces ouvrages n'ont pas véritablement de capacité de retenue et sont essentiellement destinés à fixer le lit torrentiel pour optimiser ensuite l'atterrissement des matériaux pris en charge en amont.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

En effet, entre 1860 et 1700 mètres d'altitude, l'intégralité de la berge de rive gauche du Grand Verdarel constitue le front de la vaste coulée active *(près de 30 ha)*, dite du Petit Verdarel. Le continuel affouillement opéré par le Grand Verdarel entretient l'instabilité des zones proximales du torrent et assure une recharge sédimentaire efficace. Au final, le montant de ces travaux de correction active s'élève à 254 000 € H.T *(Source : RTM 05)*.

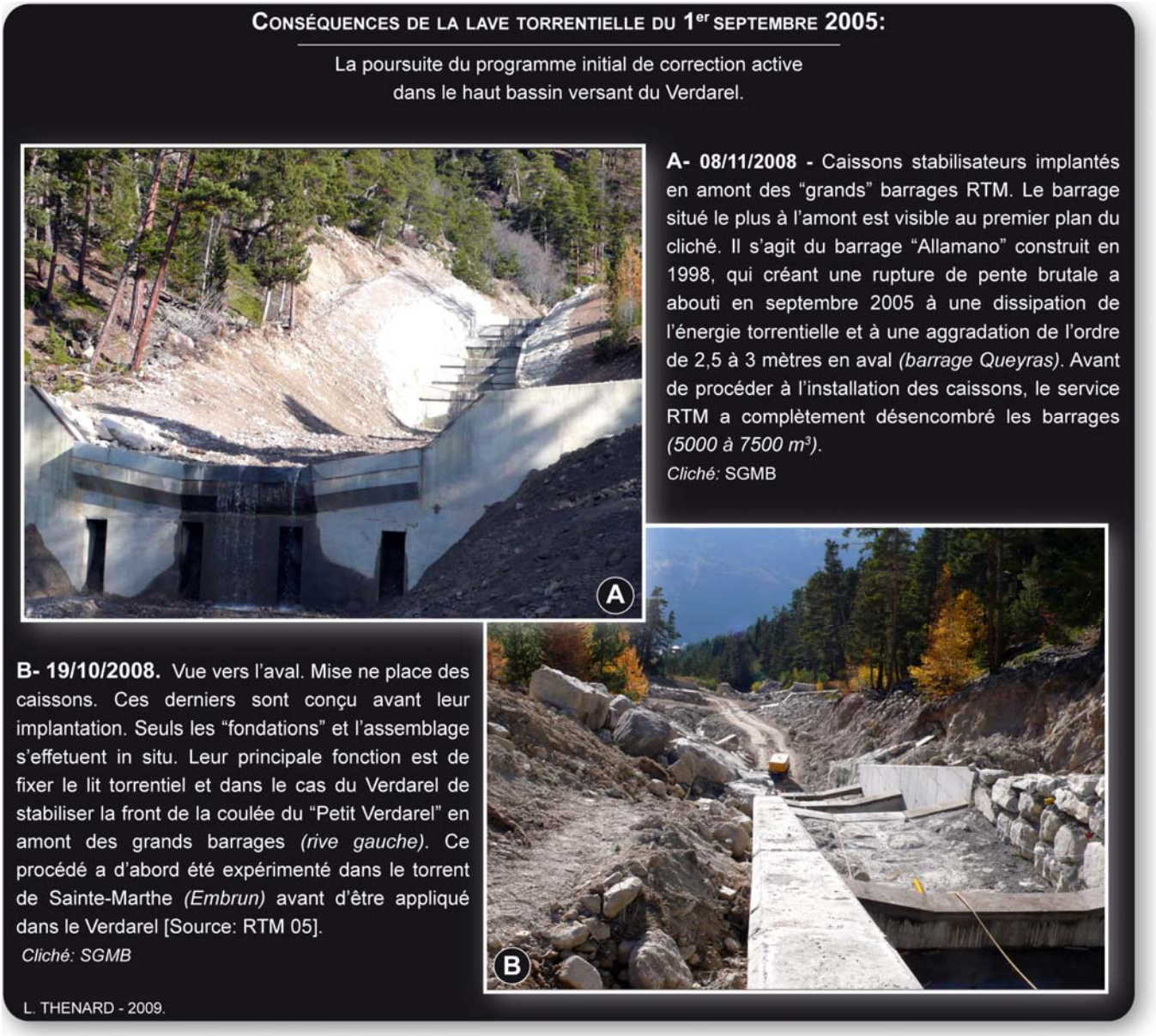


Figure 172 : La poursuite du programme initial de correction active dans le haut bassin versant du Verdarel.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

L'analyse des conséquences de la crue de septembre 2005 ne laisse pas entrevoir d'évolution sensible dans la gestion du risque torrentiel sur ce cône.

Du point de vue de l'aléa, la logique de prévention est maintenue puisque la crue de juillet 1981 reste la référence sur laquelle est calibré le dispositif de correction. D'autre part et à notre connaissance, aucune étude postérieure à la crue de 2005 n'a été entreprise. Son caractère peu dommageable a manifestement rassuré et a renforcé la stratégie adoptée depuis 25 ans. La décision de poursuivre, tel qu'il était prévu, le programme de correction en témoigne clairement. Or, nous avons montré qu'à bien des égards, la crue de septembre 2005 n'était pas comparable à celle de 1981. D'autre part, les différentes approches hydro-géomorphologiques menées dans ce torrent ont démontré que sa "potentialité" était bien supérieure à la tranche 40 000 – 50 000 m^3 habituellement évoquée.

Finalement, peu d'enseignements ont été retenus de l'évènement de 2005, puisque les aménagements ont été renforcés dans la zone amont des "grands" barrages. Le maintien de leur implantation sur ce secteur s'affiche d'ailleurs en contradiction avec les conclusions de l'analyse de terrain, puisque nous savons qu'environ 70 % de la charge mobilisée en 2005 provenait de la section inférieure du Grand Verdarel. Il est même probable que les caissons de stabilisation vont encore renforcer la substitution de charge sur les barrages et accentuer la capacité d'incision du torrent en aval.

Certes, les efforts consentis durant la période récente et actuelle dans la gestion du risque torrentiel sont louables par la volonté affichée de le prévenir. Mais, elle s'apparente de plus en plus à une fuite en avant de la sécurité publique (Flez et Lahousse, 2002). A l'heure actuelle et en dehors d'investigations presque exclusivement centrées sur l'aléa, l'impérieuse question d'une réduction sensible de la vulnérabilité et de son caractère durable n'apparaît manifestement pas comme une question centrale. **Les nouveaux éléments apportés par notre analyse montre que, même avec les aménagements réalisés en 2007 et 2008, la vulnérabilité sur ce cône demeure importante car on ne peut exclure une crue extrême avoisinant 60 000 à 80 000 m^3.** Or, la crue de 2005 et ses conséquences sont assez représentatives de la gestion actuelle du risque torrentiel car en dehors des progrès et des prouesses techniques réalisées dans les torrents, les stratégies de prévention d'hier et d'aujourd'hui restent assez similaires. En dehors de la priorité des enjeux vitaux, la disproportion entre les coûts de cette prévention sur le Verdarel et le montant des dommages potentiels atteint des sommets. Pour preuve, si la crue de septembre 2005 n'a pas été dommageable, le coût des aménagements pour la commune de Saint-Chaffrey réalisés postérieurement à l'évènement s'élève à 412 000 € H.T, soit près de la moitié du montant des dégâts occasionnés par la lave torrentielle de juillet 1981.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

UNE SPIRALE COUTEUSE DE LA GESTION ACTUELLE DU RISQUE TORRENTIEL PRESQUE EXCLUSIVEMENT AXÉE SUR L'ALÉA.

ANNÉE D'IMPLANTATION	TYPE D'OUVRAGE OU D'INTERVENTION	NUMÉROTATION DES OUVRAGES	Montant *(en euros)*
1981	Barrage fermant la plage de dépôt. Digues maçonnées Digue d'entonnement et seuil	Bd D_3, D_4, D_5 D_6 et S_4	271 750 243 600 117 940
1982	Petits barrages de stabilisation Seuils et digues.	b_1, b_2, b_3 S_5, S_6, S_7 et D_1, D_2	241 620 525 435
1982-83	Plage de dépôt *(digue de fermeture, terrassement et dents freineuses)*	D_7 et d_1, d_2, d_3	461 925
1985	Grand barrage "Blanchard".	B_1	248 610
1988	Dérivation du Petit Verdarel et petits barrages amonts.	b_1' à b_4'	228 640
1990	Petits barrages de stabilisation	b_4 à b_{11}	301 235
1992	Grand barrage "Queyras"	B_2	101 040
1995	Seuils	S_8, S_9	85 850
1997	Simulation du fonctionnement de la plage de dépôt *(SOGREAH)*.	———	54 045
1998	Grand barrage "Allamano"	B_3	128 400
1982-99	Nettoyage du lit et entretien des berges.	———	39 690
2001	Grand barrage "Gaudi" et son contre-barrage.	B_4	340 000
2007	Reprofilage de la plage de dépôt et création de merlons renforcés. "Casquette" en béton armé au pont des Neyzets	 c_1	138 000 20 000
2008	Implantation de deux caissons stabilisateurs dans la section amont du Grand Verdarel	C_1 et C_2	254 000
TOTAL			*3 801 780*

Nb: les données de 1981 à 1999 proviennent des recherches de Flez et Lahousse 2002 et 2004.
(Sources de 1981 à 2008: RTM 05 et Mairie de Saint-Chaffrey.)



10/10/2007: "casquette" en béton armé sur le pont des Neyzets. *Source: L. Thénard.*



19/10/2008: Mise en place de deux caissons stabilisateurs dans la section supérieure du Grand Verdarel. *Source: SGMB.*

L. THENARD - 2009.

Figure 173 : une spirale coûteuse de la gestion actuelle presque exclusivement axée sur l'aléa.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Le constat est encore plus éloquent depuis 1981 et le début du programme de mise en sécurité du cône de déjection. En reprenant les études précédentes sur ce thème et en les complétant par les données récentes, le montant cumulé de l'ensemble des aménagements réalisés entre 1981 et 1999 s'établit à 3 049 780 € (Flez et Lahousse, 2002 et 2004). A ce chiffre, il faut y adjoindre les 752 000 € d'investissement de ce début de 21^{ième} siècle. Ce qui amène aujourd'hui le montant total et toujours provisoire du programme de correction à 3 801 780 € **[Cf. figure 173].**

Or, les études récentes ont démontré que la vulnérabilité actuelle sur le cône du Verdarel approcherait 1,5 millions d'euros, à propos de l'impact financier de dommages engendrés par une crue équivalente à 1981. **Le déséquilibre entre la valeur de la vulnérabilité et le coût du programme de protection ne cesse de s'accroître**. En 1995, le rapport entre le premier et le second s'établissait déjà à 2,3 alors qu'il atteint désormais 2,8 ! **Autrement dit, la gestion récente du risque torrentiel représente, en terme de coût, de 3 à 4 fois celui de la vulnérabilité.**

Plus que jamais, la gestion du risque torrentiel sur ce site devrait faire l'objet d'une vaste réflexion, en commençant par dresser le bilan, tant en terme d'efficacité que de coût, des actions engagées depuis 1981. A ce sujet, nous savons désormais que la crue de juillet 1981 n'avait pas sollicité l'ensemble des stocks sédimentaires directement mobilisables.

La poursuite actuelle du programme de correction engagé depuis 25 ans associée au maintien d'une zone inconstructible sur le cône, renferme intrinsèquement une contradiction condamnant par avance la réduction de la vulnérabilité. A moyen et long terme, il est évident que la commune de Saint-Chaffrey et ses administrés tolèreront de moins en moins le poids d'investissements financiers très lourds, alors que les services de l'État *(Préfecture, RTM, DDE, etc.)* maintiennent le gel de l'urbanisation sur une partie du cône. **Autrement dit, sans une réflexion globale aboutissant à des solutions innovantes et durables, la gestion actuelle du risque torrentiel ne peut aboutir qu'à un assouplissement de la contrainte réglementaire sur le cône, et mécaniquement, à l'accentuation de la vulnérabilité.** D'ailleurs, cet aspect a constitué un des principaux points d'achoppement dans la procédure d'approbation du PPR.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

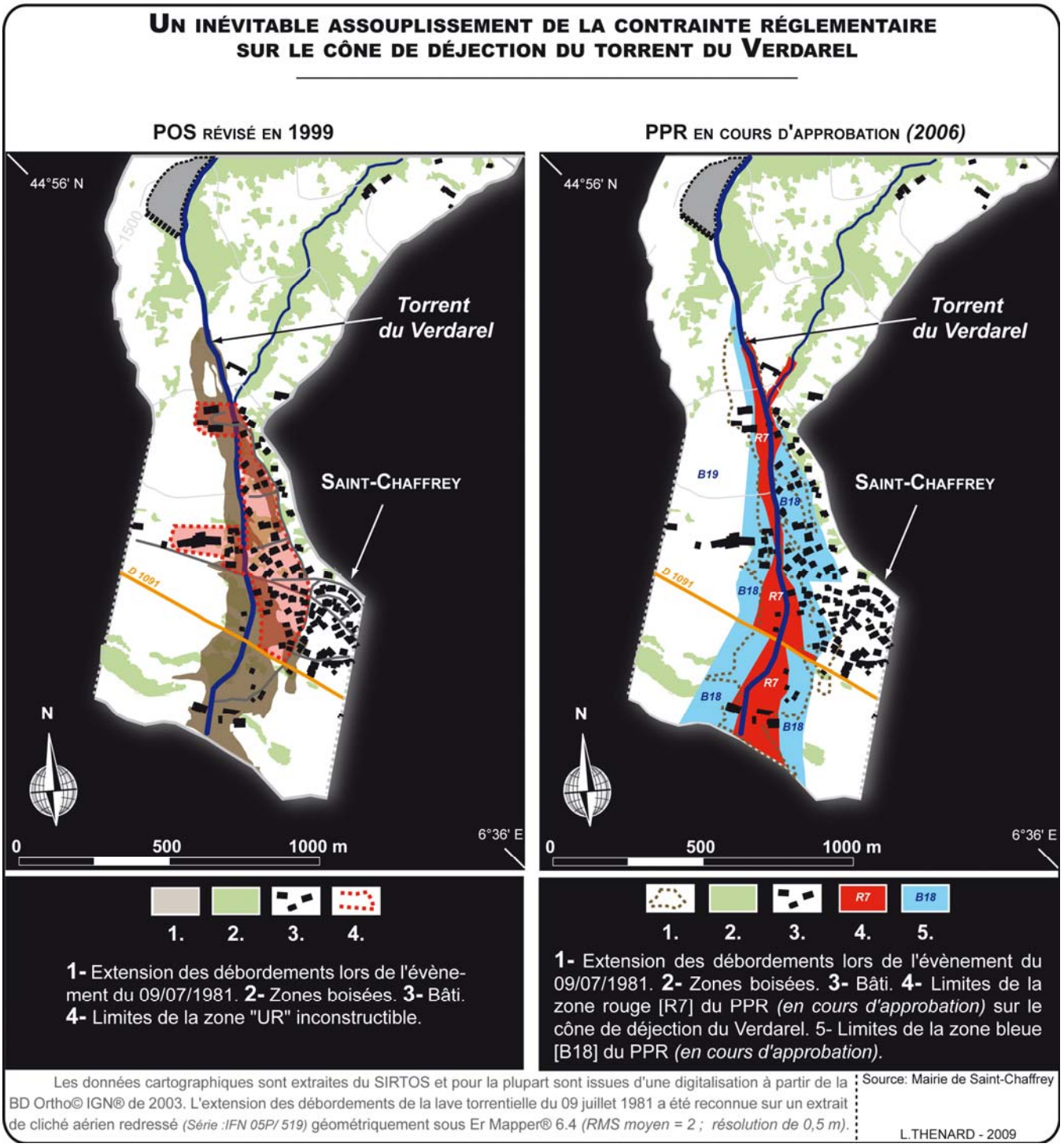


Figure 174 : Un inévitable assouplissement de la contrainte réglementaire sur le cône de déjection du torrent du Verdarel.

Concrétisant les réflexions précédentes, la version provisoire du P.P.R en cours d'approbation que nous avons pu consulter fait même état de la quasi disparition de l'ancienne zone inconstructible *("U.R")* du POS **[Cf. figure 174]**.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Par exemple, les immeubles collectifs des Neyzets ou l'actuel centre de vacances *(rive droite du Verdarel)* intègreraient désormais un secteur constructible soumis à prescriptions et/ou recommandations **[B19]**, donc une zone bleue du PPR. Cet inévitable "déclassement" concerne d'ailleurs toute la partie occidentale du cône de déjection *(zones médianes et distales)*, considérée comme mise à l'abri de la charge grossière des laves torrentielles grâce à la plage de dépôt située en amont, et les barrages à dents associés. Dans ce secteur, cet arbitrage est probablement crédible dans le cas de laves torrentielles d'intensité moyenne, comme celle de 2005, et pour les zones situées à distance respectable du chenal torrentiel *(plus de 50 mètres perpendiculairement au chenal)*. **Toutefois, en fonction des éléments analysés précédemment et malgré le dispositif de protection actuel, on conçoit mal dans quelle mesure les bâtiments localisés en bordure du Verdarel seraient aujourd'hui, moins vulnérables qu'hier, à une crue torrentielle équivalente ou supérieure à celle de 1981.**

L'assouplissement des règles d'urbanisme s'exprime encore plus franchement en rive gauche du Verdarel, c'est-à-dire le secteur le plus densément urbanisé et donc, à priori, le plus vulnérable. Entre le pont des Neyzets et la RD 1091 *(ex RN91)*, la zone rouge *(inconstructible)* est désormais réduite à la portion congrue. **A l'exception de 5 bâtiments situés à proximité immédiate du torrent, le reste du bâti devrait être exclu de la zone inconstructible.** Rappelons qu'en juillet 1981, un grand nombre de bâtiments sur ce secteur avaient été affectés et/ou endommagés par la lave torrentielle. Autrement dit, cette version du PPR admet *de facto* une diminution de la menace torrentielle, en entérinant définitivement l'efficacité du dispositif de protection mis en place depuis 25 ans. **En regard de l'importance des investissements réalisés, cette évolution de la gestion du risque torrentiel était inévitable, car dans le cas contraire elle aurait perdu toute crédibilité auprès des élus et des populations locales.** La contrepartie prévisible est une reprise de l'urbanisation sur le cône du Verdarel et une réactivation du "cycle" du risque, auquel on assiste dans cette vallée depuis la création de Serre-Chevalier sur un grand nombre de cônes torrentiels. Attestée par les documents réglementaires, le regain de confiance aboutira à une densification du bâti existant, et à nouveau, à un accroissement important de la vulnérabilité **[Cf. figure 175]**.

D'autre part, si les prescriptions prévues apparaissent relativement strictes pour les zones bleues, leur efficacité réelle, ou plus précisément leur réalisme, sont de notre point de vue assez contestables. Par exemple, concernant la zone "B19" qui encadre la zone inconstructible, une des prescriptions principales ordonne pour les nouveaux aménagements que les façades exposées aux crues torrentielles soient aveugles sur une hauteur de 2 mètres et résistantes à une pression de 30 kiPa. Les ouvertures situées sur les façades non exposées devront être implantées à 0,5 mètres au dessus du terrain existant. Dans le même esprit et parmi d'autres, une prescription impose également que les réseaux et équipements électriques, électroniques, micromécaniques et les installations de chauffage soient placés au dessus de la cote de référence.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

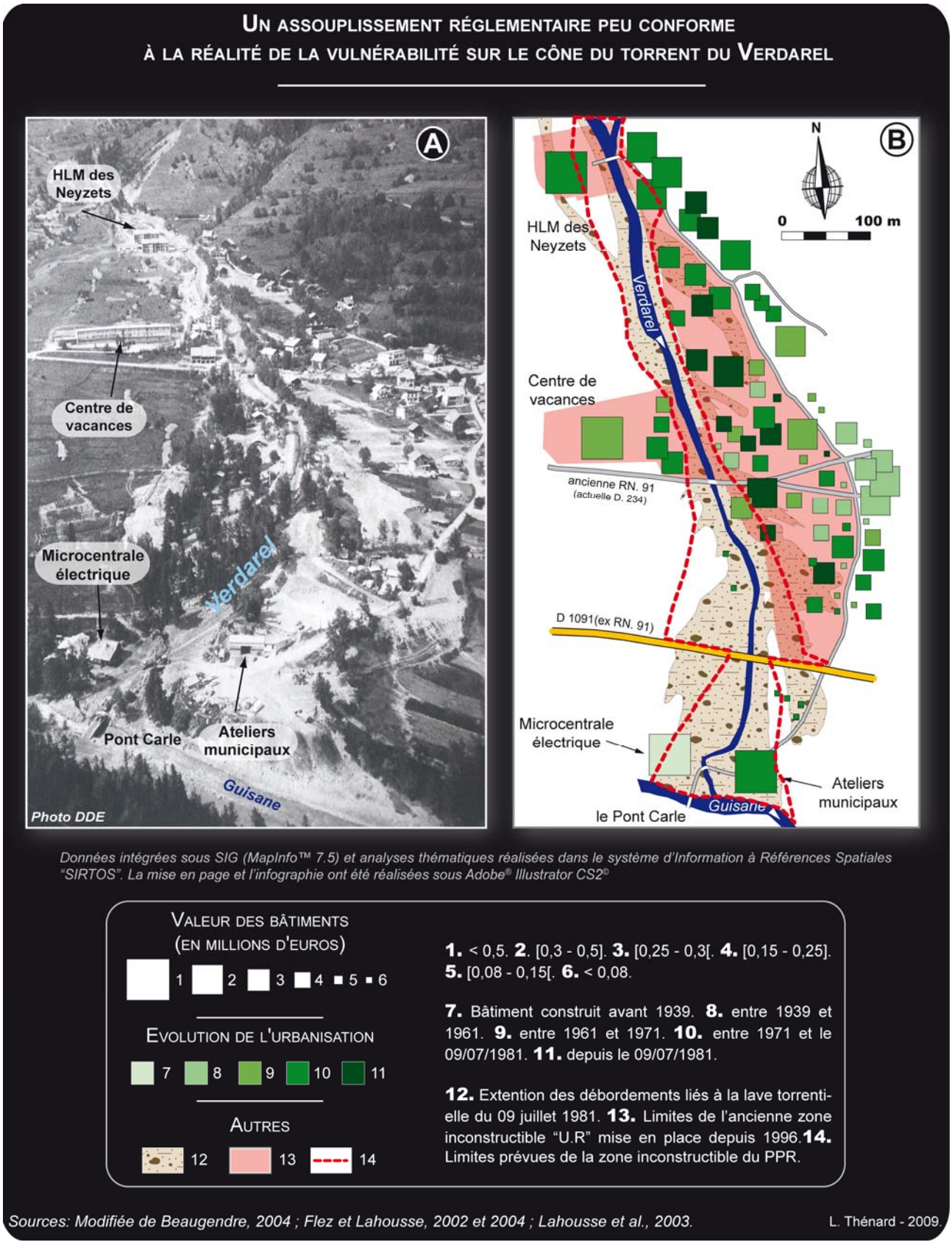


Figure 175 : un assouplissement réglementaire peu conforme à la réalité de la vulnérabilité sur le cône du Verdarel.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Dans ces directives, la volonté de protéger les habitations et surtout leurs occupants est manifeste mais ces dernières recèlent déjà de nombreuses contradictions qui les rendront difficilement applicables en l'état.

Pour commencer, la nature de ces différentes prescriptions tend à démontrer que cette zone redevenue constructible demeure fortement soumise à l'aléa torrentiel, ce qui est tout de même assez contradictoire avec la quasi disparition de la zone inconstructible. De la même manière, les mesures concernant les cotes d'altitude apparaissent complexes et reposent sur des références peu vérifiables, même si à priori la crue de juillet 1981 reste l'évènement référent. Or, ce repère ne reflète qu'un évènement paroxystique récent et les recherches scientifiques menées dans ce torrent ont démontré que sa "potentialité" était bien plus élevée. Par ailleurs, une pièce peut parfaitement se constituer de murs directement exposés aux crues torrentielles et de murs non exposés. A l'évidence, le respect de cette réglementation rendra souvent l'aménagement intérieur inextricable. Pour ces prescriptions, n'aurait-il pas été plus simple d'interdire les pièces à vivre en rez-de-chaussée ?

De même, les contraintes réglementaires sur des façades "non exposées" constitue en soit une opposition sémantique qui ne peut que nuire à la finalité initiale. **Il ne fait que peu de doute que ces différentes contraintes n'amélioreront pas la perception de cette prévention du risque torrentiel par les populations locales.** Sur ces aspects, nos nombreux entretiens avec les élus et surtout les habitants concernés ne laissent pas transparaître un enthousiasme particulier pour l'application de ces directives. Cette perplexité est encore plus franche concernant la contrainte réglementaire sur les bâtiments existants, car elle impose que les ouvertures des façades exposées *(inférieures à 2 mètres par rapport au terrain)* devront être obstruées par "des panneaux amovibles, résistants et étanches". Au-delà de la contrainte technique et esthétique que cela suppose, ces aménagements semblent assez peu adaptés face aux laves à blocs que le torrent du Verdarel est capable de générer régulièrement. Enfin, en supplément du coût des dispositifs de correction imputable à la collectivité, l'ensemble de ces prescriptions aura des répercutions substantielles sur le budget des particuliers. Ce qui revient à dire que la mise en conformité sera partielle, ou au mieux, longue et coûteuse.

L'impression générale laissée par ces évolutions réglementaires est que les études préalables et les propositions qui en découlent, résultent d'une adaptation des méthodes hydro-géomorphologiques et des solutions préconisées dans le cadre de la prévention des inondations fluviales. A l'évidence, ces mesures se révèlent peu probantes et en inadéquation avec les spécificités du risque torrentiel. **A moins de considérer l'ensemble du cône torrentiel comme potentiellement soumis à l'aléa torrentiel, le zonage du risque torrentiel tel qu'il est pensé actuellement doit être appréhendé avec la plus grande prudence, car les marges d'incertitudes restent assurément importantes.**

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Loin de réduire durablement la problématique du risque torrentiel sur ce cône, l'évolution des règles d'urbanisme dans le contexte actuel de rénovation des infrastructures de Serre-Chevalier aboutira, paradoxalement mais probablement, à une augmentation de la vulnérabilité. D'ailleurs le contraste entre les résultats de l'analyse de la crue de 2005 et la poursuite de la stratégie de prévention qui prédomine depuis deux décennies, n'a fait que renforcer cette affirmation. Rappelons que suite à la crue de 2005, 412 000 € H.T ont été investis en 2007 et 2008 alors que cet évènement n'a fait ni dommages ni victimes.

Sans s'être donné suffisamment rapidement les moyens de maîtriser l'urbanisation sur le cône de déjection du Verdarel (Flez et Lahousse, 2002), les services déconcentrés de l'Etat et la commune de Saint-Chaffrey se sont ensuite engagés dans un inextricable programme de correction torrentielle. **Il est alors légitime de penser qu'en l'état actuel des connaissances, une réflexion plus large et détachée de considérations strictement économiques ou politiques, aurait abouti à une extension sensible de la zone inconstructible, tout en allégeant les contraintes réglementaires sur les zones moins exposées. Finalement, seule la recherche d'un équilibre entre une réduction efficace de la vulnérabilité et la poursuite du développement socio-économique de la vallée apparaît aujourd'hui comme une solution durable.** De notre point de vue, seul un changement important dans l'approche du risque torrentiel, et plus largement des mentalités, permettrait de réduire sensiblement la vulnérabilité. **Inévitablement cette évolution sera traduite comme un revirement assez incompréhensible,** mais une nouvelle fois avant les phases actives de la prévention, celles de la recherche scientifiques, du débat public, de la pédagogie et de l'information apparaissent fondamentales.

Nous avons voulu étayer notre réflexion en imaginant un scénario certes bien plus radical, mais depuis les évolutions législatives de 1995 encadrant la gestion des risques naturels, légalement réalisable. En croisant les informations sous SIG, sur les débordements de juillet 1981 et sur la vulnérabilité au début des années 2000 *(sources : Flez et Lahousse, 2002 et 2004)*, nous avons voulu évalué le coût de l'expropriation ou de l'acquisition par les pouvoirs publics des 48 bâtiments *(domaine privé)* les plus exposés sur le cône. Ces constructions s'inscrivent dans une zone tampon, de l'ordre d'une centaine de mètres de part et d'autre du chenal *(zone médiane et distale du cône)* ne reposant pas sur la référence de 1981 mais sur la "potentialité" de ce torrent *(70 000 à 80 000 m^3)*. Le résultat de ces investigations aboutit à un montant compris entre 3,2 et 3,6 millions d'euros *(tarif actuel moyen au m² de ± 3000 €)* **[Cf. figure 176]**. **Pour un évènement comparable à celui de 1981 et sans considérer le dispositif de correction actuel, de telles mesures auraient permis de réduire d'environ 80% la vulnérabilité sur le cône du Verdarel.**

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

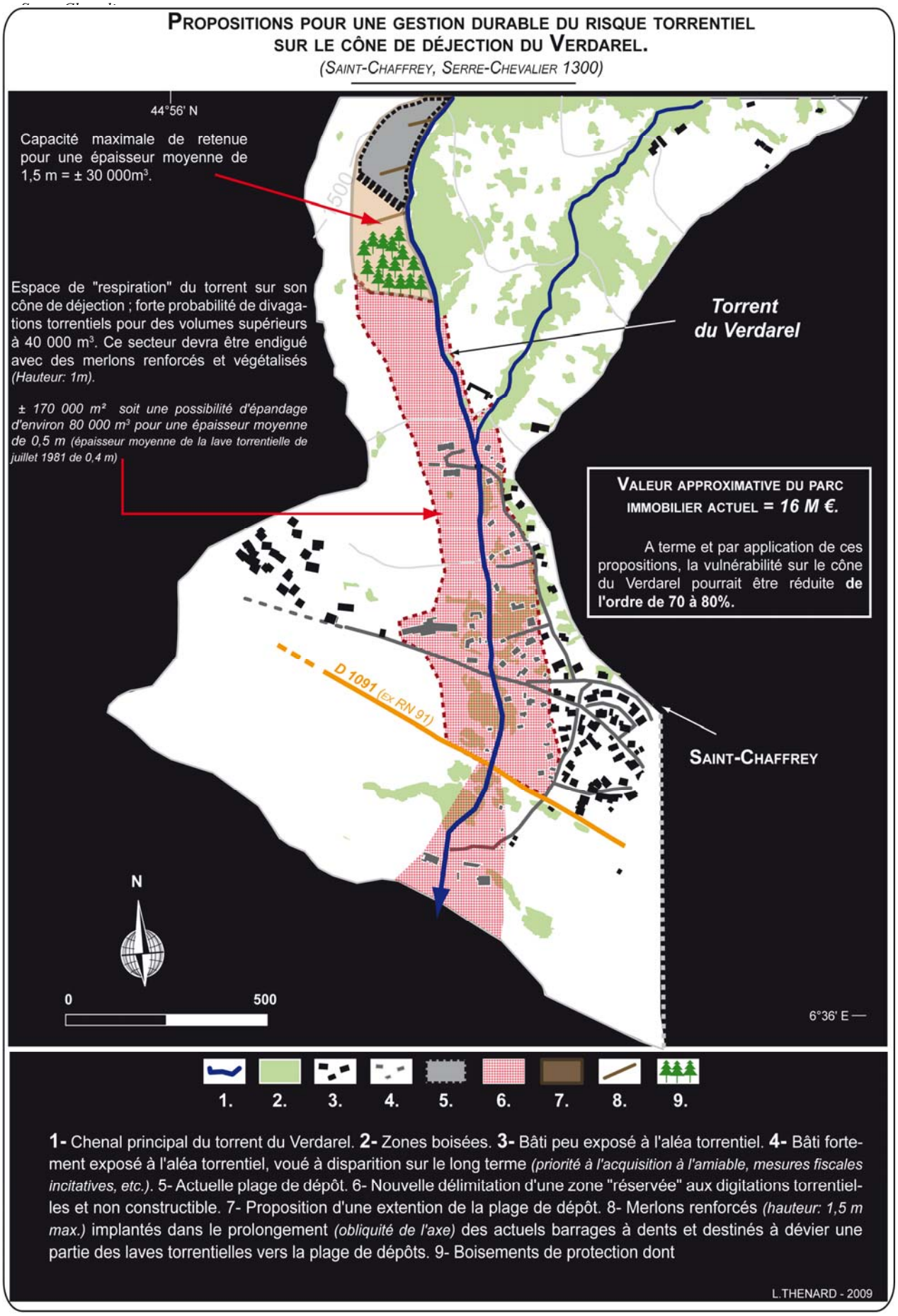


Figure 176 : Propositions pour une gestion plus durable du risque torrentiel sur le cône du Verdarel.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Par ailleurs, en faisant appel au Fond de Prévention des Risques Naturels Majeurs *(FPRNM)*, le coût de ses acquisitions imputable à la commune pourrait être sensiblement réduit. Dans le cas des acquisitions amiables *(loi du 30 juillet 2003*), le financement consenti pour chacun des bâtiments concernés par la procédure et les mesures liées à leur sécurisation est plafonné et fixé par arrêté ministériel (Ministère de l'écologie, du développement et de l'Aménagement durables, 2008). Il s'établit actuellement à 60 000 € par unité foncière *(arrêté interministériel du 12 janvier 2005)*, soit dans notre exemple à près de 2,9 M d'€ *(48 bâtiments)*, sous réserve évidemment que l'ensemble des conditions soient réunies.

Rappelons que les montants cumulés des investissements réalisés sur le cône du Verdarel et dans le bassin versant atteignent aujourd'hui plus de 3,8 millions d'euros et que la vulnérabilité s'est encore accrue.



En définitive pour que la gestion du risque torrentiel sur ce site soit plus efficace et surtout durable, les solutions seront nécessairement complexes et relativement coûteuses. Elles impliquent surtout en amont une évolution sensible de l'approche actuelle du risque. A l'instar du torrent de Saint-Bernard, seule une action menée sur les enjeux pourrait désormais se révéler réellement efficace. Toutefois, l'aléa torrentiel apparaît d'une toute autre nature dans le Verdarel puisque ce dernier démontre une propension particulière au développement de laves à blocs intenses.

Afin d'atténuer l'impact d'une lave torrentielle exceptionnelle *(> 50 000 m^3)* dans les secteurs situés à l'aval, nous proposons une extension de la plage de dépôt actuelle **[Cf. figure 177]**. De même, en raison des réserves émises précédemment sur le remodelage effectué en 2007, des solutions de réaménagement ont été imaginées dans l'optique d'une démarche de développement durable.

Figure 177 : Proposition d'un réaménagement de la plage de dépôt

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

En effet, les merlons actuels ferment complètement et brutalement la plage de dépôt. L'objectif principal est de bloquer les laves torrentielles le plus rapidement possible à la racine du cône torrentiel. Cette configuration renvoie à une sorte d'endiguement, non pas latéral mais frontal. Or, les probables substitutions de charge pourraient se traduire par une évolution sensible et localisée de la dynamique torrentielle. Par exemple, le brusque passage d'une dynamique aggradante *(dépôts)* à une dynamique d'incision est susceptible d'avoir des conséquences fâcheuses sur les ouvrages de protection situés en aval *(déchaussement, brèches, etc.)*. D'autre part, la fermeture complète de la plage de dépôt par les merlons peut provoquer d'importante retenue d'eaux boueuses pour lesquels les merlons actuels n'ont pas été conçus. En conséquence, l'éventualité d'une rupture d'embâcle ne peut être exclue.

Sans remettre totalement en question l'utilité de cet ouvrage à l'apex du cône, nous préconisons de revoir le dispositif interne de la plage de dépôt. Le principe des merlons jouxtant les dents freineuses serait maintenu, mais leur léger abaissement et l'obliquité de leur orientation par rapport à l'axe du chenal torrentiel leur attribueraient un rôle sensiblement différent des merlons actuels. Il s'agit de freiner et surtout dévier une partie des laves torrentielles vers la plage de dépôt. La fermeture de cette dernière par les merlons serait cette fois partielle, ce qui permettrait d'exploiter l'ensemble du dispositif lors d'évènements paroxystiques. En complément et afin d'optimiser le dépôt de la charge grossière, un boisement de protection pourrait être implanté dans la section inférieure de l'ouvrage. La capacité peignante des ligneux serait ainsi évaluée dans une optique élargie à d'autres cônes torrentiels de la vallée. La finalité est d'ici de gagner en efficacité vis-à-vis de l'aléa torrentiel et de mieux intégrer cet ouvrage au paysage. Dans le cadre de l'entretien du dispositif, ces boisements pourraient également faire l'objet d'une exploitation commerciale *(facilité d'accès, moindre contrainte topographique et climatique que sur les versants, etc.)*.

Cette proposition s'inscrit par ailleurs dans les réflexions et les directives du récent Grenelle de l'Environnement *(octobre 2007)*. Dans son application, la loi Grenelle Environnement *(loi n° 2009-967 du 03 août 2009)* devrait aboutir à la mise en place d'un ambitieux programme de développement et d'exploitation de la forêt française. Considéré comme une source d'énergie renouvelable à l'impact "carbone" *(CO^2)* limité, l'utilisation du bois devrait être largement privilégiée dans le bâti et comme combustible de chauffage. **L'importance de cette filière dans le Briançonnais est à l'évidence une opportunité dont il faudrait se saisir, car pour une fois la prévention du risque torrentiel et le développement local pourraient trouver un point de conciliation.** Enfin, l'exploitation de ces boisements assurerait pour la commune un amortissement financier régulier des investissements initiaux *(ex : le mètre cule de pin sylvestre ou de pin noir sur pied est, commercialisé entre 15 et 17 € en 2009 ; source : ONF 05)*. Là encore, il s'agirait d'une démarche assez novatrice en la matière permettant d'atténuer le sentiment actuel de "fuite en avant" de la prévention du risque torrentiel.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Évidemment, il ne s'agit que de propositions globales que des études complémentaires devraient évaluer et affiner. Toutefois, ces réflexions démontrent qu'une gestion innovante et durable du risque torrentiel ne relève pas nécessairement d'une chimère.

Par ailleurs et à l'image torrent de Saint-Bernard, une des solutions envisageable à court et moyen terme serait également de déterminer le long du chenal torrentiel sur le cône, une zone inconstructible et prioritaire en terme de prévention **[Cf. figure 176]**. **A terme cette dernière devrait être endiguée, intégrée au paysage urbain, réservée aux divagations torrentielles et calibrée pour contenir des dépôts d'au moins 60 000 m^3.** Entre temps, l'utilisation du cadre législatif conduirait à des propositions systématiques d'acquisition "à l'amiable" ou le cas échéant d'expropriation. Il s'agit probablement du prix à payer pour réduire durablement la vulnérabilité sur ce cône, tout en permettant néanmoins la poursuite du développement sur les zones moins exposées grâce à un assouplissement des prescriptions réglementaires.

Ces solutions ne sont imaginables que si elles s'accompagnent d'une forte volonté politique détachée des clivages partisans et d'un incontournable effort d'information auprès de la population.

Enfin et à court terme, **l'utilisation du SIRTOS *(SIG)* peut également constituer un outil supplémentaire à la prise de décision.** En rassemblant un maximum de données sur le torrent du Verdarel, l'aléa et la vulnérabilité peuvent ainsi être appréhendés individuellement mais surtout simultanément. Ce qui permet au moins d'atténuer les segmentations excessives conduisant à ne privilégier l'un ou l'autre élément. Le caractère dynamique de ce système permettrait par exemple de confronter les projets d'aménagements avec les secteurs antérieurement touchés par des débordements, dommageables ou non. A défaut d'une transmission traditionnelle et vernaculaire, ce type d'outil permettrait de maintenir une nouvelle forme de mémoire et de culture du risque torrentiel. Par ailleurs et en comparaison de la relative rigidité des documents réglementaires, son caractère dynamique facilite l'actualisation des bases de données et donc un accès immédiat aux données cartographiques et alphanumériques sur la ou les thématiques choisies. Par ce biais, il serait ainsi possible d'anticiper ou d'évaluer "virtuellement" d'éventuelles décisions d'aménagement. L'utilisation plus systématique de ce système donnerait également l'avantage de se détacher d'impressions, et surtout de pressions *(immobilières)*, en confrontant chaque projet à la réalité du risque torrentiel. Le cas échéant, le SIRTOS pourrait se révéler un moyen supplémentaire de communications pour les acteurs locaux vis-à-vis de leurs décisions en terme d'aménagement du territoire, et un support d'information pour des populations concernées.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Enfin, l'intégration et la prise en considération de tous ces paramètres ouvrent la perspective de ne plus uniquement baser les projets de développement sur l'atténuation de l'aléa mais également sur une meilleure gestion des enjeux actuels et à venir, et donc sur la vulnérabilité. En ce sens, cet outil constitue potentiellement une contribution à une gestion plus intégrée et adaptée (Laganier et *al.,* 2006, Garlatti, 2007) du risque torrentiel sur ce cône et dans cette vallée.

4.3. De l'exemple du Verdarel a la vallee de la Guisane : une reflexion elargie a Serre-Chevalier pour une gestion plus durable du risque torrentiel.

L'étude du projet de PPR sur le cône du torrent du Verdarel fait ressortir un certain nombre d'inconvénients de la procédure, pour la plupart inhérents à une stricte normalisation juridique des zones exposées à l'aléa torrentiel. Comme nous le verrons, le zonage de l'aléa torrentiel ainsi que la territorialisation de l'action publique (Pontier, 1997.) et du risque qu'il suppose, entraîne certaines contradictions voire certaines inadéquations avec la réalité du risque torrentiel, et donc, avec l'objectif initial d'une réduction de la vulnérabilité. La gestion récente et actuelle du risque torrentiel sur le cône de déjection du Verdarel en est l'une des illustrations les plus probantes. Toutefois, il nous faut légèrement nuancer le regard critique sur le Verdarel en rappelant que sur ce cône, l'intégration du risque torrentiel dans l'aménagement du territoire est indiscutable et bien réelle depuis 25 ans. Elle fait presque figure d'exception dans cette vallée pour les cônes récemment urbanisés *(post-1950)*.

Afin de conclure ce dernier temps de notre analyse, nous nous interrogerons sur la pertinence du zonage de l'aléa et du risque torrentiel tels qu'ils sont réalisés jusqu'à présents. Ensuite, une réflexion sera menée, à partir de l'exemple du Verdarel, sur l'éventuelle portée de la gestion du risque torrentiel actuelle et à venir à Serre-Chevalier. Enfin, en revenant sur certains exemples analysés et sur les réflexions associées, nous nous interrogerons sur les éventuelles mesures à mettre en œuvre afin d'intégrer la gestion du risque torrentiel au sein du développement durable de la vallée de la Guisane et de la station de Serre-Chevalier, plébiscité tant par les élus que par la population.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

4.3.1. Du rigorisme de la territorialisation du risque torrentiel au risque d'inadéquation de sa prévention.

La mise en place depuis 1995 des Plans de Prévention des Risques *(P.P.R)* constitue la dernière évolution de la tendance récente et réglementaire de la territorialisation des risques naturels. Récente puisqu'elle a débuté au début des années 1980 avec l'instauration des Plans d'Exposition au Risque *(P.E.R ; loi n°82-600 du 13 juillet 1982)*. Ce nouvel outil législatif se voulait novateur car il reconnaissait d'un point de vue juridique la notion de risque naturel en instituant une meilleure indemnisation des sinistrés et l'obligation de mise en conformité des constructions implantées antérieurement à l'approbation du PER. Par ailleurs, les P.E.R impliquaient l'établissement d'une cartographie des aléas naturels et des risques associés. S'il s'agit d'un tournant important dans l'approche réglementaire des risques naturels, l'application des P.E.R n'a pas rencontré le succès escompté. En raison de la complexité et d'une certaine rigidité de la procédure, seuls 441 P.E.R ont été approuvés entre 1984 et 1996, alors que l'objectif initial s'élevait à 2000 P.E.R approuvés (Bourrelier, 1997).

Pour y pallier, l'ensemble du cadre législatif régissant la prévention des risques naturels a été revu, et dès 1995, les Plans de Prévention des Risques *(P.P.R)* se sont substitués aux P.E.R *(loi n° 95-101 du 02 février 1995)*. Entre autres évolutions sensibles, une simplification des procédures de prescription et d'approbation a été opérée, tout comme ont été formalisés les principes de réduction de la vulnérabilité et de protection de l'environnement. De même, les P.P.R s'accompagnent d'un champ élargi de l'intervention publique dans la prévention des risques. La possibilité d'employer l'expropriation par décision préfectorale en est probablement l'illustration la plus probante, même si dans les faits cette mesure demeure très rarement appliquée et n'est considérée que comme un ultime recours (Billet, 2003).

Incontestablement, il s'agit d'avancées législatives essentielles qui imposent la reconnaissance des risques naturels dans le développement et l'aménagement des territoires communaux et intercommunaux. Toutefois, et comme tout cadre réglementaire développé à l'échelon national, les P.P.R renferment parfois quelques aspects contradictoires ou relativement inadaptés à certaines réalités de terrain, notamment en fonction de la nature de l'aléa.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Par exemple, dans le cadre de notre problématique, le zonage tend à fixer l'aléa torrentiel à la date d'établissement du P.P.R, alors que ce dernier évolue en permanence et à toutes les échelles spatio-temporelles considérées. D'ailleurs, la majorité des travaux récents portant sur la torrentialité à l'échelle contemporaine dans les Alpes du Sud démontrent que les évolutions des morphodynamiques torrentielles peuvent être sensibles (Piégay et Salvador, 1997 ; Landon et Piégay, 1999 ; Liébault et Piégay, 2002 ; Thénard, 2002 ; Liébault, 2003 ; Flez et Lahousse, 2003 ; Garitte, 2006 ; Flez et Garitte, 2006 ; Lahousse et al., 2006 ; Garitte et al., 2008.), parfois même à l'échelle d'une génération humaine. Nos investigations sur ce sujet dans les torrents guisanais s'inscrivent et confirment cette affirmation.

Dans le cadre du zonage réglementaire, si la délimitation des bandes actives ou des zones d'emprises torrentielles actuelles ne constitue pas une difficulté particulière, ces entités morphologiques renvoient le plus souvent à des processus hydro-géomorphologiques "réguliers", ou au moins courants. **En revanche, l'envahissement des cônes par une lave torrentielle et ses différentes digitations sont bien plus aléatoires, et donc plus difficiles à déterminer précisément** *(fonction de la nature des processus, de l'intensité de la crue, ou des épiphénomènes dans le lit torrentiel à l'origine de débordements)*. Or, ces évènements extrêmes constituent l'essentielle de la dangerosité des torrents en fond de vallée. A ce niveau d'analyse, les SIG apparaissent dès à présent comme un outil additionnel des P.P.R et de la prise de décisions. Le caractère dynamique de la cartographie et l'immédiateté de l'actualisation des données rendront ces outils probablement incontournables à l'avenir. C'est également en ce sens qu'a été créé le système d'Informations sur le Risque Torrentiel à Serre-Chevalier *(SIRTOS)*.

Afin de répondre à l'impératif de zonage de l'aléa et du risque, l'enquête historique est le recours le plus fréquemment employé, en particulier pour la délimitation des secteurs inconstructibles *(zones rouges)*. Mais, cette approche se heurte aux écueils maintes fois évoqués dans ce manuscrit pour les cônes récemment urbanisés *(post 1950)*, et précédemment mis en exergue dans les différentes études réalisées sur ce thème (Fanthou, 1994 ; Lahousse 1994 et 1997 ; Baraille, 2001). **Le problème le plus évident est que le zonage est basé sur un évènement référent, par définition récent, correspondant à une réalité connue mais pas nécessairement à la menace potentielle.** D'autre part, l'une des spécificités de l'aléa torrentiel est le caractère aléatoire des débordements en fond de vallée. Face à cette réalité, présumer que les manifestations et les dommages d'une crue de référence se réitèreront à l'identique pour un évènement comparable et à venir tient d'une périlleuse gageure. De plus, l'impact des interventions anthropiques dans les bassins torrentiels et/ou sur les cônes de déjection est souvent particulièrement difficile à évaluer précisément (Arnaud-Fassetta et Fort, 2004), ce qui, *in fine* rend le zonage de l'aléa et de la vulnérabilité encore plus délicat.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Outre ces premières remarques et quelque soit sa qualité, le zonage réglementaire de l'aléa et du risque torrentiel renvoie nécessairement à une délimitation relativement arbitraire. **La territorialisation du risque peut parfois aboutir à une stricte normalisation juridique, en décalage avec le terrain et avec le nécessaire pragmatisme que requière la prévention du risque torrentiel.** Même si les solutions imposées n'apparaissent pas comme les plus pertinentes pour atténuer la vulnérabilité, les acteurs de la gestion du risque torrentiel tendent souvent à scrupuleusement respecter le volet juridique, voire à s'y retrancher. **A l'évidence, cela constitue un paradoxe important pour lequel ce n'est pas le risque naturel qui affecte un territoire, mais bien le droit qui attribue un territoire au risque naturel** (Billet, 2003). Les échanges sur ce point avec les élus des communes de la Guisane et les populations soumises à ces réglementations tendent à confirmer que lorsqu'elle est avérée, cette dérive du rigorisme juridique ne tend pas à crédibiliser la prévention du risque torrentiel au niveau local.

Cette tendance n'est d'ailleurs pas propre aux P.P.R, mais inhérente à l'ensemble des procédures mis en place afin d'identifier et prévenir les risques naturels *(PZERN, PER, etc.)* car elles ont généralement été perçues comme une entrave au développement local, orchestrée par les instances étatiques. A Serre-Chevalier et en *sus* du parapet juridique évoquer ci-avant, l'importance des enjeux socio-économiques liés à l'industrie touristique a longtemps contribué à exclure ou à minorer la menace torrentielle dans le développement des activités et des infrastructures de la station. Suite à plus d'une décennie de "gel" de l'urbanisation *(1996-2008)*, l'actuel assouplissement réglementaire sur le cône du Verdarel répond manifestement de cette logique. Pourtant, cette dernière va à l'encontre des données et des conclusions scientifiques portant tant sur l'aléa que sur la vulnérabilité, et largement diffusées ses dernières années auprès des acteurs locaux ou des instances en charge de la gestion du risque torrentiel. (Flez et Lahousse, 2002 et 2004 ; Lahousse et Salvador, 1998, 1999 et 2002 ; Lahousse et *al.*, 2003).

Enfin, le zonage du risque torrentiel est bien souvent essentiellement basé sur des données indirectes *(photographies aériennes, cartes, plan, etc.)* et cette déconnexion avec le terrain abouti régulièrement à certains excès qui, une nouvelle fois, tendent à décrédibiliser la volonté et l'action publique dans la prévention des risques. **Entre autres éléments dissonants, la rigidité du zonage réglementaire s'exprime par exemple dans la coupure cartographique de certains bâtiments [Cf. figure 178].** Ainsi dans la version du P.P.R que nous avons pu consulter, et en ne prenant que le seul exemple du Verdarel, au moins 7 bâtiments sont traversés par les limites du zonage. Autrement dit, ces bâtiments appartiennent simultanément à des zones distinctes, ne répondant donc pas aux mêmes directives légales. Pour preuve, l'un des immeubles H.L.M des Neyzets *(le plus en aval)* appartient aux zones R7 *(inconstructible)*, B18 et B19 ! De la même manière, la Gendarmerie située dans la partie occidentale du cône de déjection se trouve scindée en 2 parties par le zonage réglementaire.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Il est tout de même difficilement concevable que ces bâtiments soient exposés différemment à un même aléa torrentiel, ou du moins que l'on puisse le déterminer avec autant de précision. Les mises en conformité s'annoncent assurément complexes et d'ores et déjà irréalisables.

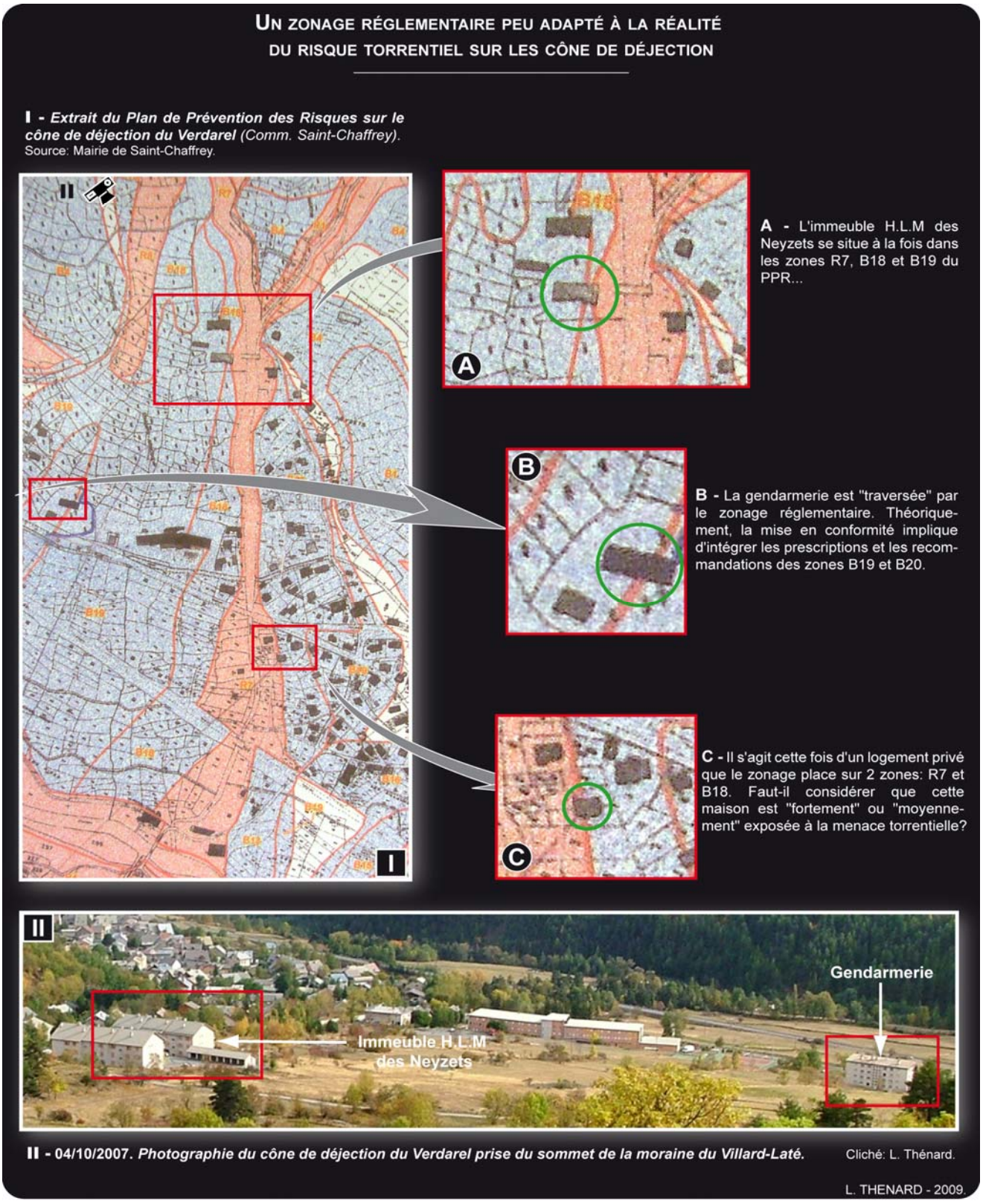


Figure 178 : Une inadaptation du zonage réglementaire aux spécificités du risque torrentiel

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Des plus anecdotiques aux plus fondamentaux, ces différents éléments démontrent que, dans l'exemple du Verdarel, l'approche réglementaire actuelle et les solutions qu'elle préconise pour réduire la vulnérabilité demeurent assez peu adaptées à la problématique du risque torrentiel. **A terme, le cumul de ces diverses inadéquations pourrait éprouver la perception et donc l'efficacité de la prévention du risque torrentiel.** Pour autant, il ne s'agit pas de remettre en cause la pertinence ou l'utilité de l'outil législatif et réglementaire que constituent les PPR. En effet, le caractère obligatoire de ces documents astreint les communes à officiellement reconnaître et à prendre en considération la menace que peuvent constituer les torrents dans l'aménagement des territoires. **D'ailleurs dans le cas du Verdarel, les mesures prises depuis la lave torrentielle du 09 juillet 1981 expriment une réelle prise de conscience des élus et des riverains.** Toutefois, nous verrons avec l'exemple du Bez que cette prise en considération est loin d'être généralisée à Serre-Chevalier, et que dans ce cas, la prescription des PPR est plus que jamais une nécessité afin de dépasser certaines réticences locales.

En revanche, l'exemple du Verdarel démontre que l'approche réglementaire du risque torrentiel reste dans la lignée de la gestion passée, sans que soit véritablement proposées de solutions alternatives. **Sur le cône du Verdarel, le relâchement actuel de la contrainte sur l'urbanisation, accrédite de fait le système de correction mis en place depuis 25 ans, ainsi que les fondements de sa réalisation.** Certes, dans les zones bleues du PPR, les prescriptions légales tentent d'intervenir sur les enjeux existants, **mais la question fondamentale de leur proximité immédiate avec l'aléa torrentiel n'est pas réellement remise en question.**

Enfin, tel qu'il s'annonce, l'assouplissement de la contrainte réglementaire sur le cône du Verdarel constitue un précédent dans la vallée pouvant prendre valeur d'exemple. Ce torrent a été à l'origine de la prise de conscience de la réalité du risque torrentiel à Serre-Chevalier mais il est également susceptible d'être à la source d'un regain de la vulnérabilité sur les cônes torrentiels de la station. Pour la première fois dans cette vallée depuis plus d'un quart de siècle *(1981)*, le principe de précaution ayant conduit à considérablement encadrer l'urbanisation en fond de vallée est en passe d'être revu à la baisse. Évidemment, cette évolution est souhaitable si elle est précédée d'une réduction sensible de la vulnérabilité. Or, pour le Verdarel et dans la lignée des travaux précédents, notre analyse a suffisamment démontré que cet objectif n'était pas véritablement atteint.

Une meilleure adaptation de la législation, ou au moins de son application, aux problématiques locales est évidemment nécessaire, mais il serait regrettable que l'allègement de la contrainte publique sur ce cône soit interprété dans le reste de la vallée comme un relâchement de la vigilance étatique vis-à-vis du risque torrentiel. Si tel était le cas et compte tenu des enjeux économiques, nul doute que l'urbanisation des cônes de déjection reprendrait intensivement. La tentation reste importante car le Verdarel ne constitue pas l'unique source de risque et/ou de convoitise dans cette vallée. Et comme nous le verrons, l'exemple du torrent du Bez est, de ce point de vue, particulièrement éloquent.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

4.3.2. Le Bez : un torrent emblématique du risque torrentiel à Serre-Chevalier.

Comme évoqué précédemment, l'urbanisation du cône torrentiel du Bez symbolise la reconversion économique de la vallée et son impact, en terme d'aménagement du territoire. C'est-à-dire, un développement souvent effréné de la station touristique de Serre-Chevalier, bousculant des siècles de traditions architecturales, et plus largement culturelles, qui transcrivaient une adaptation ancestrale des populations locales au milieu montagnard.

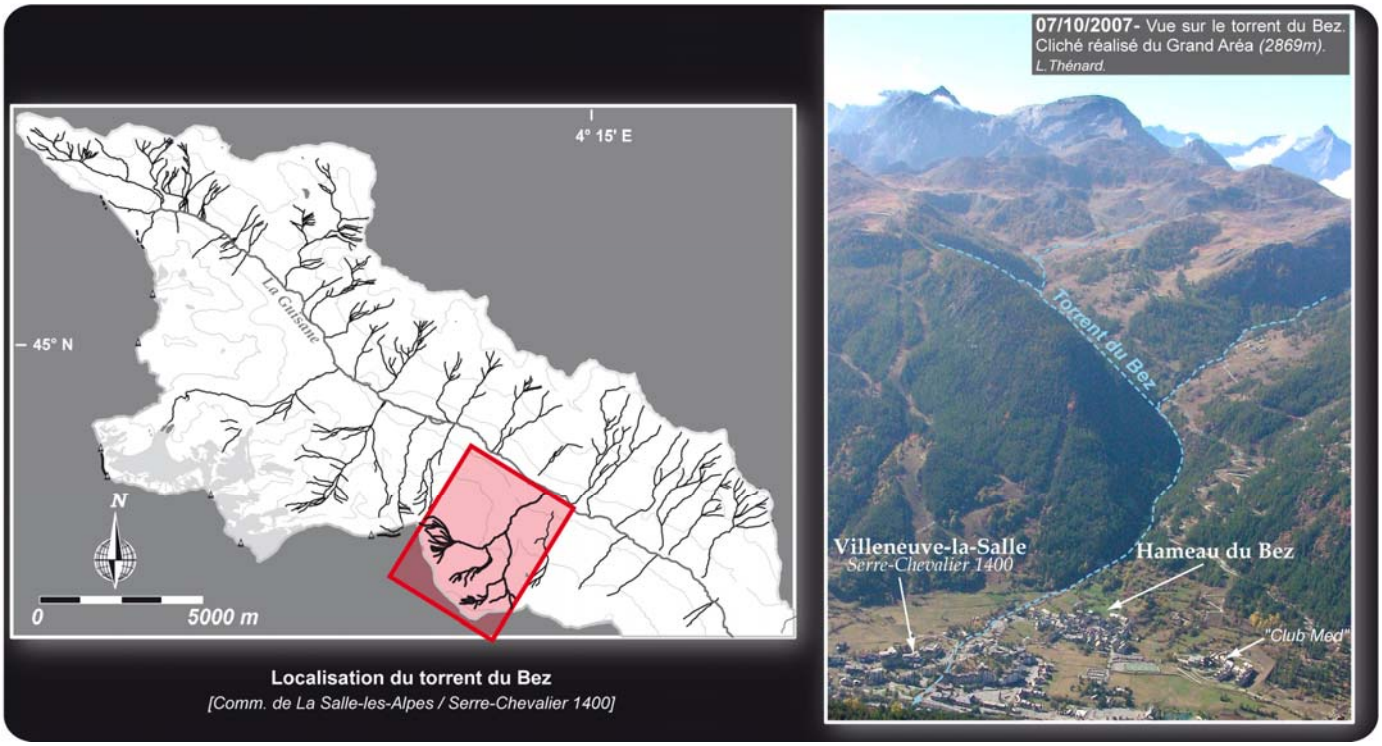


Figure 179 : Localisation du torrent du Bez (Serre-Chevalier 1400).

Dès les années 1950, et plus encore durant les deux décennies suivantes, le cône du Bez va devenir le cœur de l'extension de la station. En dehors du développement du domaine skiable relié à celui de Chantemerle, le programme de développement consistait essentiellement à la création d'une ville nouvelle *(Villeneuve La Salle)* sur le cône torrentiel du Bez **[Cf. figure 179]**. Cette dernière avait, et a toujours, pour fonction de regrouper une grande partie des activités et infrastructures à vocation touristique de Serre-Chevalier 1400. Jusque dans les années 1950, la présence humaine sur ce cône se cantonnait au hameau historique du Bez, situé sur un léger renflement de la zone apicale. Ce dernier se trouvait ainsi abrité des crues de la rivière Guisane et à distance respectable du torrent (Lahousse et Salvador, 1999).

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

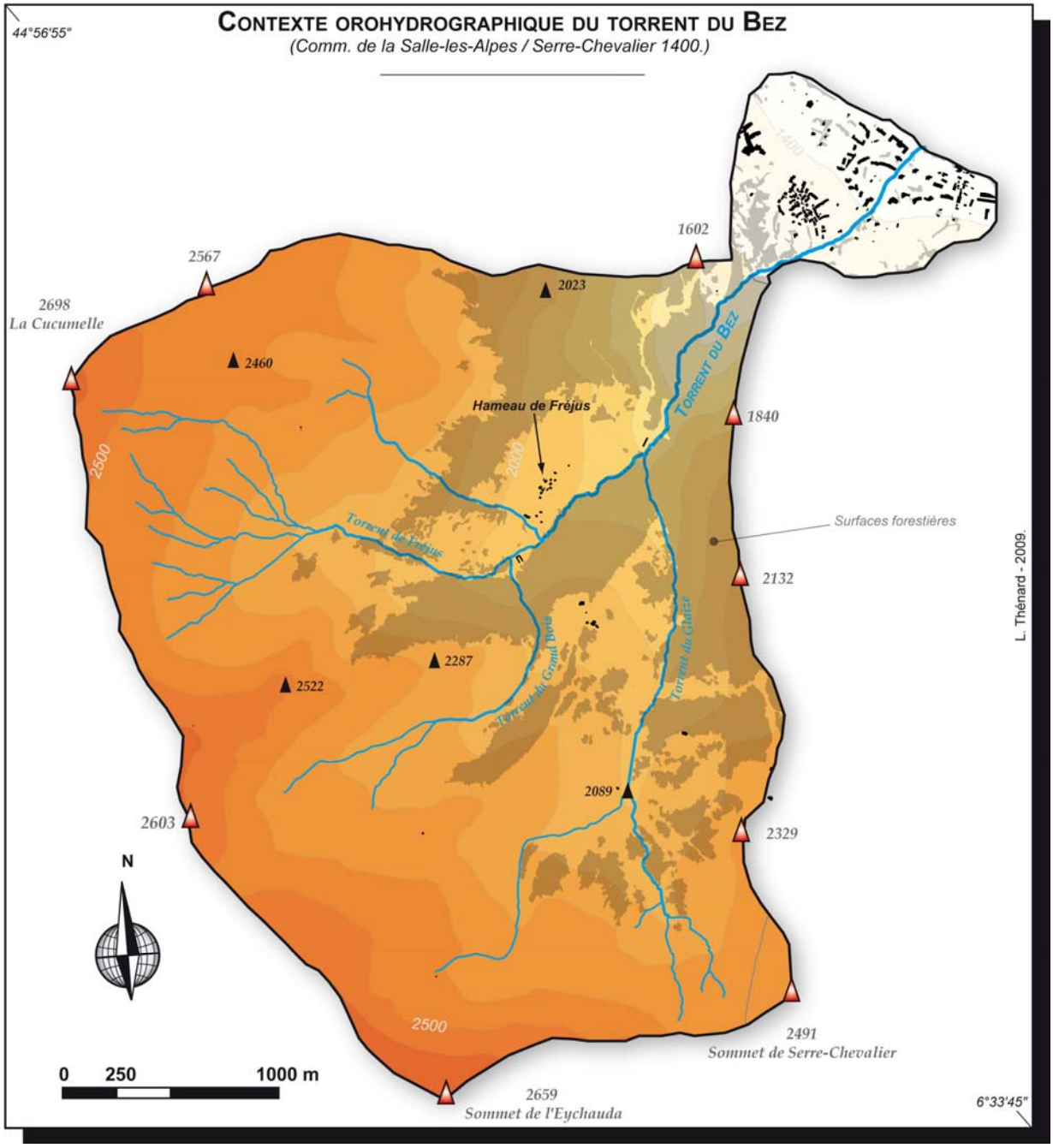


Figure 180 : Contexte géographique du torrent du Bez.

Le torrent du Bez présente le 4ième bassin versant de la vallée en terme de superficie *(± 10km²)* **[Cf. figure 180]**. A la faveur de conditions structurales locales favorables (Piegay et *al.*, 2000), ce torrent a également édifié un vaste cône détritique en fond de vallée *(84 ha)*. Représentant près de 40 % du territoire communal, sa gestion passée et actuelle est restée à la charge de la commune de La Salle-les-Alpes. Par ailleurs, l'essentiel du domaine skiable de Serre-Chevalier 1400 est implanté dans la section supérieure du torrent du Bez. Les dimensions de ce bassin torrentiel lui confèrent logiquement de modestes valeurs de pente moyenne, comparativement à la grande majorité des torrents guisanais. Avec un peu plus de 1000 mètres de dénivellation maximale du sommet de la Cucumelle *(2698 m)* à la racine du cône, le *relief-ratio* du Bez n'excède pas 26%.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

D'ailleurs, la déclivité moyenne du chenal principal est assez peu prononcée *(19,5%)*, même si il faut noter une inflexion sensible du torrent entre 1780 mètres et l'apex du cône torrentiel *(1550 m)*, où la pente moyenne atteint près de 30%. Par suite, le lit torrentiel s'écoule sur son cône jusqu'à la Guisane *(1390 m)* selon une inclinaison moyenne de l'ordre de 16%.

Les assises rocheuses du bassin versant du Bez sont majoritairement dominées par les séries calcaires, quartzitiques et schisteuses, qui s'inscrivent intégralement dans la zone briançonnaise. En dehors des reliefs sommitaux et des affleurements ponctuels, le substrat rocheux est généralement recouvert d'épaisses formations superficielles. Leur présence contribue à atténuer les pentes en "lissant" sensiblement les versants. Dans la section inférieure du bassin, d'épais placages morainiques quaternaires dominent très largement, notamment en rive gauche du chenal principal. Atteignant parfois 10 à 20 mètres d'épaisseurs, ces formations constituent de considérables réserves sédimentaires que le torrent du Bez est susceptible de mobiliser en cas de crues.

A ce sujet et alors qu'il n'est pas en charge de la gestion du bassin versant du Bez ni du cône, le service RTM avait souligné la dangerosité du site dès 1993. Un rapport réalisé dans le cadre de la révision du POS avait émis un avis défavorable à l'extension de l'urbanisation sans de sérieux travaux de correction dans le bassin versant (Perinet, 1993). Par ailleurs, nous avons démontré dans cette analyse que le torrent du Bez s'inscrivait parmi les torrents "composites non contraints" qui par définition, disposent de sources sédimentaires variées et abondantes. Généralement, ces torrents présentent une forte "potentialité" en terme d'aléa, même si l'occurrence des évènements paroxystiques se révèle très variable en fonction des organismes étudiés.

En tout état de cause, l'association des éléments morphostructuraux et des altitudes moyennes peu élevées ont favorisé les pratiques agro-pastorales *(ex : les alpages environnants le hameau de Fréjus)* et le développement d'épaisses forêts *(mélézins)*, localisées globalement entre 2300 et 1500 mètres d'altitude. L'ensemble présente donc l'aspect traditionnel d'un versant de moyenne montagne. **Ces paysages, la situation d'ubac du bassin et les faibles pentes constituaient autant d'éléments favorables pour faire de ce site le siège du développement de la station de Serre-Chevalier 1400.** Or, la création de la station touristique et l'urbanisation frénétique l'ayant accompagné ont complètement omis les règles de prudence immémoriales. Pour preuve, les premiers immeubles collectifs *(Concordes 1, 2 et 3)* ont été implantés au sein de la zone d'emprise torrentielle dans la zone distale du cône, donc à proximité immédiate du torrent. L'urbanisation s'est ensuite poursuivie de manière intensive et sur ce modèle durant les décennies suivantes *(1960's et 1970's)*.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

A l'instar de la plupart des torrents situés en rive droite de la Guisane, la menace éventuelle d'une crue torrentielle était d'autant moins prise en considération que ce torrent n'était pas réputé comme particulièrement actif ou dangereux. L'enquête historique tend même a renforcé ce sentiment puisque avant 1995, les crues peu dommageables de juin 1955 et de mai 1973 constituent les seules références.

Celle de 1973 a été la plus intense, mais dominée par le charriage, cette crue printanière n'a occasionné que des dommages limités et n'a en aucune façon remise en question la poursuite de l'urbanisation du cône torrentiel (Cf. 4.1.2.1). Une nouvelle fois, on mesure ici toute la fragilité de l'enquête historique s'agissant des cônes torrentiels récemment urbanisés. Toutefois, force est de constater que la vulnérabilité n'a fait que croître jusqu'au milieu des années 1990, à mesure que Serre-Chevalier 1400 se développait.

Le cône de déjection du torrent du Bez rassemble à lui seul un grand nombre de choix pour le moins discutables, qui ont aboutis à une situation d'extrême vulnérabilité des activités ou des infrastructures anthropiques vis-à-vis des aléas naturels. Alors que ce torrent a édifié l'un des plus grands cônes de la vallée, son urbanisation et la stratégie de développement se sont réalisées en excluant totalement le milieu naturel et ses exigences intrinsèques. A l'évidence et dans ce cas, l'exiguïté du fond de vallée ne peut raisonnablement être évoquée pour justifier cette situation de vulnérabilité. La simple observation de la cartographie du cône de déjection laisse même apparaître une situation assez ubuesque, puisqu'**il ressort que les secteurs les plus éloignés du chenal torrentiel actuel et/ou des versants, donc les moins exposés aux aléas naturels, sont également les moins densément urbanisés**. Autrement dit, le cône du torrent du Bez est emblématique des dérives ayant accompagné l'ambiance fiévreuse et parfois irréfléchie de la reconversion économique. Ce qui en fait aujourd'hui le site de Serre-Chevalier probablement le plus concerné par le risque torrentiel.

Un tel degré d'exposition n'a d'ailleurs pas tardé à se concrétiser par un évènement exceptionnellement intense, faisant entrer le risque torrentiel dans une dimension jusqu'alors inconnue dans la vallée, et plus largement dans le Briançonnais *(en dehors du Queyras)*.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

4.3.2.1. La crue du 24 juillet 1995 : Serre-Chevalier 1400 s'impose comme le site le plus assujetti au risque torrentiel en Guisane.

Le 24 juillet 1995, de violents orages se sont déclenchés en fin de journée sur l'ensemble du Briançonnais, provoquant un grand nombre de coulées de débris et de laves torrentielles. L'intensité et l'extension du phénomène météorologique s'expriment, par exemple, avec les 200 impacts de foudre relevés entre 18h45 et 21h45. A cette occasion, la station météorologique de Briançon a enregistré 31,4 mm de précipitations en quelques heures, soit environ 90% des cumuls mensuels moyens du mois de juillet. Au lendemain de l'évènement et en raison des spécificités du milieu montagnard, les estimations avançaient même des valeurs de l'ordre de 100 mm en 2 heures dans les bassins torrentiels latéraux (Lahousse et Salvador, 1998a).

En Guisane, trois crues torrentielles ont été recensées pour cette seule soirée du 24 juillet 1995. Outre, la lave torrentielle émise par le torrent de Sainte-Elisabeth, peu dommageable mais ayant tout de même nécessité de relever le Pont–levis, le torrent de Peytavin et surtout celui du Bez ont généré des laves torrentielles dévastatrices sur leurs cônes de déjection. De manière providentielle, ces débordements n'ont pas fait de victimes *(en dehors de 3 blessés légers)* mais les dégâts se sont révélés considérables, à la mesure des enjeux exposés. En Guisane, le traumatisme du 09 juillet 1981 se répétait une nouvelle fois dans des proportions encore plus importantes. Ces nouveaux débordements ont démontré de manière flagrante qu'en terme de mesures concrètes portant sur la prévention du risque torrentiel, le retentissement de la crue de 1981 s'était presque uniquement cantonné au seul cône du Verdarel. **En 1995, les crues simultanées du Peytavin et du Bez ont rappelé que qu'elle que soit sa réputation ou sa nature, une trop grande proximité géographique avec un torrent est toujours source de risque à court, moyen ou long terme.**

Avant de poursuivre notre analyse, signalons que plusieurs études ont été réalisées à la suite de cet évènement et que nous nous limiterons donc à synthétiser les principales réflexions ou conclusions de ces travaux (Lahousse et Salvador, 1998a ; 1998b ; 1999). Notre objectif est plutôt d'étudier les conséquences de ces débordements sur le cône du Bez dans la gestion du risque durant la période 1995-2009.

Sur le cône de déjection, la crue du Bez a débuté vers 20h30, se manifestant dans un premier temps par des débordements limoneux. Moins d'un quart d'heure plus tard, une lave à blocs d'un volume estimé à 100 000 m^3 a envahi la section supérieure du cône, provoquant les dégâts les plus importants. Au lendemain de la crue, une expertise géomorphologique a été menée dans le bassin versant. Cette dernière a démontré que l'essentielle de la charge sédimentaire mobilisée le 24 juillet avait été prélevée dans la section inférieure du bassin versant entre 1850 et 1700 mètres d'altitude, en particulier dans les dépôts morainiques de la rive gauche du chenal principal.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Si ces formations ne montraient pas de signes particuliers d'instabilité avant cet évènement, la cartographie géomorphologique du bassin versant *(1/5000^{ième})* finalisée une année auparavant avait mis en évidence un environnement propice à la formation de laves torrentielles (Lahousse, 1994 ; Lahousse et Salvador, 1999.).

L'interprétation des témoignages morphologiques dans le haut bassin versant laisse supposer que l'orage à l'origine de la crue était centré au sud-est du haut bassin versant (Lahousse et Salvador, 1998a). Ceinturé et bloqué par les reliefs sommitaux constitués des crêtes de la Balme, de Roche Gauthier et de Serre-Chevalier, la convection imprimée à la cellule orageuse a provoqué la décharge brutale *(grêle et pluie)* de plusieurs dizaines de millimètres de précipitation. Les premières manifestations de la crue étaient perceptibles dans les torrents du Grand Bois et de Glaize *(> 2200 m)* avec une succession de secteurs incisés et de zones d'atterrissement, ce qui témoigne de relais sédimentaires accompagnant la montée en compétence de ces affluents. Dans ces hauts vallons, la majeure partie de la charge sédimentaire provenait des lits torrentiels et non des versants. Toutefois, les volumes mobilisées étaient déjà conséquents comme en témoigne la forte aggradation *(blocs dominants)* et des dommages occasionnés à la bergerie, située juste en aval de la jonction entre les torrents de Fréjus et du Grand Bois **[Cf. figure 181]**.

Toutefois, 80% des 100 000 m^3 déposés sur le cône de déjection ont pour origine la section inférieure du bassin versant, globalement entre la confluence du torrent de Glaize avec le chenal principal du Bez *(± 1850m)* et l'apex du cône torrentiel *(1550m)*. Dans ce secteur, le remaniement du lit torrentiel a été très intense, voire même intégral, puisque son incision a oscillé entre 5 et 15 mètres. L'ampleur des évolutions morphodynamiques est probablement à relier avec la rupture de pente d'origine structurale qui caractérise cette zone. A partir de la cote 1850 mètres, la pente moyenne passe effectivement de 20 à 30%. Le 24 juillet 1995, la purge sédimentaire du lit a été telle que le substrat rocheux est ressorti à plusieurs reprises à l'affleurement. Ainsi et dans cette zone, le lit du Bez est désormais régulièrement ponctué de seuils quartzitiques ou schisteux. Par ailleurs, les dépôts morainiques quaternaires de la rive gauche ont constitué la source d'alimentation principale de la lave torrentielle.

De fait, la suspicion de forte potentialité est depuis établie comme un fait incontestable. Cela, au moins sur le plan scientifique car nous verrons qu'il n'est pas certain que les évolutions réglementaires actuelles et/ou les dispositions concrètes de prévention soient réellement à la mesure du risque pesant sur le cœur de la station de Serre-Chevalier 1400.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

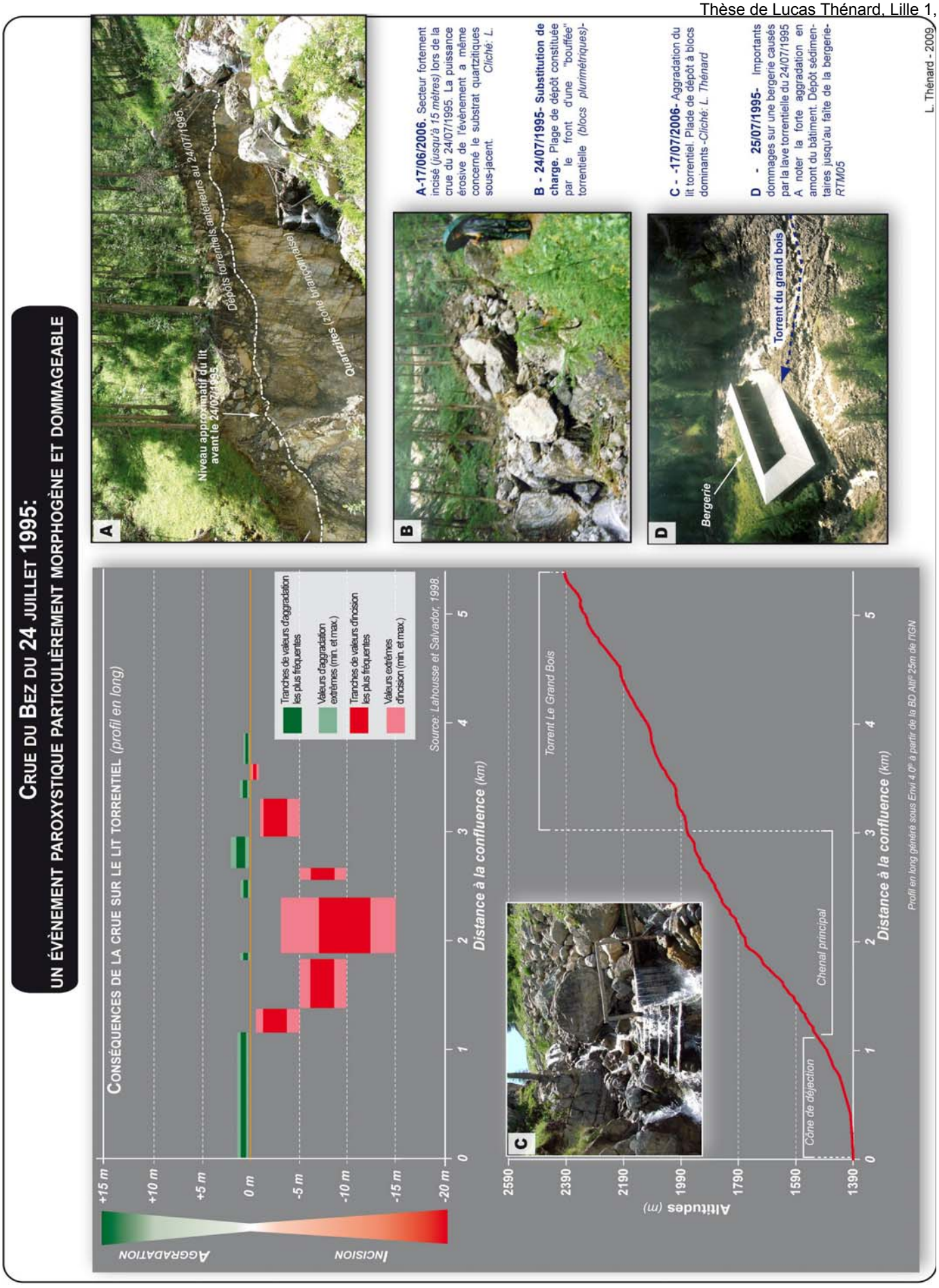


Figure 181 : Crue du Bez du 24 juillet 1995 : un évènement paroxystique morphogène et dommageable.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Lors de cet évènement et sur le cône de déjection, les débordements se sont réalisés selon deux grands axes. Le premier et le plus important en terme de surface et de dommages s'inscrit dans l'axe du chenal torrentiel et s'est manifesté par un envahissement ayant essentiellement concerné la rive gauche. Le deuxième axe, plus secondaire, s'est constitué à la faveur d'un coude prononcé du lit dans la zone apicale du cône (Lahousse et Salvador, 1998a). Dans un premier temps, des flots boueux ont envahi le cône du Bez selon les deux axes précités en déposant, une charge sédimentaire limoneuse et particulièrement dense sur près de 290 000 m² ; c'est-à-dire sur plus du tiers de la surface *(± 35%)* d'un cône détritique en grande partie hérité.

Si il est peu surprenant que les bâtiments à vocation touristique récents aient été largement concernés par ces premiers débordements, l'envahissement du hameau du Bez semble plus atypique et témoigne du caractère exceptionnellement intense de cette crue. En effet, malgré une présence attestée depuis plusieurs siècles, aucune référence historique n'a été retrouvée évoquant des débordements torrentiels dommageables pour ce village.

Très rapidement, ce premier épisode a été suivi d'une importante lave torrentielle "à blocs", dont les digitations ont globalement pris des orientations identiques aux épandages limoneux précédents, de part et d'autre du chenal du Bez mais sur une surface tout de même plus restreinte *(80 000m²)*. Fort heureusement, seules quelques habitations situées dans la partie occidentale du hameau ont été touchées par des débordements périphériques **[Cf. figure 182]**. Déjà considérables, les dégâts auraient pu être encore plus importants car certains blocs déposés dans la zone apicale du cône atteignaient 1 m^3 *(entre 2 et 3 tonnes en fonction de la densité)*.

En définitive, et même s'il aurait pu être bien plus lourd, le bilan de ces débordements du 24 juillet 1995 se révèle à la mesure de la vulnérabilité sur ce cône de déjection. En dehors des dégâts sur le domaine skiable de Serre-Chevalier 1400 et sur la voirie, les particuliers ont subi l'essentiel des dommages matériels : 40 bâtiments sinistrés dont 25 habitations, et 45 véhicules détruits ou sérieusement endommagés. Par ailleurs, face à un phénomène naturel aussi bref, intense et surtout "inattendu", le traumatisme psychologique a fortement ébranlé certains sinistrés. Le coût de cette crue a largement dépassé tout ce que la vallée avait connu comme évènements dommageables liés aux torrents. Même le montant de la crue du Verdarel en juillet 1981 (±1 M€) fait pâle figure comparativement aux 11 MF hors taxes[122] de la crue du Bez de 1995 pour les travaux et réparations immédiats *(déblaiement et réfection des axes de communication, réhabilitation du réseau d'eau potable et du domaine skiable, etc.)*, hors domaine privatif.

[122] Ce qui équivaut aujourd'hui à **2,02 M€ H.T** *(conversion en euros constants 2007)* [Source : Insee, 2009].

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

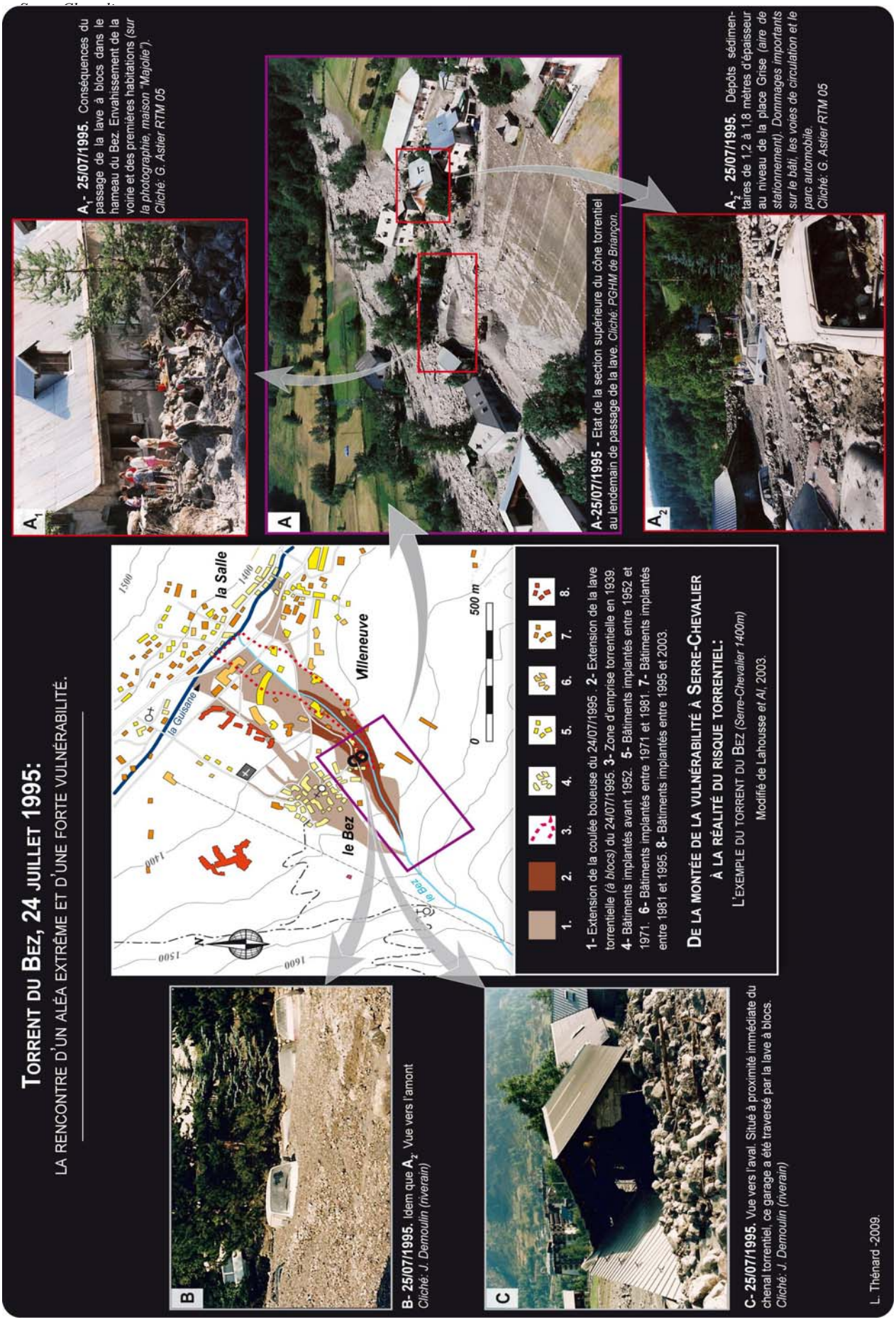


Figure 182 : Torrent du Bez, 24 juillet 1995 :
la rencontre d'un aléa extrême et d'une forte vulnérabilité.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

4.3.2.2. *Éléments de réflexion sur la gestion du risque torrentiel sur le cône torrentiel du Bez entre 1995 et 2009.*

Evidemment après une telle crue, de nombreuses discussions se sont engagées pour tenter de comprendre cet évènement paroxystique pour un torrent à priori peu coutumier du fait. Les premiers débats se sont engagés sur l'éventuelle responsabilité du domaine skiable implanté dans le bassin versant du Bez. Or, les études réalisées dans les mois suivants ont démontré que si les défrichements opérés pour la réalisation des piste de ski ont peut-être légèrement accentués la concentration des flux liquides dans le haut bassin, l'essentielle de la charge sédimentaire ayant alimenté la lave à blocs provenait en réalité de la section inférieure du bassin (Lahousse et Salvador, 1998a ; 1999). **Par ailleurs, cette crue apparaît assez exceptionnelle dans son intensité à l'échelle contemporaine mais l'ampleur des dommages sur le cône tient surtout à la proximité actuelle des bâtiments et des infrastructures avec le torrent.**

Dans un contexte de révision de la politique nationale sur la prévention des risques naturels *(loi "Barnier" de 1995)*, l'une des conséquences immédiate de cette crue a été l'application du principe de précaution et, en conséquence, **le gel de toute urbanisation dans la zone touchée par les débordements du 24 juillet 1995.** Ces dispositions légales sont devenues effectives à partir de 1997 dans le cadre de l'établissement du Plan d'Occupation des Sols *(POS)*.

Dans les mois suivants la crue, quelques interventions d'urgence ont été effectuées par les services techniques municipaux **[Cf. figure 183]**. L'objectif était de réduire l'impact des débordements torrentiels sur le cône. Ces travaux ont essentiellement consisté au curage du lit torrentiel puis à la réalisation d'enrochements *(1,5 -2,5 m de hauteur)* ou de terrassements. Le rôle principal alloué à ces aménagements, était de stabiliser les berges fortement éprouvées par la crue de juillet 1995 et de "canaliser" le torrent sur le cône. En rive gauche, les enrochements maçonnés remontent jusqu'à la racine du cône pour limiter la recharge sédimentaire provenant de la forte incision du lit et des formations morainiques héritées. Enfin, une petite digue renforcée par quelques blocs a été érigée en rive gauche du torrent, immédiatement en amont du hameau du Bez.

En comparaison des volumes mobilisés le 24 juillet 1995, des dommages occasionnés et du maintien d'une forte vulnérabilité sur le cône torrentiel, ces mesures de protection apparaissent finalement très modestes, et sans aucun doute insuffisantes pour que ne se réitère un évènement analogue. En réalité, l'implantation d'une digue et la limitation de l'urbanisation constituent les seules véritables mesures de prévention. Sur ce site, la gestion du risque torrentiel post-1995 fait ressortir une logique privilégiant, dans un premier temps, la protection des populations permanentes.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Dans la zone distale du cône, le chenal du Bez n'a pas fait l'objet d'un recalibrage *(ou reprofilage)* et les enrochements ne pourront éviter les débordements, même pour une crue bien inférieure *(volume et intensité)* à celle de 1995. **Dans cette zone et malgré les ouvrages mis en place, l'immédiate proximité des bâtiments à vocation touristique rend la moindre crue potentiellement dommageable.**

A l'évidence, l'importance des enjeux économiques sur le cône a considérablement influencé la gestion du risque après 1995. Les responsables de Serre-Chevalier 1400 et de la commune *(La Salle-les-Alpes)* ont été partagés sur la stratégie à adopter. Pourtant conscients d'une vulnérabilité qu'il n'est pas *(ou plus)* possible de nier, mais à défaut de choix alternatifs et innovants, les acteurs locaux ont été confrontés à l'antagonisme classique opposant la prévention des risques naturels et le développement économique. Or, de l'aveu même d'un certain nombre de protagonistes que nous avons pu rencontrer, le gel brutal de l'urbanisation sur le cône après des années de "laisser faire" a été perçu comme la confirmation de la contrainte qu'exerce la prévention du risque torrentiel sur le développement. Pourtant, et comme nous l'avons démontré auparavant, ces questions apparaissent en réalité étroitement liées à moyen et long terme.

En tout état de cause, l'évènement du 24 juillet 1995 aura finalement eu plus de répercussions concrètes sur le cône du Verdarel que sur celui du Bez [Cf. 4.2.3]. En effet, la frilosité des décisionnaires locaux à engager des actions de prévention risquant de nuire à l'image de la station touristique, s'est traduite par une certaine léthargie de la gestion du risque. D'ailleurs, et jusqu'à très récemment *(juillet 2009)*, l'état de vétusté des enrochements à la racine du cône témoigne d'un manque de détermination à s'engager durablement dans une logique de réduction de la vulnérabilité. De la même manière, en tant qu'organisme consultant, le service RTM des Hautes-Alpes avait proposé dès février 1996, un programme de correction global du torrent pour un coût d'environ 1 M d'€ (Lahousse et Salvador, 1999). Jugé trop coûteux et probablement trop visible, ce projet est resté sans suite.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

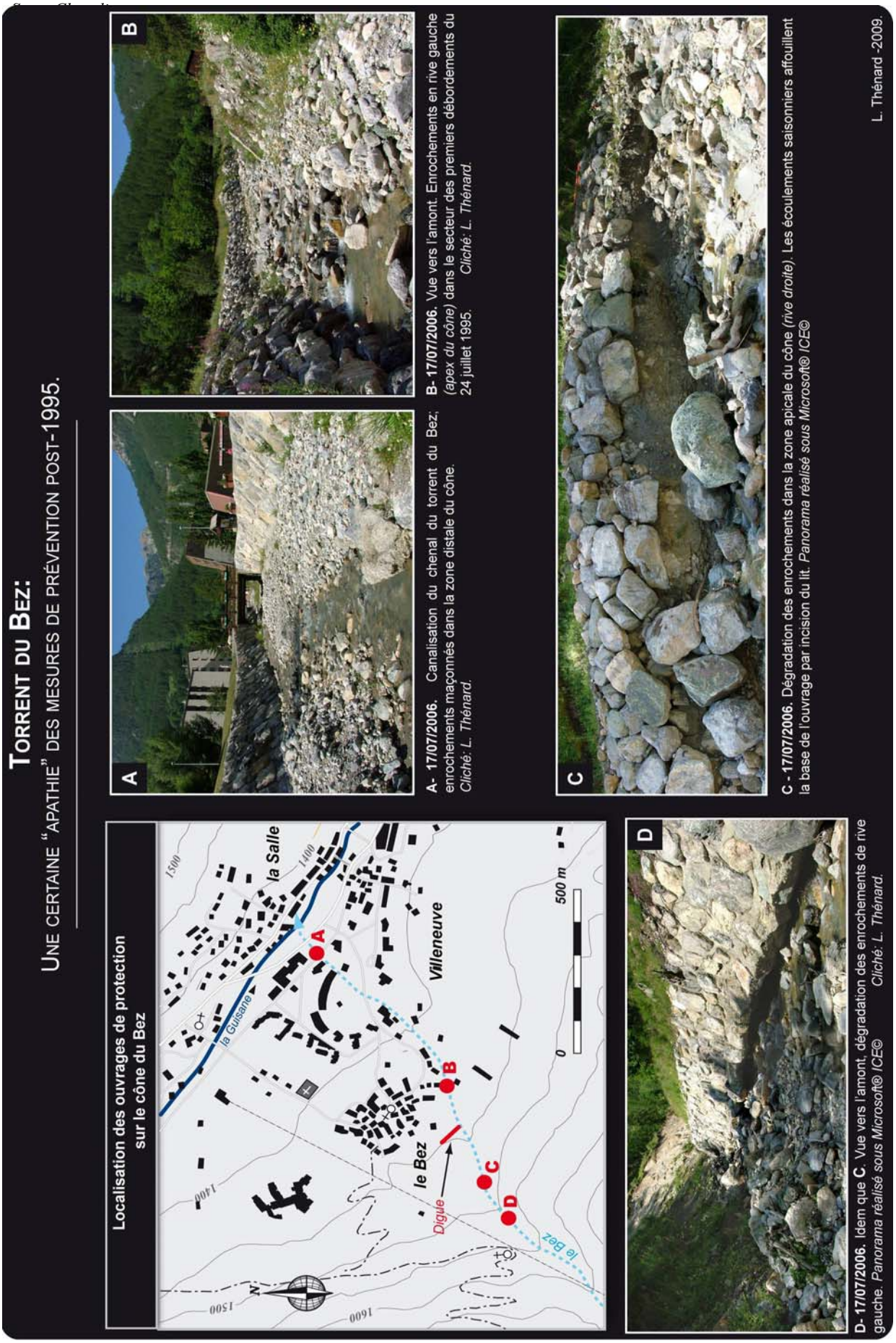


Figure 183 : Une certaine "apathie" des mesures de prévention post-1995.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Si les débordements de juillet 1995 ont été les plus dommageables et les plus coûteux de toute la période contemporaine dans la vallée, ils n'ont pas pour autant atténué les convoitises sur le cône du Bez. Pourtant, les connaissances scientifiques accumulées sur ce torrent, et les faits, ont démontré que ce torrent a toujours été prédisposé à des phénomènes paroxystiques de forte intensité de faible occurrence (Lahousse, 1994 ; Lahousse et Salvador, 1998 a et b ; Lahousse et Salvador, 1999). Sur ce dernier point, les dimensions du bassin versant impliquent nécessairement une certaine inertie des réponses hydro-géomorphologiques. Seul un évènement déclencheur extrême *(orage violent et prolongé, mouvement de terrain massif)* peut entraîner des processus torrentiels paroxystiques.

Or, présentée comme fortuite et aussi exceptionnelle qu'imprévisible, cette crue a très rapidement été reléguée au rang d'évènement anecdotique ne devant pas entraver la poursuite du développement de la station. Pour preuve, des autorisations de construire ont été accordées sur ce cône dès 1999, même en bordure immédiate de la zone des débordements de 1995. Dès 2001, les deux plus imposantes résidences touristiques de la vallée étaient érigées sur le cône torrentiel du Bez *(Club Méditerranée et Pierre & Vacances)* **[Cf. figure 184]**.

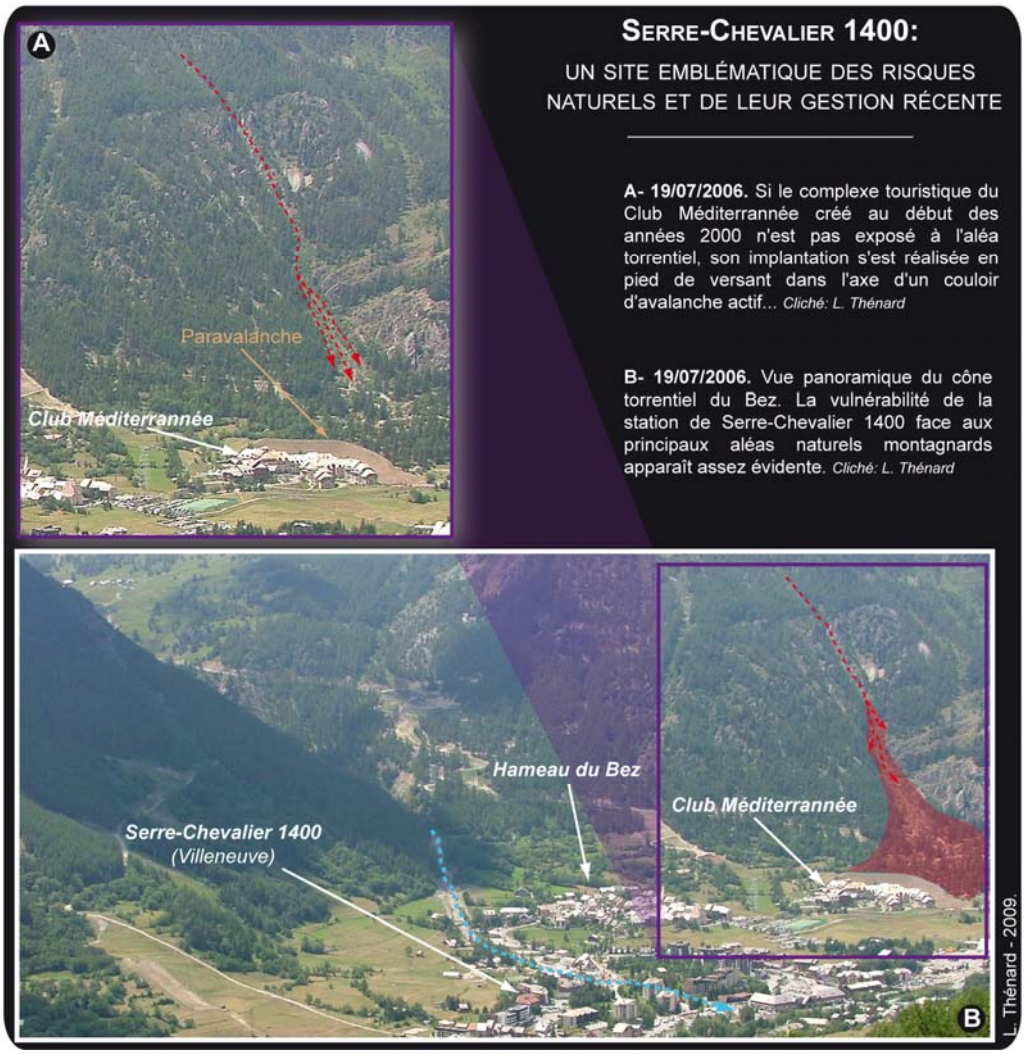


Figure 184 : Serre-Chevalier 1400 : un site emblématique des risques naturels et de leur gestion récente.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

La création du vaste *Club Méditerranée,* pouvant accueillir jusqu'à 1450 occupants, est a probablement été l'installation la plus décriée. En effet, ce dernier est certes implanté à l'écart de la menace torrentielle, mais dans l'axe d'un couloir d'avalanches connu et répertorié **[Cf. figure 185]**.

Les premières demandes d'implantation avaient toutes reçues des avis défavorables de la part des services déconcentrés de l'État *(DDE, DDAF, RTM)*. Mais face à l'insistance de certains responsables locaux et à l'importance des éventuelles retombées socio-économiques, ce complexe touristique a finalement vu le jour. La mise en sécurité, théorique, du bâtiment a nécessité la mise en place d'un imposant paravalanche *("tourn-paravalanche")*.

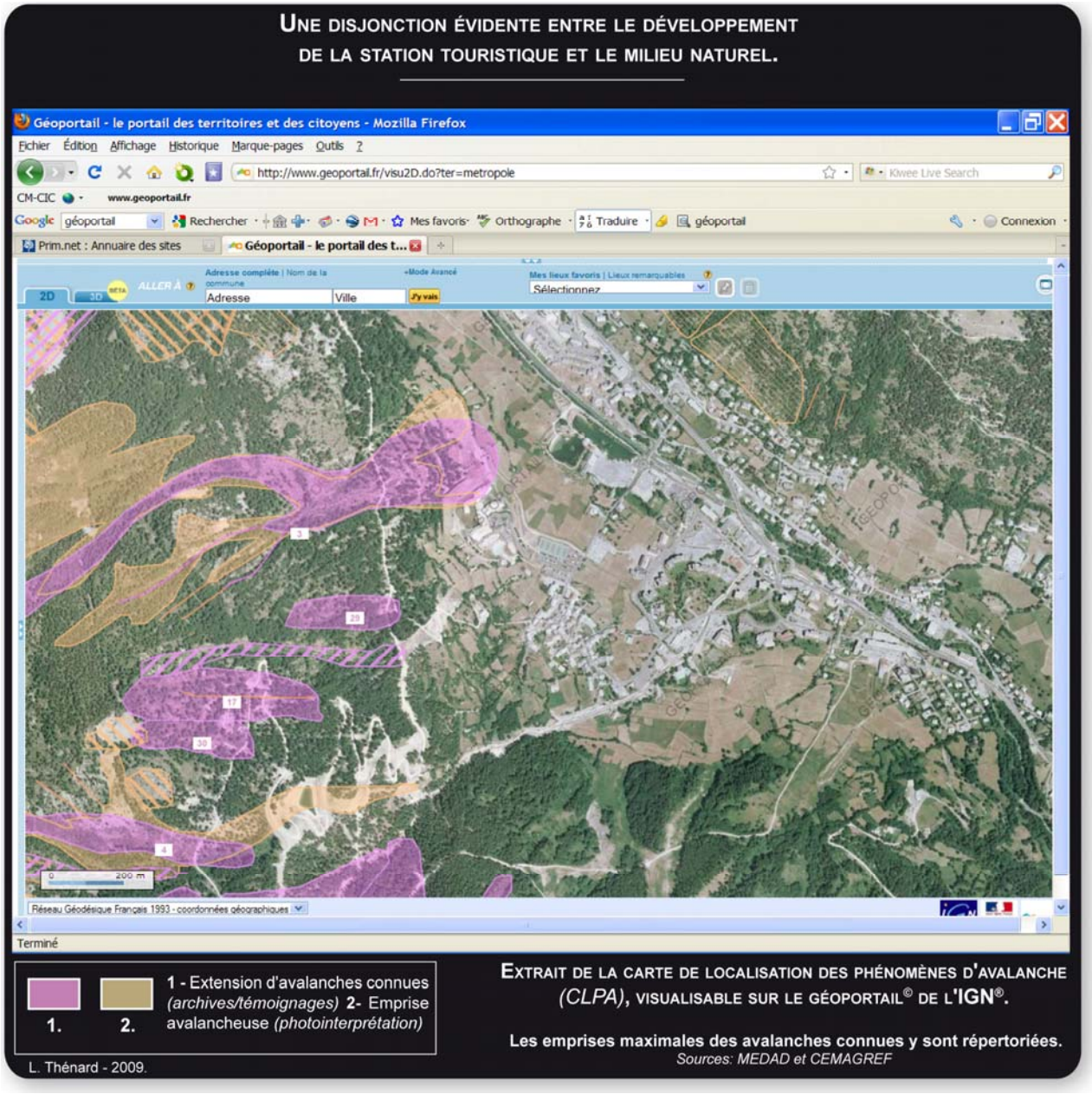


Figure 185 : une disjonction évidente entre le développement de la station touristique et le milieu naturel.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Ainsi, entre 1999 et 2001, trois nouveaux complexes touristiques ont été implantés sur le cône du Bez : le Club méditerranée, la résidence "L'Alpaga" *(Pierre & Vacances)*, et les 4 immeubles *(Automne, Hiver, Printemps, Été)* composant "Le Hameau du Bez". **[Cf. figure 186]**. Malgré nos demandes et nos recherches, il a été très difficile de déterminer la valeur, même approximative, de ces bâtiments. A l'évidence, la thématique du risque torrentiel reste un sujet particulièrement délicat sur ce secteur.

Au final et alors que la vulnérabilité sur ce cône est restée équivalente à celle de 1995, 5 années auront suffi pour que s'estompe, localement, la notion de risque torrentiel qui s'était pourtant imposée comme une évidence. Face à l'importance des enjeux socio-économiques, et donc politiques, l'intégration spontanée de la prévention du risque torrentiel dans le développement de Serre-Chevalier 1400 relevait presque obligatoirement de la chimère, au moins telle qu'elle est encore perçue.

Toutefois, le caractère obligatoire du Plan de Prévention des Risques Naturels *(PPRN)* prescrit le 11 juillet 2001, et les probables restrictions qui s'annonçaient, ont finalement amené les responsables municipaux à repenser la gestion du risque torrentiel et à reprendre en partie des solutions initialement proposées. **Dans le cas du Bez, face à l'attentisme qui s'était instauré après 1995, la nécessité d'une mise en conformité avec la réglementation nationale encadrant les risques naturels s'est avérée indéniablement opportune.** Malgré des réticences tenaces, la commune de la Salle-les-Alpes s'est alors plus franchement engagée dans le processus d'élaboration du PPR.

Évidemment et en dehors d'une authentique volonté de limiter les risques vitaux, l'objectif à peine dissimulé est, aussi et surtout, d'obtenir la levée partielle des mesures d'inconstructibilité "paralysant" le cœur de Serre-Chevalier 1400 depuis juillet 1995. Et pour cause, car si le cône du Bez apparaît comme le site sur lequel le risque torrentiel est actuellement le plus élevé de la vallée, cela tient essentiellement à l'importance des enjeux qui y sont concentrés. Grâce à une enquête de terrain et au SIRS[123] *(SIRTOS)* mis en place pour cette étude, nous avons pu évaluer que la valeur du parc immobilier touché par les débordements de 1995 s'élève approximativement et actuellement entre 100 et 150 M d'€[124] ! Sans même évoquer les commerces et les emplois concentrés à Villeneuve-la-Salle, ces montants expliquent en grande partie l'inquiétude que peut susciter toute contrainte réglementaire.

[123] SIRS : Système d'Informations à Références Spatiales.

[124] Cette évaluation a été réalisée en croisant les informations collectées auprès des agences immobilières basées à Villeneuve-la-Salle. La valeur moyenne prise en considération pour Serre-Chevalier 1400 est actuellement estimée entre 2500 et 3000 €/m².

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

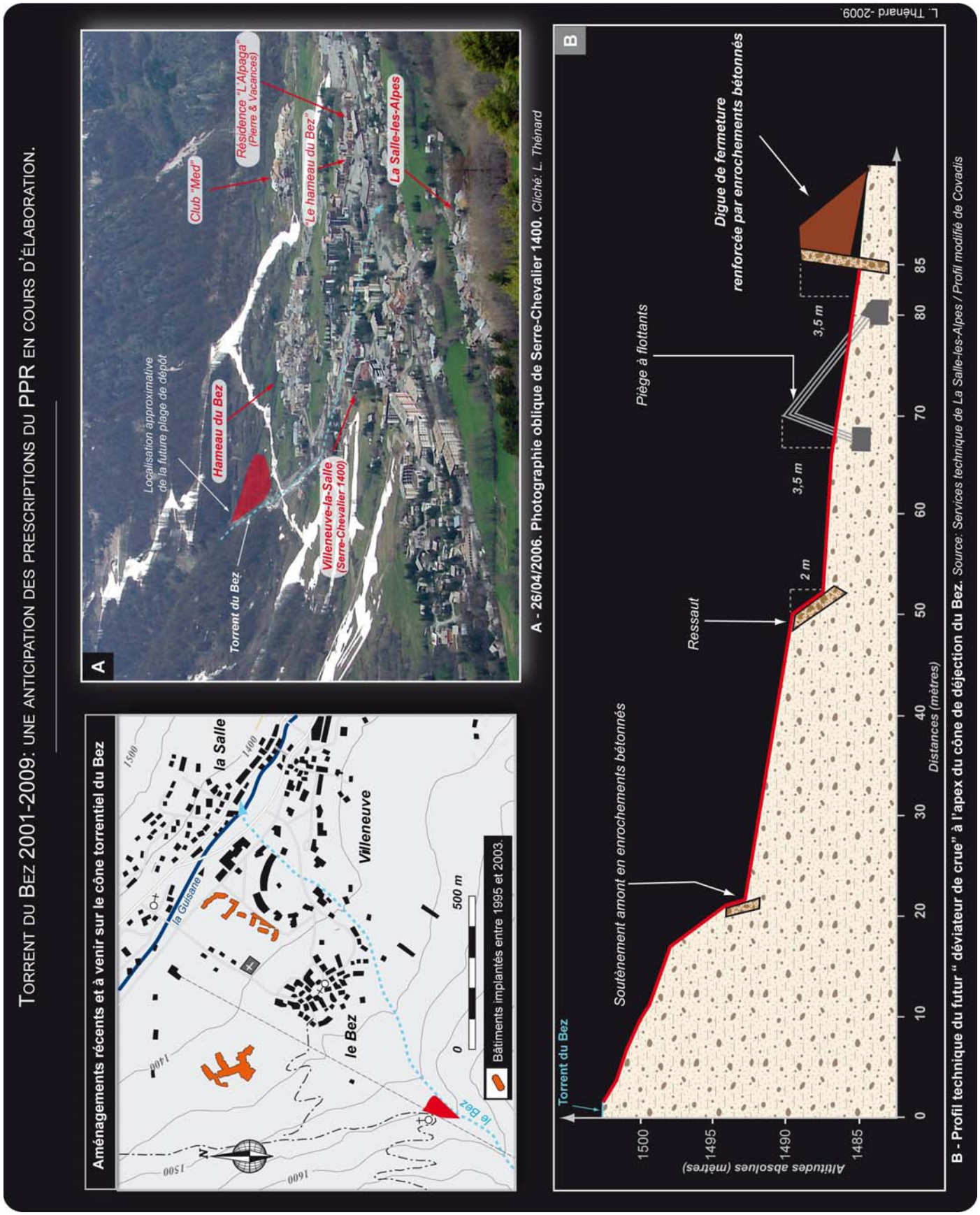


Figure 186 : Torrent du Bez 2001-2009 :
une anticipation des prescriptions du PPR en cours d'élaboration.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Suite aux premières conclusions peu complaisantes transmises par le service instructeur du PPR *(DDE des Hautes-Alpes)*, la commune a entrepris d'anticiper certaines prescriptions ou recommandations en espérant un assouplissement réglementaire. Sous une autre forme, cette stratégie de prévention des risques n'est pas sans rappeler celle menée sur le cône du Verdarel durant la période récente [Cf. 4.2.4.2]. D'ailleurs, l'un des premiers projets à avoir été adopté est l'implantation d'un ouvrage de rétention à l'apex du cône de déjection. Depuis environ deux décennies et à l'image de celle réalisée sur le Verdarel, ces plages de dépôts sont proposées de manière quasi systématique. Cet ouvrage, surnommé "déviateur de crue" devrait être implanté en rive gauche du torrent du Bez entre 1505 et 1480 mètres d'altitude environ, pour une capacité de retenue maximal de l'ordre de 15 000 à 20 000 m^3. Un piège à flottants de 3,5 mètres de haut viendra compléter la plage de dépôt dans sa section aval *(source : services techniques municipaux de La Salle-les-Alpes)*. Le coût de la plage de dépôt devrait avoisiner 90 000 € H.T.

A noter que la phase préparatoire de ces aménagements a entraîné l'utilisation de volets réglementaires récents, relatifs aux procédures d'expropriation et d'acquisitions à l'amiable *(Art. L561-3/2003 du code de l'Environnement et Décret n°2005-29 du 12 janvier 2005[125])*. Assez exceptionnelle, l'application de la législation récente sur la prévention des risques naturels constitue une première à Serre-Chevalier. Toutefois, leur emploi a été limité sur le cône du Bez à des terrains non bâtis. Pour autant, par son caractère novateur et relativement contraignant, cette procédure s'est révélée assez ardue dans son application en raison des réticences et de la défiance qu'elle suscitait chez les particuliers concernés. Essentiellement géré par les services techniques municipaux de la Salle-les-Alpes et la préfecture des Hautes-Alpes, ce dossier s'est soldé par 8 acquisitions à l'amiable et 2 expropriations. Même si ces démarches apparaissent rarement populaires, l'information et la concertation entre les décisionnaires et les riverains ont démontré qu'elles pouvaient être progressivement acceptées par la grande majorité de la population. Gageons que ce précédent pourra être largement étendu à d'autres secteurs fortement exposés de la vallée, notamment sur le bâti. Il s'agit probablement aujourd'hui d'une des solutions la plus efficace et surtout la plus durable pour une diminution sensible de la vulnérabilité à Serre-Chevalier. Pour l'instant, elle demeure la moins usitée.

En complément, des travaux de terrassements et de réhabilitation des enrochements le long du torrent sont également prévus. L'ensemble du dispositif devrait être opérationnel en 2010 pour un montant global estimé à 330 000 € H.T. **Suite à l'approbation du PPR le 06 janvier 2009**, les travaux ont été franchement engagés durant l'été 2009 et se poursuivent encore actuellement.

[125] Décret n°2005-29 du 12 janvier 2005 modifiant le décret n° 95-1115 du 17 octobre 1995 relatif à l'expropriation des biens exposés à certains risques naturels majeurs menaçant gravement des vies humaines ainsi qu'au fonds de prévention des risques naturels majeurs.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Concernant ce document et en raison des investigations récentes entreprises par la commune, la cartographie réglementaire approuvée et applicable dès 2009 a sensiblement évolué depuis les premières ébauches, et plus encore depuis le POS établit en 1997. **[Cf. figure 187]**

Globalement, l'axe principal des débordements de 1995 *(chenal torrentiel)* a été repris pour la délimitation des zones rouges inconstructibles. En revanche, le hameau du Bez en est presque intégralement exclu *(à l'exception de 2 bâtiments)*, intégrant désormais une zone bleue soumise à prescription. A l'évidence, les quelques aménagements réalisés au lendemain des évènements de 1995 et surtout les travaux entamés actuellement ont été jugés aptes à préserver le hameau de la plupart des crues torrentielles *(source : DDE des Hautes-Alpes)*, ce qui sur ce secteur n'apparaît pas aberrant.

Toutefois, les évolutions réglementaires les plus sensibles et probablement les plus discutables concernent la zone distale du cône de déjection, là où se concentrent l'essentiel des enjeux. Rappelons que dans ce secteur, les bâtiments ont quasiment tous une vocation touristique *(logements, commerces, infrastructures du domaine skiable, etc.)* et, pour la plupart, ils ont été établis au cours des 5 dernières décennies. Par ailleurs, dans un rayon d'une centaine de mètres de part et d'autre du chenal torrentiel, tous ces bâtiments ont été touchés à des degrés divers par les débordements limoneux de 1995.

A l'instar de ce que nous évoquions pour le projet de PPR du Verdarel, les coupures cartographiques de bâtiments restent fréquentes sur le cône du Bez. On dénombre pas moins de 7 bâtiments appartenant simultanément aux zones rouges *(R15)* et bleues *(B17 et B18)*, ce qui évidemment ne simplifie pas l'application des directives ou des recommandations, ni leur compréhension auprès des populations concernées. Une nouvelle fois, il est difficilement concevable de pourvoir prédire avec une telle précision qu'un bâtiment puisse être touché différemment par un même aléa. A l'évidence, ces éléments résultent d'une stricte reprise cartographique des débordements de 1995.

D'ores et déjà, ces premières constatations reflètent une des principales difficultés rencontrées dans l'élaboration des PPR actuels. En effet, la cartographie réglementaire ne semble pas parvenir à se défaire d'une réalité connue, prise comme référence, sans pouvoir envisager une menace potentiellement plus importante. A notre connaissance, le zonage réalisé sur le cône du Bez est essentiellement basé sur une démarche diachronique, mais aucune étude scientifique n'a été requise pour évaluer la "potentialité" du torrent du Bez. Même si l'évènement de juillet 1995 semble exceptionnel, rien ne permet aujourd'hui d'affirmer que ce torrent n'est pas capable de générer une crue encore plus importante, et donc plus dommageable, que celle de 1995. En conséquence, et même si ce PPR se présente comme une avancée importante sur ce secteur, la prévention du risque torrentiel demeure pour l'instant "calibrée" pour une crue équivalente au 24 juillet 1995.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

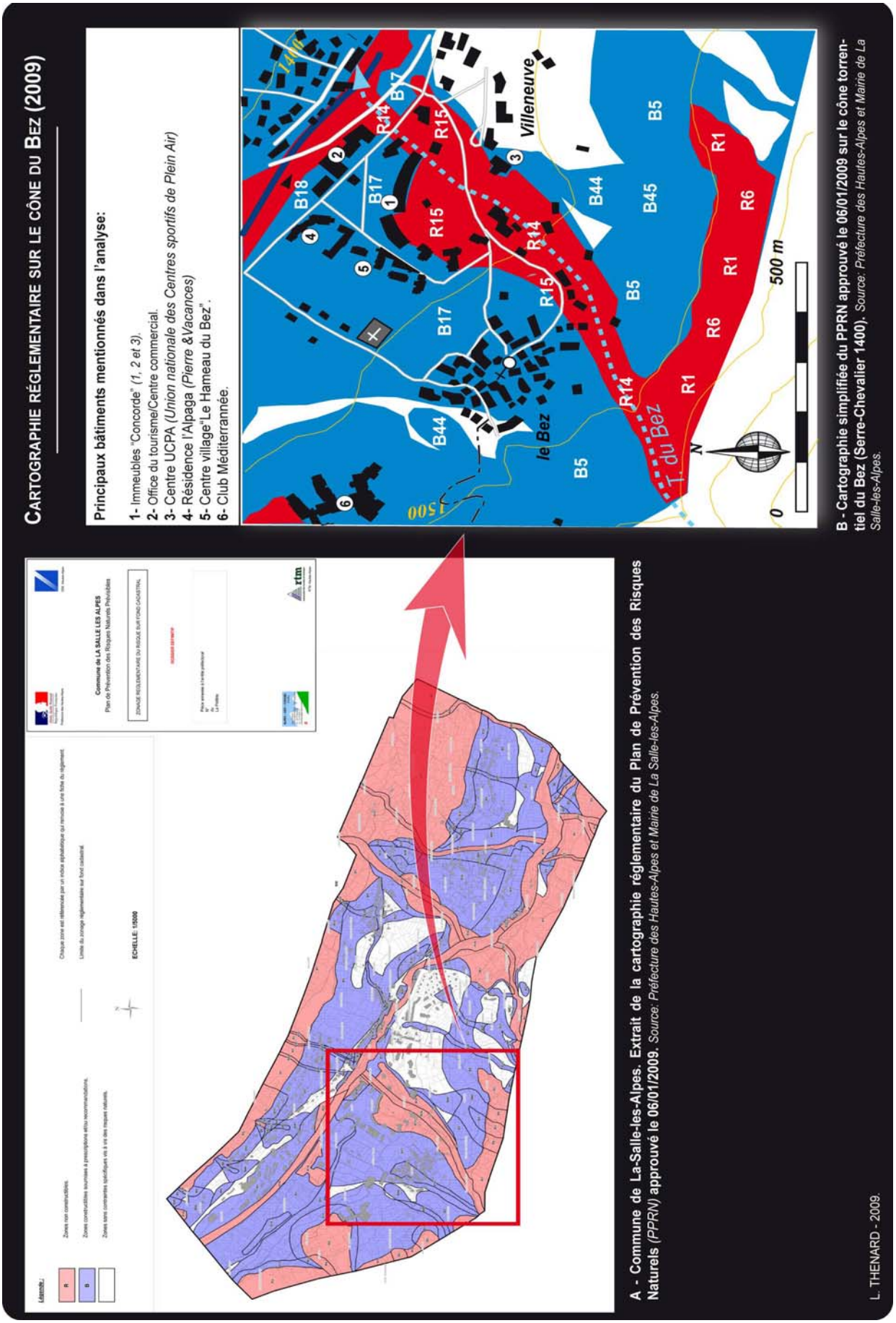


Figure 187 : Cartographie réglementaire de la prévention des risques naturels sur le cône du Bez (2009).

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

En raison du manque de pédagogie en amont, et surtout de l'importance des enjeux, l'approche actuelle de la prévention du risque est assez compréhensible car étendre durablement une zone inconstructible à un secteur non encore touché *(dans la mémoire collective)* par une crue dommageable provoquerait immanquablement de vives réactions d'hostilité des populations ou des élus locaux. **Pourtant, un zonage basé avant tout sur la "potentialité" des torrents et non sur un évènement avéré permettrait dans bien des cas de réduire ostensiblement le risque torrentiel.**

Pour preuve, tel qu'il est présenté dans la zone distale du Bez, le zonage apparaît tellement fidèle aux débordements de 1995 et à l'importance des endommagements associés qu'il pourrait aboutir à terme à une recrudescence de la vulnérabilité. En effet, le PPR semble reconnaître un rôle déflecteur aux façades de certains bâtiments directement exposées aux débordements torrentiels. Or, l'obstacle aux écoulements que constituent ces bâtiments est en soi incontestable, mais elle a logiquement entraîné un assouplissement de la contrainte réglementaire sur les terrains ou le bâti situés en aval. Si de nouvelles autorisations de bâtir étaient accordées dans ces secteurs, la vulnérabilité s'en trouverait automatiquement renforcée. En découle un zonage assez festonné, dans lequel une grande partie des bâtiments représentant les principaux enjeux de Serre-Chevalier sont libérés de l'inconstructibilité appliquée depuis 1995. Par exemple, considérant que l'immeuble "Concorde" constitue une protection pour les bâtiments situés en aval, le complexe[126] regroupant l'Office de tourisme et l'essentiel des commerces de Villeneuve-la-Salle est désormais exclu de la zone inconstructible *(R15)*, alors qu'ils se situent au cœur de l'ancienne zone d'emprise torrentielle. La même remarque peut également s'appliquer au centre UCPA, situé cette fois en rive droite du Bez. Par ailleurs, il faut noter que dans les zones bleues B17 et B18, aucune prescription *(obligation)* particulière ne concerne les bâtiments existants. Dans les recommandations du règlement, il est tout de même préciser que pour mieux protéger la zone B17 *"des travaux de protection de type passif dans la zone rouge R 14 pourraient être réalisés (digues, épis, seuils) en prenant comme référence la crue de 1995"*.

Finalement, dans ce secteur du cône de déjection du Bez et à l'instar du Verdarel, le PPR actuel établie un assouplissement réglementaire comparativement aux documents officiels précédents *(PZERN et POS)*, ce qui constitue un véritable soulagement d'après nos entretiens avec quelques responsables locaux.

Logiquement, cette atténuation spatiale de la contrainte réglementaire devrait faire suite à une substantielle réduction de la vulnérabilité. Certes, les aménagements actuels à l'apex du cône devraient limiter les débordements vers le hameau du Bez pour des crues d'intensité faible à moyenne. Également, le renforcement des enrochements le long du chenal torrentiel va probablement canaliser plus sérieusement le torrent sur son cône.

[126] Ce bâtiment renferme également un centre commercial en sous-sol, ce qui évidemment constitue un facteur aggravant en cas d'évènement paroxystique.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Toutefois, face au caractère relativement rassurant de la mise en sécurité actuelle du torrent du Bez, il nous paraissait nécessaire d'opposer un certain nombre d'éléments :

Tout d'abord, la crue du 24 juillet 1995 apparaît exceptionnelle pour la période récente, mais en raison de la faiblesse des enjeux avant 1950, elle ne peut être assurément considérée comme la référence historique.

Dans le même esprit, ce torrent "composite" dispose de considérables sources sédimentaires potentiellement mobilisables dans la section inférieure de son bassin, secteur où la pente moyenne du torrent s'infléchie sensiblement *(de 20 à 30%)*. Sans études complémentaires, il apparaît périlleux de considérer qu'une crue encore plus intense que celle de 1995 ne puisse survenir dans les prochaines décennies.

Par ailleurs, si le règlement du PPR se réfère régulièrement à l'extension spatiale des débordements de 1995, les volumes mobilisés lors de cet évènement ne sont pas mentionnés. Or, dans l'hypothèse d'un fonctionnement optimale de la future plage de dépôt, sa capacité de retenue maximale ne devrait pas excéder 20 000 à 25 000 m^3. Rappelons qu'en juillet 1995, la seule lave torrentielle avait déposé au moins 80 000 m^3 sur le cône du Bez et que l'ensemble des dépôts sédimentaires ont été évalués entre 100 000 et 150 000 m^3.

Le PPR actuel attribue un rôle protecteur à certains bâtiments. Or, cette validation officielle pourrait être interprétée différemment, et à terme, desservir les desseins initiaux de la prévention du risque torrentiel. En effet, peut-on considéré qu'un bâtiment implanté à proximité immédiate d'un torrent puisse être également un ouvrage de protection réduisant la vulnérabilité? **Si, la volonté de précision et de pragmatisme du zonage est évidemment louable, elle renferme sur cet aspect un antagonisme peu en phase avec une gestion durable du risque torrentiel**.

De notre point de vue, en considérant l'ensemble des éléments présentés et en raison du maintien d'une forte vulnérabilité sur le cône du Bez, **ce secteur doit encore être considéré comme le plus sensible au risque torrentiel de toute la vallée de la Guisane.**

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Notre analyse n'a évidemment pas pour prétention de porter une vérité absolue sur le risque torrentiel. De la même manière, il ne s'agit pas de remettre intégralement en question sa gestion passée ou actuelle. Notre objectif est bien d'apporter une contribution à la réflexion sur cette thématique, en se détachant des clivages habituels et/ou de la rigueur des procédures réglementaires. **Au terme de cette étude sur le torrent du Bez, il nous paraissait nécessaire d'avancer quelques propositions pour prévenir plus durablement le risque torrentiel sur ce site.**

En premier lieu, il est indispensable que des études scientifiques complémentaires soient réalisées dans le bassin versant du Bez pour déterminer la "potentialité" *(prévisible)* de ce torrent. Les conclusions de ces analyses établiraient une assisse plus fiable que les références historiques.

Ensuite, la cartographie réglementaire pourrait être sensiblement modifiée dans la zone distale du cône **[Cf. figure 188]**. Les terrains et les bâtiments situés immédiatement en aval des immeubles "Concorde", devraient réintégrés la zone rouge *(R15)*. Cette extension de la zone inconstructible n'aurait évidemment pas pour but de freiner le nécessaire développement de la station touristique, mais bien de fixer la vulnérabilité dans son état actuel. L'objectif à moyen terme est que la vulnérabilité ne puisse s'accroître davantage sur cette zone, et à long terme, qu'elle puisse redevenir une aire "naturelle" de divagations torrentielles. De même sans l'implantation d'ouvrages de protection *(digues déviantes par exemple)*, le centre UCPA et les terrains avoisinants devraient logiquement être classés en zone inconstructible. En raison des aménagements réalisés ce bâtiment semble apte à résister à une crue torrentielle, mais il s'agit une fois encore de figer la vulnérabilité actuelle, pour qu'à défaut d'être réduite elle ne puisse s'accroître davantage.

En raison de la nature des enjeux, les procédures d'expropriation ou d'acquisition à l'amiable ne sont pas envisageables à court terme, car trop onéreuses. En revanche, un endiguement de la zone inconstructible sur la section inférieure du cône et intégré au paysage urbain est aisément réalisable. Ce dispositif serait calibré sur la "potentialité" préalablement définie. Ce périmètre de sécurité permettrait d'assouplir les prescriptions dans les secteurs extérieurs. Le développement de la station pourrait donc se poursuivre à distance des aléas prévisibles.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

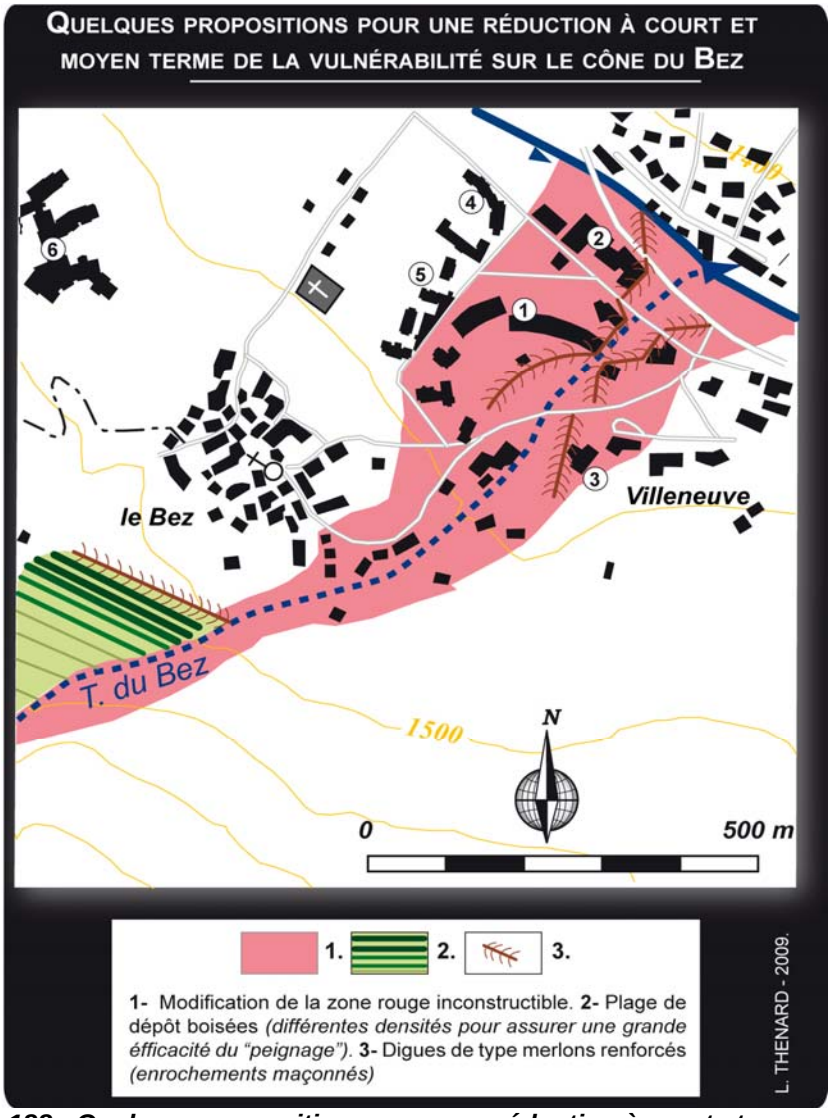


Figure 188 : Quelques propositions pour une réduction à court et moyen terme de la vulnérabilité sur le cône du Bez.

La crue du 24 juillet 1995 a suffisamment démontré que **les enjeux vitaux** demeurent importants. A une époque où le principe de précaution est incontournable, **il paraît inconcevable de continuer à exposer des populations touristiques au risque torrentiel alors qu'elles n'y sont absolument pas sensibilisées.** La défense de l'image de la station de Serre-Chevalier 1400 a longtemps été évoquée et continue de l'être. Pourtant, les systèmes de prévention et de prévision des avalanches se sont largement généralisés, impliquant parfois la fermeture partielle ou totale du domaine skiable. Depuis, les stations de sports d'hiver ne semblent pas déplorer une chute spectaculaire de fréquentation, bien au contraire. Dès lors, on conçoit mal les raisons qui conduiraient les populations touristiques estivales à réagir différemment vis-à-vis du risque torrentiel. Sans tomber dans l'écueil du catastrophisme, il s'agit de faire prendre conscience que la splendeur des paysages montagnards est en grande partie issue des nombreuses dynamiques naturelles qui façonnent et retouchent régulièrement ses versants. Le rappel de certaines règles de bon sens comme par exemple d'éviter, autant que faire se peut, de se situer à proximité d'un torrent ou sur les ouvrages de passage *(ponts et passerelles)* par temps d'orage est un moyen efficace de se prémunir des crues torrentielles.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

A l'évidence, **la mise en place d'un système d'alerte** accompagné d'un substantiel effort d'information sur le cône du Bez est franchement souhaitable. En ce sens, des dispositifs de "pièges à laves"[127] placés dans le bassin versant *(ex : bergerie de Fréjus et confluence du torrent de Glaize et du Bez)* pourraient, le cas échéant, déclencher des messages d'alertes automatiques à Villeneuve-la-Salle en cas d'évènement paroxystique. Ces derniers pourraient également rappeler les conduites à tenir en cas de crue *(s'éloigner des ponts et passerelles, ne pas récupérer son véhicule, atteindre des points hauts ou les étages des bâtiments, attendre les secours, etc.)*.

Enfin l'emploi du SIRTOS *(Système d'Informations sur le Risque Torrentiel à Serre-Chevalier)* et son actualisation permettraient de rassembler et de croiser l'ensemble des informations scientifiques et réglementaires sur le torrent du Bez. A l'instar de ce que nous avons déjà évoqué pour d'autres torrents de la vallée, l'immédiateté des résultats et la souplesse d'utilisation de ce système offrent la possibilité d'une approche prospective dans le cadre de projets d'aménagement à court, moyen et long terme. Par ailleurs, ce système d'informations sur le risque torrentiel peut en partie palier la rupture de la mémoire du risque, provoquée par la reconversion économique. Enfin, et à condition de l'adapter, ce système peut également devenir un outil d'information des populations et de pédagogie, en complément des documents réglementaires encadrant la gestion du risque.

[127] L'efficacité de ces dispositifs de prévention a déjà été éprouvée à plusieurs reprises pour d'autres torrents dans le département des Hautes-Alpes. Par exemple, sur la commune de l'Argentière-la-Bessée, le piège à lave implanté dans le Ravin du Riou Sec permet d'interrompre automatiquement la circulation sur la Nationale 94.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

4.4. VERS L'EMERGENCE D'UNE GESTION DURABLE DU RISQUE TORRENTIEL A SERRE-CHEVALIER ?

Évidemment, ces quelques propositions ne peuvent à elles seules éradiquer le risque torrentiel sur le cône du Bez. Toutefois, elles s'inscrivent dans une démarche dont l'objectif est avant tout une réduction durable du risque.

Tout en prenant en considération les réalités économiques, sociales et environnementales, il s'agit également de se détacher d'une stratégie de prévention essentiellement axée sur l'aléa. Or, l'étude des différents PPRN montre que cette tendance aboutit finalement à d'inévitables assouplissements réglementaires pouvant localement engendrer une reprise de l'urbanisation, et donc, un accroissement de la vulnérabilité. Les évolutions législatives récentes ont tout de même permis d'imposer plus efficacement la notion des risques naturels dans le développement des communes. Toutefois, la généralisation et la rigidité de la territorialisation du risque peuvent parfois impliquer une certaine inadéquation des documents ou directives réglementaires, en fonction de la nature de l'aléa naturel.

L'une des dérives possibles est que les Plans de Préventions des Risques Naturels deviennent des "alibis" juridiques dans la gestion des risques, en décalage avec la menace potentielle. Cette tendance pourrait se révéler contreproductive dans la recherche d'une efficacité réelle et durable de la prévention du risque.

A Serre-Chevalier et pour le risque torrentiel, si l'objectif d'une stabilisation des vulnérabilités actuelles semble globalement atteint, celui d'une diminution sensible et durable apparaît encore bien théorique.

Pour preuve, suite à de forts cumuls pluviométriques parfois associés à la fonte du manteau neigeux de haute altitude, de nombreux organismes torrentiels sont entrés en crue dans tout l'arc alpin au printemps 2008 *(fin mai)*. A cette occasion, la plupart des rivières torrentielles du briançonnais ont rapidement atteint leur débit à plein bord, certaines occasionnant de sérieux dégâts. Par ailleurs et généralement en raison d'imprudences, 3 personnes ont perdu la vie dans la région de Briançon *(source : PGHM de Briançon)*. Ce bilan humain apparaît tout de même très lourd pour des crues de faible intensité et de forte occurrence *(d'ordre décennale pour les rivières torrentielles / sources : DIREN et DDE 05)*.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

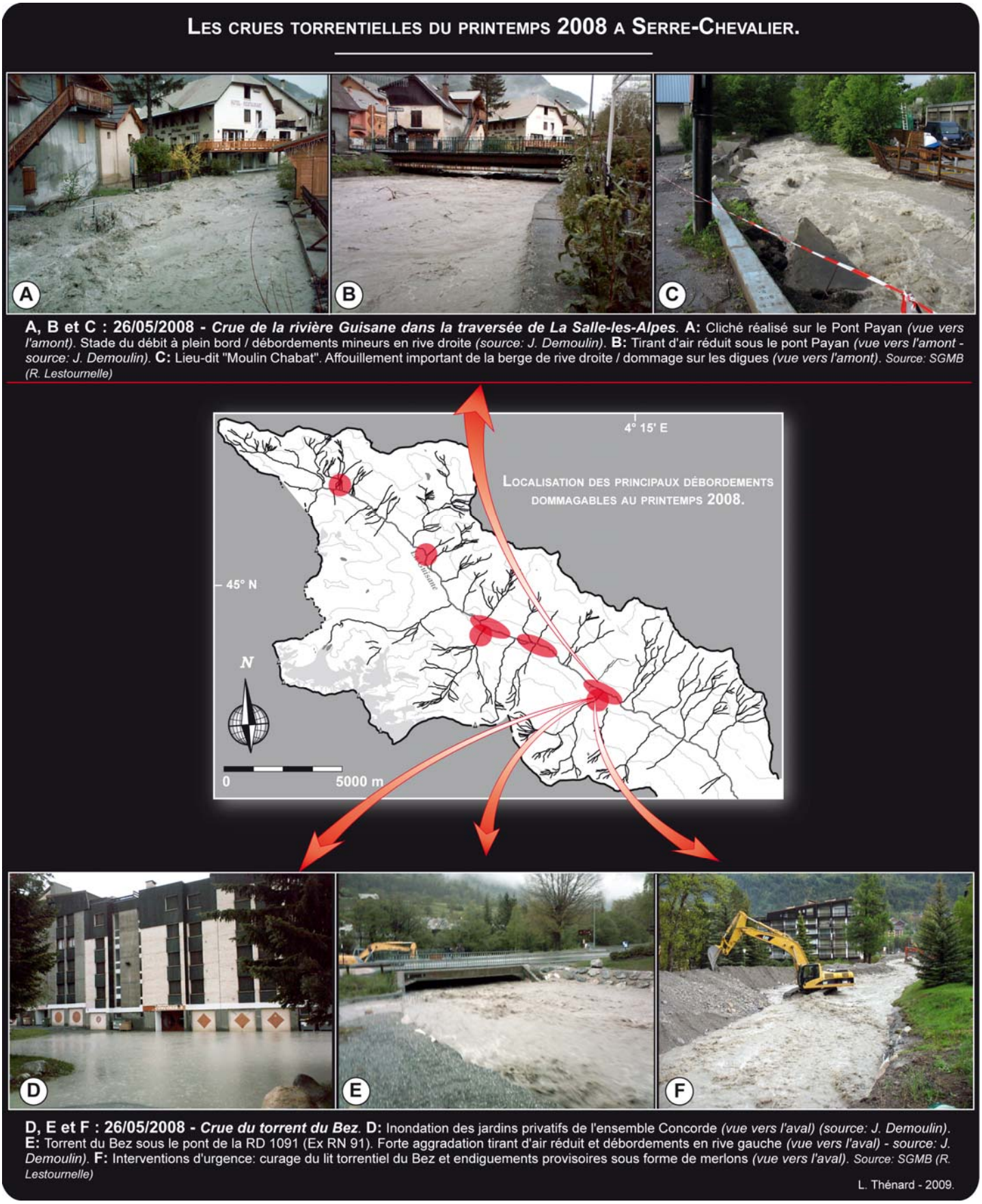


Figure 189 : Les crues torrentielles dommageables du printemps 2008 à Serre-Chevalier.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

A Serre-Chevalier, la crue de la Guisane a concerné l'ensemble du linéaire torrentiel et a engendré les dommages les plus importants. Ces derniers ont été officiellement reconnus par les arrêtés de catastrophe naturelle promulgués le 26 juin 2008 [Cf. Tableau IV]. Parmi les communes de la vallée, le Monêtier-les-Bains a probablement été la plus touchée par la crue des 26 et 27 mai 2008. Même si les débordements sont restés assez limités, l'intensité du charriage torrentiel a engendré localement un important affouillement des berges et a durement éprouvé les culées et les piles des ponts et passerelles. D'autre part, et toujours pour cette commune, il a été recensé 3 autres crues provenant cette fois des torrents. En effet, les torrents du Rif Blanc [Cf. 3.2.1.3], du Rif Lanterne *(ou Lauzet)* et du Grand Tabuc ont également occasionnés quelques dégâts. Les deux premiers ont provoqué la gène la plus importante par l'engravement de la D1091 *(ex RN 91)* et l'interruption temporaire de la circulation routière.

Dominée par le charriage, la crue du Grand Tabuc s'est traduite par un remaniement de sa bande active sur son cône de déjection et par la coupure de la piste de ski de fond. L'importance des dommages pour des crues de modeste intensité témoignage, s'il en était encore besoin, de la grande vulnérabilité des communes de Serre-Chevalier face à l'aléa torrentiel. Pour la seule commune du Monêtier-les-Bains, le montant[128] toujours provisoire des travaux et des interventions d'urgence suite aux crues de mai 2008 s'établit à 806 351 €.

En outre, lors de ces évènements, la commune de La Salle-les-Alpes n'a pas été épargnée car **le torrent du Bez est également entré en crue [Cf. figure 189].** Sans commune mesure avec la lave torrentielle du 24 juillet 1995, et bien que limitée, cette crue du 27 mai 2008 a démontré que de faibles volumes sédimentaires et liquides peuvent provoquer d'importants débordements sur le cône de déjection. L'un des principaux enseignements de cette crue du Bez est que les débordements ont essentiellement concerné la zone distale du cône. Ce secteur est le plus densément urbanisé et avait été relativement épargné par les envahissements sédimentaires de 1995. Donc, en fonction de la nature des dynamiques en jeu *(charriage, lave torrentielle)*, les zones sinistrées et l'extension des digitations torrentielles peuvent considérablement varier. Signalons également que les inondations de 2008 se sont globalement et logiquement réalisées sur l'ancienne zone d'emprise torrentielle, aujourd'hui intégralement urbanisée *(Immeubles Concorde, Office de tourisme et Centre commercial)*. Les endiguements d'urgence ont tout de même permis de limiter l'ampleur des inondations, toutefois il est évident que les dommages n'auraient pu être atténués pour un évènement plus intense.

[128] Concernant les montants évoqués, je tiens à exprimer ma gratitude à Mr le Maire Pierre BOUVIER et son adjoint en charge du dossier, Mr Claude Pleindoux, pour m'avoir permis d'accéder à ces informations, ainsi qu'aux documents relatifs à ces évènements. Malgré nos démarches, les demandes similaires effectuées auprès des autres communes de la vallée sont restées pour l'heure sans suite.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Or, nous avons vu que la récente approbation du PPR a entériné un assouplissement réglementaire sur ce secteur. Malgré les travaux engagés, cette zone dite *"des Prés Longs"* reste plus que jamais soumise au risque torrentiel. Pourtant, d'après nos quelques entretiens avec des responsables municipaux, cette crue de mai 2008 a plutôt rassuré quant à l'efficacité de la prévention actuelle du risque sur ce cône…

Dans les prochaines décennies et à la lumière de nouvelles crues dommageables, il est probable et souhaitable que la question d'une action plus vigoureuse sur les enjeux s'imposera d'elle-même à l'échelle de la vallée. Au terme de notre analyse, une réelle intervention sur les enjeux et un considérable effort d'information[129] apparaissent actuellement les démarches les plus fiables à moyen et long terme pour une plus grande efficacité de la prévention du risque torrentiel.

A ce sujet, une initiative assez novatrice a été entreprise sur le torrent du Verdarel par la Société Géologique et Minière du Briançonnais, sous l'impulsion de son président, Raymond Lestournelle. En effet, suite aux crues successives du torrent du Verdarel depuis 1981, cette association s'est inspirée des travaux des scientifiques *(notamment P. Lahousse)* pour créer un "parcours scientifique" dans le bassin versant, jalonné de panneaux d'information sur le risque torrentiel. Par ailleurs, la SGMB recueille les témoignages des sinistrés, organise des conférences sur ce thème dans l'ensemble du Briançonnais, et a publié un ouvrage sur les torrents du Briançonnais. Malgré l'érudition et le dynamisme des intervenants, l'association ne peut évidemment pas prétendre couvrir l'ensemble de la thématique.

En revanche, il serait souhaitable de s'inspirer de cette démarche pour sensiblement améliorer la perception du risque et de sa prévention. L'accès à la connaissance est probablement un élément préalable et incontournable dans une démarche de gestion durable du risque torrentiel.

[129] Une "bonne" information du grand public doit nécessairement débuter par une plus grande communication des avancées scientifiques sur ce thème auprès des élus locaux ou des gestionnaires du risque torrentiel *(RTM, DDE, DDAF, etc.)*. **A condition qu'elle soit soutenue, la qualité de la vulgarisation scientifique est la base d'une meilleure perception du risque**.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Partie 4 : D'une menace latente à un fait avéré : mise en perspective pour une gestion plus durable du risque torrentiel à Serre-Chevalier.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

CONCLUSION GÉNÉRALE :

A force de ne plus considérer la montagne et ses vallées, que comme un support d'activités et de développement, on n'en oublie presque que c'est avant tout un support de vie. En cela, les milieux montagnards n'ont rien à envier aux autres milieux continentaux, et plus globalement, c'est une tendance générale dans la plupart des pays occidentaux. Mais, dans un milieu aussi dynamique que la moyenne et la haute montagne, le danger est d'autant plus prégnant, que les aléas naturels sont à la fois très récurrents et le plus souvent brutaux. En montagne, la plupart des phénomènes naturels *(à l'exception notable des incidents telluriques)* restent principalement guidés par la gravité, et logiquement exacerbés par l'énergie du relief.

En ce sens et au terme de cette analyse, une des premières évidences est que la vallée de la Guisane présente un contexte environnemental *(géologie, climat, héritages géomorphologiques, etc.)* particulièrement favorable à la torrentialité. Située tout à l'amont du bassin de la Haute-Durance, la Guisane peut être considérée comme une vallée de tous les contrastes. A petite échelle, elle représente une limite géographique et bioclimatique entre les Alpes du Nord et du Sud, ce qui ce traduit, par exemple, par une grande variabilité interannuelle au niveau climatique. Associée aux contrastes des conditions topostationnelles mises en exergue dans le premier temps de notre étude, cette variabilité climatique s'exprime également à grande échelle en fonction des altitudes, de l'exposition, etc. [Cf. Partie 1]

Par ailleurs, la vallée de la Guisane constitue un "carrefour" géologique, où les chevauchements du domaine pennique briançonnais sont particulièrement visibles et ont engendré une relative complexité ainsi qu'une forte hétérogénéité du cadre géologique guisanais [Cf. 1.2]. En lien direct avec la configuration morphostructurale évoquée ci-avant, le contexte géomorphologique de la vallée n'est pas en reste de diversité, puisque l'omniprésence des héritages glaciaires du Quaternaire *(Würm pour l'essentiel)* s'est traduite, depuis le pléniglaciaire würmien, par une grande instabilité des versants *(ex : retombée méridionale du Granon)*. Les versants de la moyenne et basse vallée de la Guisane ont été profondément affectés par ces remaniements post-glaciaires [Cf. 1.3]. En outre, nous avons vu que ces héritages géomorphologiques constituaient un élément éminemment propice à la torrentialité, notamment en terme de recharge sédimentaire. En attendant une exploitation plus poussée, des datations $_{14}C$ sur des bois fossiles prélevés dans le bassin du Verdarel attestent d'une instabilité chronique entretenue par l'activité torrentielle [Cf. Figure 190].

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

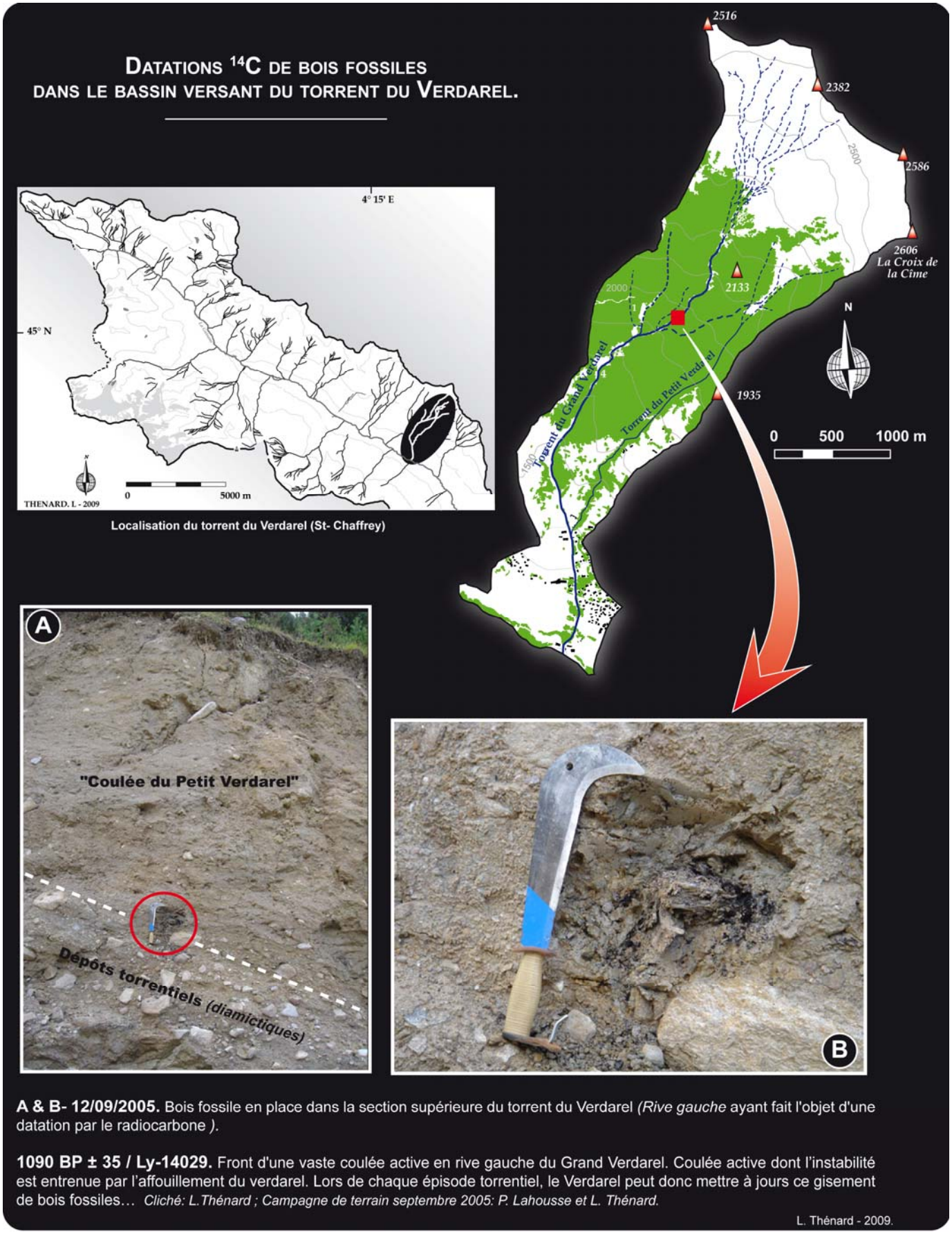


Figure 190 : Instabilité des versants guisanais et torrentialité (datations $_{14}C$ dans le torrent du Verdarel).

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Directement influencés par les éléments précédemment évoqués, les torrents de la Guisane se singularisent par une grande disparité morphologique. D'ailleurs, l'étude des paramètres morphométriques des 36 torrents de la vallée illustre indéniablement cette affirmation [Cf. Partie 2]. D'autre part, la pluralité des configurations morphostructurales des bassins torrentiels se traduit, hier comme aujourd'hui, par des comportements hydro-géomorphologiques parfois très distincts. Toutefois, en rassemblant et en analysant un certain nombre de données sur l'ensemble des torrents de la vallée, il nous a été possible de proposer une typologie. Cette dernière se veut à la fois globale pour intégrer l'ensemble des torrents de la vallée et suffisamment précise afin de traduire leur diversité. Trois grands types ont pu être dégagé [Cf. 2.5] : les torrents élémentaires, les torrents composites et les torrents composites pro-glaciaires.

Naturellement, leurs spécificités induisent des comportements morphodynamiques différenciés. Dans une finalité de diagnostic du risque torrentiel, une des principales conclusions de notre analyse est que l'évaluation de l'aléa torrentiel doit, pour être crédible et durable, se baser sur la notion de "potentialité" et non uniquement sur une référence historique. Cette approche permettrait de ne plus avoir exclusivement une démarche à posteriori de l'aléa mais bien de réaliser un diagnostic plus prospectif. En effet, les évènements dommageables récents ont démontré que l'extrapolation consistant à déduire la dangerosité d'un torrent à partir de références historiques ou même d'une tendance contemporaine à l'apaisement de l'activité torrentielle est à proscrire. Cette remarque s'applique surtout aux torrents dont les cônes de déjection ont été récemment urbanisés et pour lesquels le référencement historique apparaît souvent lacunaire.

Les contrastes parfois saisissants qui caractérisent cette vallée s'expriment aussi, et peut-être surtout, dans la relation "nature-société" et ses évolutions contemporaines. En effet, la vallée de la Guisane abrite la célèbre station touristique de Serre-Chevalier, à qui elle doit sa notoriété actuelle. Depuis les années 1950, l'architecture traditionnelle des noyaux villageois historiques du Monêtier-les-Bains, de La Salle-les-Alpes et de Saint-Chaffrey a cédé la place aux immeubles collectifs des villes nouvelles, aux équipements et aux commerces de Serre-Chevalier. Cette urbanisation massive s'est généralement réalisée sur des secteurs jadis délaissés par les populations montagnardes pour l'habitat. Les cônes de déjection torrentiels sont alors devenus des territoires particulièrement convoités. Cette reconversion socio-économique et l'importance des enjeux ont également bousculé la nature des relations "torrent-société" et la mémoire vernaculaire des risques naturels. Or, la proximité géographique avec les lits torrentiels est la principale source du risque torrentiel. Parfois, des aménagements ont été implantés au cœur des anciennes zones d'emprises torrentielles *(ex : Serre-Chevalier 1300/ Torrent de Saint-Bernard ; Serre-Chevalier 1400/ Torrent du Bez)*. Logiquement, la vulnérabilité s'est considérablement accrue jusqu'à ce que le risque ce concrétise brutalement par les dommages engendrés par les laves torrentielles du torrent du Verdarel du 09 juillet 1981, puis du torrent du Bez en juillet 1995.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Traditionnellement, la gestion du risque torrentiel consistait à tempérer l'aléa torrentiel par une correction du lit torrentiel, voire du bassin versant. En Guisane, les torrents "corrigés" par le service RTM se situaient tous sur le versant d'adret *(riche gauche)* et à proximité des villages historiques. Cette action était d'autant plus légitime car les terrains de l'adret avaient été considérablement dégradés par plusieurs siècles d'activités agro-pastorales et surtout minières. Dans le contexte de péjoration climatique du PAG, les défrichements opérés ont logiquement exacerbé les dynamiques torrentielles, et plus largement les processus érosifs.

Aujourd'hui, cette action quasi exclusivement fondée sur l'apaisement de l'aléa semble trouver certaines limites d'efficacité à long terme [Cf. Partie 4]. Tout d'abord, le domaine skiable de Serre-Chevalier est intégralement implanté sur le versant d'ubac, et les bassins torrentiels concernés n'appartiennent pas aux périmètres RTM. D'autre part, les actions de correction active apparaissent très coûteuses car leur efficacité est intimement liée à l'entretien des ouvrages et à la poursuite du programme de correction. Enfin, les ouvrages de rétention et de stabilisation peuvent considérablement modifier des dynamiques qu'il est déjà difficile d'appréhender intégralement. **Cette action sur l'aléa torrentiel tend à rétablir un climat de confiance des habitants ou des décideurs.** En raison des investissements réalisés, des enjeux potentiels et de la réduction théorique de l'aléa, l'urbanisation sur les cônes torrentiels reprend de manière quasi systématique. Les assouplissements réglementaires récents sur le cône du Bez et sur celui du Verdarel le démontrent d'ailleurs parfaitement.

Les différents zonages réglementaires appliqués en Guisane montrent également leurs limites dans la gestion du risque torrentiel. Certes, le zonage constitue une forme commode de territorialisation des actions publiques. Toutefois, l'impératif de précision qu'impliquent ces documents apparaît souvent assez peu adapté à l'aléa torrentiel. En raison de la nature et de l'intensité de l'élément déclencheur *(pluies, orages, mouvement de terrain)* ou des épiphénomènes *(embâcles, etc.)* propre à chaque évènement paroxystique, la localisation et l'ampleur des débordements sur les cônes de déjection sont généralement assez peu prévisibles. Par ailleurs, ces zonages sont pour la plupart basés sur des évènements récents *de facto* pris comme référence. Or, entre la "potentialité" effective d'un torrent et les évènements recensés, la marge peut parfois s'avérer considérable. Alors que les ouvrages de protection sont calibrés par rapport aux volumes mobilisés en 1981 *(40 000 m^3)*, nos investigations dans le torrent du Verdarel ont démontré, en s'appuyant également sur des études antérieures (Lahousse et Salvador, 2002), que le potentiel mobilisable lors d'un évènement paroxystique était en réalité bien supérieur *(60 000 à 80 000 m^3)* [Cf. 4.2.4].

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Terre de contraste, la retombée orientale du Combeynot *(haute vallée le Guisane)* appartient au Parc Nationale des Écrins. Dans cet espace, la préservation de l'environnement naturel est basée sur le strict respect d'un règlement interdisant les implantations humaines *(hors activités traditionnelles)*. Incontestablement, le développement de Serre-Chevalier a répondu d'une logique diamétralement opposée en Guisane, pourtant contiguë et pour partie intégrée au Parc National.

Certes, l'évolution de la réglementation encadrant la prévention des risques naturels impose désormais aux communes exposées, d'intégrer cette question dans leur projet de développement *(POS, PLU, PPR, etc.)*. Prévues pour agir cette fois sur les enjeux, certaines procédures, comme les acquisitions à l'amiable, pourraient permettent de réduire efficacement et durablement la vulnérabilité de certains sites. Par manque d'information, et souvent à défaut d'une véritable volonté politique, ces solutions ne sont que très rarement proposées. Il est pourtant difficilement imaginable de réduire sensiblement le risque torrentiel sans une meilleure adaptation des implantations et des activités humaines aux dynamiques torrentielles. A l'heure où la notion du développement durable s'impose comme une réflexion incontournable, la station de Serre-Chevalier et les communes de la Guisane ne pourront probablement pas longtemps contourner la problématique de la prévention et de la gestion future des risques naturels.

Ce questionnement doit obligatoirement être précédé d'un bilan des actions passées et d'un substantiel effort d'information. Il suppose également de s'appuyer sur un maximum de connaissances scientifiques ou techniques. Ce raisonnement implique de s'inscrire dans des schémas d'analyses et de décisions à moyen et long terme. Enfin, la plupart des réflexions engagées sur ce thème convergent vers l'impérieuse nécessité de concentrer les efforts de préventions sur les enjeux et non plus uniquement sur l'aléa. Toutefois, il ne s'agit absolument pas, à l'image des Parcs Nationaux, de "sanctuariser" les cônes torrentiels. Pour être efficace et durable, la prévention du risque torrentiel doit autant intégrer les réalités socio-économiques que les questions environnementales. **Il s'agit de passer d'une logique de contrainte à une logique d'adaptation, qui conduirait à des solutions plus pragmatiques en fonction de la nature du risque.**

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Au terme de ces recherches en Guisane, il nous paraissait nécessaire d'avancer quelques propositions concrètes pour les sites les plus sensibles à la menace torrentielle dans cette vallée :

- L'importante réactivité **des torrents élémentaires de la haute vallée** n'étant plus à démontrer, ils constituent une menace bien réelle pour l'axe de communication principal de la vallée *(RD 1091 ex RN 91)*. Alors que depuis le 19ième siècle, certains d'entres eux sont reconnus pour être durant la période hivernale des couloirs avalancheux particulièrement redoutables et que des ouvrages de prévention ont été mis en place *(tunnels du Rif Blanc et des Vallois)*, aucune mesure particulière n'a été engagé pour prévenir le danger d'une crue torrentielle. **Or, un simple dispositif de détection de lave *(par exemple basé et calibré sur les vibrations)* implanté dans le lit torrentiel déclenchant automatiquement des feux de signalisation routière, permettrait d'interrompre immédiatement la circulation automobile.** Le risque qu'un véhicule et ses occupants soient emportés par une lave torrentielle s'en trouverait sensiblement réduit. En raison de leur proximité, un dispositif commun pourrait être adapté pour les torrents du Rif Blanc et des Vallois, ainsi que pour les torrents de l'Étret et du Haut-Étret.

- Concernant **les secteurs les plus fortement exposés au risque torrentiel ou susceptibles de l'être** *(urbanisation de nouveaux espaces)***,** des études scientifiques devraient rapidement être programmées afin d'évaluer la "potentialité" des torrents concernés. **Ces investigations permettraient de poser un diagnostic assurément plus durable de l'aléa torrentiel, et éventuellement du risque.** Comme nous l'avons évoqué à de multiples reprises dans ce travail, cette approche permet de se détacher du carcan de la référence historique, qui ne correspond pas toujours, et loin s'en faut, à la menace potentielle. La prévention et la gestion du risque doivent impérativement être calibrée sur cet évènement paroxystique à très faible occurrence, sous peine d'avoir un jour à gérer une catastrophe. D'autre part, **un suivi régulier de l'état de charge des lits torrentiels** *(ex : planche photographique avec repères)* permettrait de maintenir un état de veille permanent sur la recharge sédimentaire de certains torrents. Ce type d'investigations a déjà été employé à des fins de recherche dans le torrent du Verdarel, mais pourrait tout aussi bien être appliqué dans la prévention du risque torrentiel. Ces solutions devraient être envisagées *(et pour ne citer qu'eux)* dans les torrents du Bez, du Grand Tabuc, de la Salle, ou encore du Merdarel.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

- Malgré des investissements parfois très lourds, la seule action sur l'aléa torrentiel a démontré qu'elle se traduisait généralement à moyen et long terme par un accroissement de la vulnérabilité *(ex : assouplissement réglementaire = reprise et densification de l'urbanisation)*. Toujours pour les sites considérés comme les plus sensibles, la gestion du risque torrentiel gagnerait probablement en efficacité et en "durabilité" si son action était plus franchement orientée sur les enjeux. Les évolutions législatives récentes le permettent bien plus simplement qu'auparavant. Par exemple, lorsque les conditions d'éligibilité ou les réalités socio-économiques le permettent, les propositions d'acquisitions à l'amiable devraient être généralisées dans les zones d'ores et déjà classées inconstructibles dans les PPR. Évidemment, certains secteurs rassemblent des enjeux si conséquents que ce genre de propositions est inenvisageable *(ex : torrent du Bez/ Serre-Chevalier 1400)*. Dans une société où les principes de précaution et de la "transparence" sont devenus incontournables, la gestion du risque ne peut plus s'exonérer de mesures préventives essentiellement axée sur la pédagogie et l'information des populations exposées. Là encore, des systèmes d'alerte seraient souhaitables.

Finalement, il apparaît que le diagnostic global du risque torrentiel doit s'envisager selon une approche à la fois pluridisciplinaire dans son principe et multiscalaire dans sa réalisation. Les quelques exemples étudiés précédemment ont démontré à quel point les interactions étaient nombreuses et souvent anciennes entre les torrents et la société. D'autre part, loin d'être figées ces relations ont bien souvent évolué tant au niveau spatial que temporel. Si elle n'est pas directement traitée dans cette étude, la perception est également une notion fondamentale dans l'évaluation du risque. En conscience, notre étude relève donc d'une contribution à l'analyse du risque torrentiel et à sa gestion, mais n'a pas évidemment pas prétention à l'exhaustivité.

Pour cette approche globale, la création du SIRTOS répond également de cette volonté d'intégrer le risque torrentiel aux projets de développement et de rétablir une nouvelle "culture" du risque torrentiel à Serre-Chevalier. Disposant d'une logistique adaptée *(SIG)*, la communauté de commune du briançonnais semble s'intéresser à cet outil dans un objectif d'information et de vulgarisation. Gageons que les gestionnaires, étatiques et locaux, puissent également intégrer nos travaux dans l'optique d'une gestion plus durable du risque torrentiel.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Références bibliographiques

ALCANTARA-AYALA I - **2002**. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. Geomorphology, n°47 ; pp. 107-124.

AMELOT F., DELANNOY J.J., NICOUD G - **2003**. L'édification des cônes de déjection en zone de montagne : intérêts paléoenvironnementaux et hydrogéologique, contribution typologique. Quaternaire, vol. 14, n°4 ; pp., 253-263.

AMOROS C., PETTS G.E - **1993**. Hydrosystèmes fluviaux. Masson – Paris ; 300 p.

ANCEY C - **1997**. La crue du torrent du Grand Tabuc du 05 août 1997 (Vallée de la Guisane), RTM, Rapport inédit. 25p.

ANCEY C - **2004**. Une introduction à la dynamique des avalanches et des écoulements torrentiels. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne ; 66 p.

ANDREASSIAN V - **2002**. Impact de l'évolution du couvert forestier sur le comportement hydrologique des bassins versants. Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie ; 781 p.

ANDREASSIAN V - **2004a**. Couvert forestier et comportement hydrologique des bassins versants. La Houille Blanche, n°2 ; pp. 31-35.

ANDREASSIAN V - **2004b**. Waters and forests: from historical controversy to scientific debate. Journal of Hydrology, n°291 ; pp.1-27.

ANTOINE J.-M., DESAILLY B - **1998**. Le risque naturel, l'élu et l'ingénieur dans les Pyrénées ariégeoises, Revue de Géographie Alpine, T. 86, n°2 ; pp. 63-76.

ARATTANO M., MARCHI L - **2000**. Video-derived velocity distribution along a debris flow surge. Physic and Chemistry of the Earth (B). vol. 25, n°9 ; pp. 781-784.

ARATTANO M., MARCHI L - **2005**. Measurements of debris flow velocity through cross-correlation of instrumentation data. Natural Hazards and Earth System Sciences, n°5 ; pp. 137-142.

ARNAUD-FASSETTA G., COSSART E., FORT M - **2005**. Hydro-geomorphic hazards and impact of man-made structures during the catastrophic flood of June 2000 in the Upper Guil catchment (Queyras, Southern French Alps). Geomorphology, n°66 ; pp. 41-67.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

ARNAUD-FASSETTA G., FORT M - **2004**. La part respective des facteurs hydro-climatiques et anthropiques dans l'évolution récente (1956-2000) de la bande active du Haut-Guil, Queyras, Alpes françaises du sud. Méditerranée, tome 102 ; pp. 143-146.

ASTRADE L , BRAVARD JP, LANDON N - **1998**.Mouvements de masse et dynamique d'un géosystème alpestre : étude dendrogéomorphologique de deux sites de la vallée de Boulc (Diois, France). *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 52, n° 2, pp. 1- 13.

ASTRADE L, BRAVARD JP - **1999**. Energy gradient and geomorphological processes along a river influenced by neotectonics (the Saône river, France). Geodinamica Acta (Paris),Vol 12, n°1, p: 1-10.

AVOCAT C., 1979. Montagnes de lumière. Imprimerie Fayolles ; 680 p.

BALLANDRAS S - **1997**. Contributions à l'étude des bassins versants torrentiels alpins : stratigraphies, morphodynamique, paléoenvironnements de bassins versants depuis 15000 BP. Thèse de doctorat, Université de Savoie, 2 tomes ; 552 p.

BALLANDRAS S - **1998.** Le « Remblaiement Historique » dans les bassins versants torrentiels des Alpes françaises. Géomorphologie : relief, processus, environnement, n°1 ; pp.65-77.

BALLANDRAS S - **2002.** L'évolution des formes de relief et des formations torrentielles alpines depuis 4700 BP. *Quaternaire*, 3/4, pp 267-277.

BARAILLE S - **2001**. Les crues dommageables dans le bassin de la Haute Durance (Hautes Alpes, France) : recensement depuis le 14ème siècle, signification climatique, facteurs météorologiques et prévision. Thèse de doctorat, Université de Savoie ; 604 p.

BARAILLE S - **2003**. Prévision des crues graves en Haute Durance : typologie des situations météorologiques à risque. Cahiers de Géographie, n°1, collection EDYTEM, Université de Savoie ; pp. 215-222.

BARDOU E., ANCEY C., BONNARD C., VULLIET L - **2003**. Classification of debris-flow deposits for hazard assessment in alpine areas. In : RICKENMAN & CHEN (Eds), Debris-Flow Hazard Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment. Milpress, Rotterdam ; pp. 799-808.

BARFETY J.C., LEMOINE M., DE GRACIANSKY P.C., TRICART P., MERCIER D - **1995**. Notice explicative de la carte géologique de Briançon à 1/50000. Editions du BRGM ; 180 p.

BATALLA R.J., DE JONG C., ERGENZINGER P., SALA M - **1999**. Field observations on hyperconcentrated flows in mountain torrents. Earth Surface Processes and Landforms, vol. 24 ; pp. 247-253.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

BEAUGENDRE N -**2004**, Synthèse et perspectives nouvelles pour l'étude du risque torrentiel (Torrent du Verdarel, vallée de la Guisane, Hautes-Alpes), Mémoire de DEA de géographie physique, Université de Lille I, 109 p.

BECK U - **2001**. La société du risque. Sur la voie d'une autre modernité. Editions Flammarion ; 521 p.

BELINGARD C., TESSIER L., EDOUARD J.L - **1998**. Reboisement et dynamique naturelle dans les forêts sub-alpines (Haut-Verdon, Alpes du sud, France). Géographie Physique et Quaternaire, vol. 52, n°2 ; pp. 1-10.

BENISTON M - **2003**. Climatic change in mountain regions: a review of possible impacts. Climatic Change, n°59 ; pp. 5-31.

BENISTON M - **2005**. Changement climatique et impacts possibles dans la région alpine. Revue de Géographie Alpine, n°2 ; pp. 13-24.

BERTHIER E -**2005,** Dynamique et bilan de masse des glaciers de montagne (Alpes, Islande, Himalaya) : contribution de l'imagerie satellitaire. Thèse de doctorat de l'université de Toulouse III, 250 p.

BERTRAN P., FRANCOU B., TEXIER J.P - **2004**. Eboulisation, éboulement. In : BERTRAN P. (dir.), Dépôts de pente continentaux, dynamique et faciès. Quaternaire, Hors-série, n°1 ; pp. 29-43.

BESSON L - **1996**. Les risques naturels en montagne : traitement, prévention, surveillance. Editions Artès-Publialp, Grenoble, 438 p.

BILLET P - **2001**. La territorialisation juridique des risques naturels : du droit des limites aux limites du droit. Actes du colloques Risques et Territoires – Lyon 16-18 mai 2001, UMR CNRS 5600, tome 2 ; pp. 189-197.

BLANCHARD R - **1950**. Les Alpes occidentales Tome V : les grandes Alpes du Sud . Grenoble, Ed. Arthaud – Paris ; 1018 p.

BLANCHARD R., CŒUR D., RAVANAT F - **2006**. Etude historique préalable à une cartographie informative des phénomènes naturels à risques. Service RTM des Hautes-Alpes, Rapport inédit ; 100 p.

BODIN X - **2007**. Géodynamique du pergelisol de montagne : fonctionnement, distribution et évolution récente. L'exemple du massif du Combeynot (Hautes-Alpes). Thèse de doctorat, Université Paris-Diderot (Paris 7), p 273.

BOLLSCHWEILER M, STOFFEL M, EHMISCH M, MONBARON M - **2007**. Reconstructing spatio-temporal patterns of debris-flow activity using dendrogeomorphological methods. *Geomorphology*. n° 87. pp 337–351.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

BONNET STAUB I - **1998**. Mécanismes d'initiation des laves torrentielles dans les Alpes françaises, contribution à la maîtrise des risques. Thèse de doctorat, Ecole des Mines de Paris, 2 volumes ; 391 p.

BONNET STAUB I - **2001**. Une méthodologie d'analyse et de cartographie de l'aléa « initiation de laves torrentielles » - application au torrent du Bragousse (France). Bulletin of Engineering Geology and Environment, n°59 ; pp. 319-327.

BRAVARD J.P - **1989**. La métamorphose des rivières des Alpes françaises à la fin du Moyen-Age et à l'époque moderne. Bulletin de la Société Géographique de Liège, n°25, p : 145-157.

BRAVARD J.P - **1994**; L'incision des lits fluviaux, du phénomène morphodynamique naturel et réversible aux impacts irréversibles, Revue de Géographie de Lyon, vol.69, n°1, pp.5-10.

BRAVARD J.P - **2002**. Les réponses des systèmes fluviaux à une réduction des flux d'eau et de sédiments sous l'effet du reboisement en montagne. La Houille Blanche, n°3 ; pp. 68-71.

BRAVARD J.P, PETIT F - **2000.** Les cours d'eau. Dynamique du système fluvial, Armand Colin, Paris, 2ième édition, 222 p.

BRAVARD J.P., AMOROS C., PAUTOU G., BORNETTE G., BOURNAUD M., CREUZE DES CHATELLIERS M., GIBERT J., PEIRY J.L., PERRIN J.F., TACHET H - **1997**. River incision in the South-East France: morphological phenomena and ecological effects. Regulated Rivers: Research & Management, vol. 13 ; pp. 75-90.

BRAVARD J.P., LANDON N., PEIRY J.L., PIEGAY H - **1999**. Principles of engineering geomorphology for managing channel erosion and bedload transport, examples from French rivers. Geomorphology, vol. 31 ; pp. 291-311.

BRAVARD J.P., PEIRY J-L - **1993**. La disparition du tressage fluvial dans les Alpes françaises sous l'effet de l'aménagement des cours d'eau (19-20ème siècle). Zeitschrift für Geomorphologie, Suppl. Bd 88 ; pp. 67-79.

BRAVARD J.P., PIEGAY H - **2000**. L'interface "Nature-Sociétés" dans les hydrosystèmes fluviaux, Géocarrefour, n° 75, Vol 4, 273-274p.

BROCHOT S - **2004**. Quand l'administration forestière se mettait en scène : les premières archives photographiques (1860-1914) de la Restauration des terrains en montagne. Revue Forestière Française, n°1 ; pp.

BROCHOT S., MARCHI L., LANG M - **2002**. L'estimation des volumes des laves torrentielles : méthodes disponibles et application au torrent du Poucet (Savoie). Bulletin of Engineering Geology and Environment, Vol. 61 ; pp. 389-402.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

BRUGNOT G - **2008**. Les catastrophes naturelles, Coll Idées Reçues, Editions du Le cavalier Bleu, Paris, 127p.

BRUGNOT G *(sous la direction de)* - **2001**. Gestion spatiale des risques. Information Géographique et aménagement du Territoire, Hermes science publications, Lavoisier, Paris, 287p.

BRUGNOT G., CASSAYRE Y - **2003**. De la politique française de restauration des terrains en montagne à la prevention des risques naturels, Revue forestière, p163.

BRUNETTI M., MAUGERI M., NANNI T - **2001**. Changes in total precipitation, rainy days and extreme events in Northeastern Italy. International Journal of Climatology, vol. 21 ; pp. 861-871.

BRUNTLAND G., (Ed.) - **1987**. Our common future. The World commission on Environment and Development. Oxford University Press, 398 p.

BUFFAULT P - **1913**. Le Briançonnais forestier et pastoral. Paris, Berger-Levrault ; 232 p.

BUGMANN H, PFISTER C - **2000**. Impacts of interannual climate variability on past and future forest composition. Regional Environment Change 1:1–19

BUISINE S, MARTIN JC **-2006**. L'étude de Corpus par Analyse en Composantes Principales. *WACA'06 second Workshop francophone sur les Agents Conversationnels Animés*, pp. 63-71.

CALVACHE M.L., VISERAS C., FERNANDEZ J - **1997**. Controls on fan development – evidence from fan morphometry and sedimentology ; Sierra Nevada, SE Spain. Geomorphology, t. 21 ; pp. 69-84.

CANNON S.H., KIRKHAM R.M., PARISE M - **2001**. Wildfire-related debris-flow initiation processes, Storm King Mountain, Colorado. Geomorphology, vol. 39 ; pp. 171-188.

CANNON S.H., RENEAU S.L - **2000**. Conditions for generation of fire-related debris flows, Capulin Canyon, New Mexico. Earth Surfaces Processes and Landforms, vol. 25 ; pp. 1103-1121.

CARCAILLET C et. MULLER S - **2005**. Holocene tree-limit and distribution of Abies alba in the inner French Alps: anthropogenic or climatic changes? *Boreas*, n° 34, pp 468-476.

CARENCO E, **1982**., Hydrologie et hydrogéologie du bassin versant de la Guisane (Hautes-Alpes). Thèse de 3ième cycle, Université Scientifique et médicale de Grenoble, 190p.

CARRARA A., CROSTA G., FRATTINI P., **2003**. Geomorphological and historical data in assessing landslide hazard. Earth Surface Processes and Landforms, vol. 28 ; pp. 1125-1142.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

CERIANI M., LAUZI S., PADOVAN N - **1992**. Rainfalls and landslides in the Alpine area of Lombardia Region, Central Alps, Italy. Proceedings of the International Symposium Interpraevent, Bern, vol. 2 ; pp. 9-20.

CETE - **1982**. Etude géologique pour le PZERN de Saint-Chaffrey. Centre d'Etude Technique de l'Equipement de'Aix en Provence. p17.

CEZANNE. E - **1872**. Etude sur les torrents des Hautes Alpes. Paris, Dunod, 2ème tome, 382 p.

CHAMPSAUR E - **1900**. Restauration et conservation des terrains en montagne. Les terrains et les paysages torrentiels. Imprimerie Nationale, Paris, 64 p.

CHARDON M - **1993**. Les tufs du Monêtier-les-Bains (Briançonnais): datations U/Th et sondages. Contribution à la connaissance de l'évolution morphologique d'une haute vallée alpine. Rev. Géogr. Alpine, T 81, n°1, p 61 – 69.
COCHETEAU JC, PIC R, CHARRY JC. - 1990. La crue du torrent du Verdarel : zonages et travaux (comm. de Saint-Chaffrey – Hautes-Alpes) ; Géol. Alpine, mémoire h .s n°15 : "Risques naturels dans le Sud-Est de la France", pp 35-40.

COMBES F. -**1989**. Restauration des terrains en montagne : Du rêve à la réalité. *Rev. For. XLI,* p : 91-105.

CONGALTON RG, BIRCH R, JONES R & SCHRIEVER J - **2002**. Evalualing remotely sensed techniques for mapping riparian vegetation. *Computers and Electronics in Agriculture*, n°37, pp: 113-126.

COSSART E - **2002**. Les écroulements rocheux en Clarée (Briançonnais, Hautes-Alpes) : une origine paraglaciaire ? *Environnements Périglaciaires*, n°9 ; pp. 36-51.

COSSART E - **2005**. *Evolution géomorphologique du haut bassin durancien (Alpes du Sud, France) depuis la dernière glaciation. Contribution à la compréhension du fonctionnement du système paraglaciaire*. Thèse de doctorat. Université Paris-Diderot, p 436.

COSSART E., FORT M., JOMELLI V., GRANCHER D - **2006**. Les variations glaciaires en Haute-Durance (Briançonnais, Hautes-Alpes) depuis la fin du 19ème siècle : mise au point d'après les documents d'archives et la lichénométrie. Quaternaire, Vol. 17 ; pp. 75-92.

COUSSOT P - **1996**. Les laves torrentielles. Connaissances à l'usage du praticien. CEMAGREF Editions ; 177 p.

COUSSOT P., MEUNIER M - **1996**. Recognition, classification and mechanical description of debris flows. Earth-Science Reviews, Vol. 40 ; pp. 209-227.

COUTEAUX M et EVIN J - **1981**. Etude palynologique et datage par le radiocarbone de dépôts fluvio-glaciaires aux Deux-Alpes. C.R Aacd. Sciences, t 292, II, p1235-1238.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

CROSTA G.B., FRATTINI P - **2004**. Controls on modern alluvial fan processes in the central Alps, northern Italy. Earth Surface Processes and Landforms, Vol. 29 ; pp. 267-293.

D'AGOSTINO V., MARCHI L - **2001**. Debris flow magnitude in the Eastern Italian Alps : data collection and analysis. Physic and Chemistry of the Earth (C).vol. 26, n°9 ; pp. 657-663.

DAUPHINE A - **2001**. Risques et catastrophes. Armand Colin ; 288 p.

DE CRECY L - **1988**. L'histoire de la RTM. Quelques réflexions d'un praticien. Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest, tome 59/1 ; pp. 17-28.

DE RIBBE C - **1863**. La Provence au point de vue des bois, des torrents et des inondations avant et après 1789. Revue des Eaux et Forêts, volume 2

DE SCALLY F.A., OWENS I.F - **2004**. Morphometric controls and geomorphic responses on fans in the southern Alps, New Zealand. Earth Surface Processes and Landforms, vol. 29 ; pp. 311-322.

DE SCALLY F.A., SLAYMAKER O., OWENS I.F - **2001**. Morphometric controls and basin response in the Cascade Mountains. Geografiska Annaler, vol. 83A, n°3 ; pp. 117-130.

DEBELMAS J - **1955**. Les zones subbriançonnaises et briançonnaises occidentales entre Vallouise et Guillestre, Thèse de 3ième cycle, Faculté des Sciences de Grenoble, 171p.

DECAULNE A -**2002**. Coulées de débris et risques naturels en Islande du Nord-Ouest. *Géomorphologie : relief, processus, environnement,* avril-juin, n°2, p : 151-163.

DECAULNE A - **2005**. L'apport des données géomorphologiques et historiques à l'analyse diachronique du couple aléa-vulnérabilité dû aux avalanches et aux coulées de débris dans les fjords d'Islande nord-occidentale. Norois, n°194 ; pp. 59-72.

DECAULNE A., SÆMUNDSSON P - **2006**. "On-zone" and "off-zone" geomorphic features for multirisk assessment related to slope dynamics in the Icelandic fjords. In : BREBBIA C.A., POPOV V. (Eds), Risk Analysis V, Simulation and Hazard Mitigation, WIT Press ; pp. 23-32.

DECAULNE A., SÆMUNDSSON P., PETRURSSON O - **2005**. Debris flow triggered by rapid snowmelt: a case study in the Gleiðarhjalli area, northwestern Iceland. Geografiska Annaler, vol 84A, n°4 ; pp. 487-500.

DELLION F - **1986**. Morphologie des corniches et des éboulis actifs dans le massif des Cerces-Grand Galibier. Trav. Études. Recherches, Université de Paris 10, 142p.

DELSIGNE F., LAHOUSSE P., FLEZ C., GUITER G - **2001**. Le Riou Bourdoux : un « monstre » sous haute surveillance. Revue Forestière Française, n°5 ; pp. 527-541.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

DEMONTZEY P - **1894**. L'extinction des torrents en France par le reboisement. Paris, Imprimerie Nationale ; 449 p.

DERRUAU M - **1970**. Précis de géomorphologie. Masson – Paris ; 453 p.

DESCROIX L., GAUTIER E - **2002**. Water erosion in the southern French Alps : climatic and human mechanism. Catena, Vol. 50 ; pp. 53-85.

DOLLFUS O., D'ERCOLE R - **1996**. La mémoire des catastrophes au service de la prévision et de la prévention des risques naturels. In : Risques naturels, risques de sociétés, Bailly A. (Dir.), Economica, Paris, pp. 7-18.

DOUVINET J., DELAHAYE D et LANGLOIS P. -**2008**. Modélisation de la dynamique potentielle d'un bassin versant et mesure de son efficacité structurelle. Cybergéo, Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, Art. n° 412.

DUCHÊNE F., MARTINAIS E., MOREL JOURNEL C - **2003**. Le risque comme représentation : une contribution de la géographie sociale. In : MORINIAUX V. (dir.), Les risques. Editions du Temps ; pp. 88-105.

DUFOUR S - **2005.** *Contrôles naturels et anthropiques de la structure et de la dynamique des forêts riveraines des cours d'eau du bassin rhodanien (Ain, Arve, Drôme et Rhône)*. Thèse de doctorat, Université Jean Moulin Lyon 3, 244p.

FAGOT P., GADIOLET P., MAGNE M., BRAVARD J.P - **1989**. Une étude dendrochronologique dans le lit majeur de l'Ain : la forêt alluviale comme descripteur d'une « métamorphose fluviale ». Revue de Géographie de Lyon, n°4, p : 213-223.

FANTHOU T - **1994**. Les risques naturels dans le département des Hautes-Alpes, chroniques et territoires. Thèse de doctorat, Université de Paris 7 ; 225 p.

FANTHOU T., GAMBIER G., COLAS G., POUPELLOZ B - **1991**. Atlas Départemental des Risques Naturels et Technologiques des Hautes-Alpes. Préfecture et Conseil général des Hautes-Alpes, CETE Méditerranée ; 100 p.

FAUQUETTE S., TALON B - **1995**. Histoire de la végétation forestière d'un site bu Briançonnais : le lac de Cristol (Hautes-Alpes, France). Comptes-rendus de l'Académie des Sciences, série II a, T. 321 ; pp. 255-262.

FEYS R - **1963**, Étude géologique du Carbonifère briançonnais (Hautes-Alpes), Thèse de doctorat publiée dans les mémoire du B.R.G.M, n°6, 387p.

FLEZ C., GARITTE G - **2006**. Contribution à la connaissance des facteurs responsables de la rétraction contemporaine des bandes actives torrentielles ; tentative de régionalisation à travers l'exemple de quatre bassins versants élémentaires (Ubaye et Haute Durance). Actes du

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

colloque « L'érosion entre société, climat et paléoenvironnement » Clermont-Ferrand 25-27 mars 2004, Presses Universitaires Blaise Pascal, collection Nature-Société ; sous presse.

FLEZ C., LAHOUSSE P - **2000**. Interactions entre gestion du risque torrentiel et extension urbaine dans une station touristique de montagne : l'exemple de St Chaffrey (Serre-Chevalier, Hautes Alpes, France). In : Actes du colloque « Risques et Territoire », Lyon, t.2 ; pp. 275-288.

FLEZ C., LAHOUSSE P - **2002**. La gestion du risque torrentiel à Serre-Chevalier : acteurs et enjeux. L'Espace Géographique, n°2 ; pp.163-173.

FLEZ C., LAHOUSSE P - **2003**. Contribution to assessment of the role of anthropic factors and bio-climatic controls in contemporary torrential activity in the Southern Alps (Ubaye valley, France) in The Mediterranean world environment and history. Elsevier ; pp. 105-118.

FLEZ C., LAHOUSSE P - **2004a**. Recent evolution of natural hazard management policy in France, the example of Serre-Chevalier (French Alps). Environmental Management, vol. 34, n°3 ; pp. 353-362.

FLEZ C., LAHOUSSE P - **2004b**. Example of Holocene alpine torrent response to environment changes: contribution to assessment of forcing factors. *Quaternaire*, vol. 15, n° 1-2 ; pp. 167-176.

FOURNIADIS IG, LIU JG, MASON PJ - Landslide hazard assessment in the Three Gorges area,China, using ASTER imagery: Wushan–Badong. *Geomorphology*, n°84, pp 126-144.

FRANCOU B - **1981**. Gèodynamique des éboulis et formes associées dans la combe de Laurichart (Hautes-Alpes). Thèse de 3^{ième} cycle, Institut de Géographie Alpine, Grenoble, p 153.

FRANCOU B - **1983**. Régimes thermiques de sols de l'étage périglaciaire et leurs conséquences géomorphologiques. Exemple de la Combe de Laurichart, Alpes du briançonnais, France. *Géographie physique et Quaternaire,* Vol 37, n°1, pp 27-38.

FRANCOU B - **1988**. L'éboulisation en haute montagne. Thèse de doctorat, Centre de Géomorphologie du C.N.R.S., Editec, Caen, 2 tomes ; 696 p.

FRANCOU B - **1993**. Hautes montagnes, passion d'exploration. Masson ; 202 p.

FRANZI L., BIANCO G - **2001**. A statistical method to predict debris flow deposited volumes on a debris fan. Physics and Chemistry of the Earth (C), vol. 26, n°9 ; pp. 683-688.

FRAZER E.D.G., MABEE W., SLAYMAKER O - **2003**. Mutual vulnerability, mutual dependence. The reflexive relation between human society and the environment. Global Environmental Change, vol. 13 ; pp. 137-144.

FRIEDMAN J.M., OSTERKAMP W.R., LEWIS W.M - **1996**. The role of vegetation and bed-level fluctuations in the process of channel narrowing.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

GARITTE G - **2000**. Le Riou Chanal (Alpes de Haute-Provence). Géomorphologie et risques associés. Mémoire de DEA, UFR de Géographie, Université des Sciences et Technologie de Lille ; 99 p.

GARITTE G - **2006**. Les relations entre torrents et société. L'exemple de la vallée de la Clarée (Hautes-alpes, France). Actes du colloque international « Interactions Nature-Société : analyses et modèles. La Baule 3-6 mai 2006. 5 p.

GARITTE G - **2006**. Les torrents de la vallée de la Clarée. Évolution contemporaine, dynamique actuelle et analyse géographique des risques associés. Thèse de doctorat. Université des Sciences et Technologies de Lille, p 386.

GARITTE G., LAHOUSSE P - **2000**. Les pulsations récentes du glacier du Casset dans le Pelvoux. Mappe Monde, n°59 ; pp. 18-21.

GARITTE G., LAHOUSSE P., THENARD L., SALVADOR P.-G - **2008**. Evolution contemporaine de l'activité torrentielle sur les cônes de déjection de la basse vallée de la Clarée (Briançonnais, Alpes du Sud). Géomorphologie : relief, processus, environnement. n°4, p 293-308.

GARITTE G., THENARD L - **2005**. Les cônes de déjection torrentiels de la vallée de la Clarée (Alpes du sud, France). Analyses morphométriques et topométriques. Cahiers de Géographie Physique, UFR de Géographie et Aménagement de Lille, n°5 ; pp. 21-31.

GARLATTI F - **2007** Le risque torrentiel dans la vallée de l'Arino (Nord Est de l'Italie). Thèse de doctorat, Université Paris-Diderot (Paris 7), p 440.

GARTNER J., Cannon S, SNATI P., DEWOLFE V - **2008**. Empirical Models to predict the volumes of debris flow generated by recently burned basins in the western U.S. Geomorphology, n°96, p 339-354.

GAUCHEREL C - **2003**. Pertinence de la notion d'indicateur pur la caractérisation du bassin versant. EG, n° 3, p265-281

GAUTIER E. **-1994**. Interférence des facteurs anthropiques et naturels dans le processus d'incision sur une rivière alpine : l'exemple du Buëch (Alpes du Sud). Revue de Géographie de Lyon, Volume 69, p : 57-62.

GUEYMARD E. **-1830**. Sur la minéralogie et la géologie du département des Hautes-Alpes. Grenoble.

GUIOT J., BEAULIEU (DE) J.L., BEGEOT C., BOSSUET G., BRUGIAPAGLIA E., CARCAILLET C., CHEDDADI R., EDOUARD J.L., GACHET S., GADBIN C., GUIBAL F., JOLLY D., KELLER T., MAGNY M., NAKAGAWA T., NICAULT A., PONEL P., RATHGEBER C., SCHOELLAMMER P., RICHARD H., ROCHE P., RUFFALDI P., TALON B - **1999**. Variations depuis 10000 ans de la répartition et de la productivité des

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

forêts d'altitude dans les Alpes et le Jura et simulations des changements futurs. Article issu du projet PEVS-SEAH / facteurs anthropiques, non publié ; 21 p.

GUMUCHIAN, H., MAROIS, C., FEVRE, V. - **2000**, *Initiation à la recherche en géographie. Aménagement, développement territorial, environnement*, Paris, Montréal : Economica, Presses de l'Université de Montréal, 425 p.

HAEBERLI W - **1983**. Permafrost-glacierrelationship in the SwissAlps. Today and in the past. 4th Intern. Conf. on. Permafrost. Proc. P 415-420.

HAEBERLI W - **1985**. Creep of mountain permafrost internal structure and debris flow alpine rock glaciers. Hydrologie and glaciology, n°77, p 142.

HAEBERLI W - **1994.** "Accelerated glacier and permafrost changes in the Alps", In: *Mountain environments in changing climates (eds. Beniston M.)* Routledge, London, pp. 91-107.

HEIDERICH D - **2005**. La perception du risque dans la société de la peur. Cahiers Espaces, n°85 ; pp. 8-15.

HITZ M - **2007**. Using exposed tree roots as a dating tool for erosion in mountain torrents. European Geosciences Union (EGU), *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 9.

HUBERT G., RELIANT C - **2003**. Cartographie réglementaire du risque d'inondation : décision autoritaire ou négocié ?. Annales des Ponts et Chaussées, n°105 ; pp. 24-31

HUNGR O - **2005**. Classification and terminology. In : JAKOB M. et HUNGR O. (eds), Debris-flow Hazards and Related Phenomena. Praxis – Berlin, Springer ; pp. 9-24.
HUNGR O., EVANS S.G., BOVIS M., HUTCHINSONN J.N - **2001**. Review of the classification of landslides of the flow type. Environmental and Engineering Geoscience, vol. 7 ; pp. 221-238.

HUNGR O., MORGAN G.C., KELLERHALS R - **1984**. Quantitative analysis of debris torrent hazard for design of remedial measures. Canadian Geotechnical Journal, n°21 ; pp. 663-677.

IPCC - **2001a**. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of working group I to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. HOUGHTON J.T., DING Y., GRIGGS D.J., NOGUER M., VAN DER LINDEN P.J., DAI X., MASKELL K., JOHNSON C.A., (Eds.), Cambridge University Press ; 881 p.

IPCC - **2001b**. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of working group II to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. MC CARTHY J. J., CANZIANI O. F., LEARY N. A., DOKKEN D. J., WHITE K. S., (Eds.), Cambridge University Press ; 1032 p.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

JACOB N., ASTRADE L., BRAVARD JP - **2004**. Le comportement hydrosédimentaire de rivières torrentielles des Cévennes et des Préalpes au PAG : enseignements géomorphologiques des archives historiques, de la dendrochronologie et de la lichénométrie. In *L'érosion entre société, climat et paléoenvironnement*, Clermont-Ferrand, 25-27 mars 2004, PUC, coll. Nature et Société 3 p.

JOMELLI V - **1999**. Dépôts d'avalanches dans les Alpes françaises: géométrie, sédimentologie, géodynamique depuis le Petit Âge Glaciaire. Géographie Physique et Quaternaire, vol. 53, n°2, p 199-209.

JOMELLI V., PECH P., CHOCHILLON C., BRUNSTEIN D - **2004**. Geomorphic variations of debris flows and recent climatic change in the French Alps. Climatic Change, vol. 64 ; pp. 77-102.

JOMELLI V, DEQUE M, BRUNSTEIN D et GRANCHER D, - **2007a.** Occurrence des coulées de débris dans le massif des Écrins (Alpes françaises) au XXI^{e} siècle : estimation à partir du modèle climatique ARPEGE », *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n° 4, p : 283-292.

JOMELLI V., BRUNSTEIN D., GRANCHER D & PECH P - **2007b**. Is the response of hill slope debris flow to recent climate change univocal? A case study in the Massif des Ecrins (French Alps). Climatic Change, n°85, p 119-137.

JORDA M. - **1980**. Morphogénèse et évolution des paysages dans les Alpes de haute-Provence depuis le tardiglaciaire. Facteurs naturels et facteurs anthropiques. Bulletin de l'Association des géographes français, 472, p: 295-304.

JORDA M et DELIBRIAS G - **1981**. Données nouvelles sur le Pléistocène supérieur des Alpes françaises du Sud : le Würm récent dans le bassin de la Bléone (Alpes-de-Haute-Provence), *Bull. AFEQ*, 3-4, pp 173-182.

JORDA M - **1985**. La torrentialité holocène des Alpes françaises du Sud. Facteurs anthropiques et paramètres naturels de son évolution. Cahiers Ligures de Préhistoire et de Protohistoire, n° 2, p : 49 - 70.

JORDA M., PROVANSAL M - **1996**. Impact de l'anthropisation et du climat sur le détritisme en France du sud-est (Alpes du sud et Provence). Bulletin de la Société Géologique de France, t. 167, n°1 ; pp. 159 - 168.

KAIZER B - **1981**. Observations et mesures morphodynamiques sur un versant d'alpage : perspectives et réalisations (la Tête Noire du Galibier 1976-1979). In. Recherches en Briançonnais, publié par le CEMAGREF, Grenoble, avec le concours de la DGRST, fasc. 5, p 17-63.

KAIZER B et LECOMPTE M - **1978**. Recherches sur la dynamique de montagne danss le briançonnais, exemple du versant Sud de la Tête Noire du Galibier. Trav. Lab. Geogr. Phys. Université de Paris 7, n°5, fasc. 1, p 7-32.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

KILIAN W - **1902**. Notes pour servir à la géomorphologie des Alpes dauphinoises. Paris – Masson ; 26 p.

KNIGHTON A.D. - **1998**. Fluvial forms and processes. New York, John Wiley & Sons ; 383 p.

KONDOLF GM, PIEGAY H, LANDON N - **2002.** Channel response to increased and decreased bedload supply from land use change: contrasts between two catchments. Geomorphology, n° 45, p: 35-51.

KOULINSKI V., 1994. Etude de la formation d'un lit torrentiel. CEMAGREF Etudes Equipements pour l'eau et l'environnement n° 15 ; 538 p.

LAHOUSSE P - **1991**. Mouvement de terrain ancien et héritages glaciaires sur le versant méridional du Granon (Briançonnais) : tentative d'établissement d'une chronologie relative, Méditerranée, n°4, p 23-30.

LAHOUSSE P - **1994**. Recherches géomorphologiques et cartographie des aléas naturels dans la vallée de la Guisane (Hautes-Alpes, Briançonnais). Thèse de doctorat, Université des Sciences et Technologies de Lille, 431 p.

LAHOUSSE P - **1996**. - Essai de cartographie intégrée des aléas naturels en zone de montagne : l'exemple de la vallée de la Guisane (Hautes-Alpes, Briançonnais). Annales de Géographie, 603, 473-492.

LAHOUSSE P - **1997**. L'apport de l'enquête historique dans l'évaluation des risques morphodynamiques : l'exemple de la vallée de la Guisane (Hautes-Alpes, Briançonnais). Revue de Géographie Alpine, n° 1, p. 53-60.

LAHOUSSE P., GUEN R - **1998**. Le lac proglaciaire d'Arsine (Hautes-Alpes, Briançonnais) : un risque de vidange brutale définitivement écarté ?. Revue de Géographie Alpine, 3, 49-59.

LAHOUSSE P., SALVADOR P.G - **1998a**. Briançon, 24 juillet 1995 : autopsie et enseignements d'une catastrophe naturelle, Mappemonde, n°50, pp. 8-12.

LAHOUSSE P., SALVADOR P.G - **1998b**. La crue torrentielle du Bez (Hautes-Alpes, Briançonnais), 24 juillet 1995. Geodinamica Acta, pp. 163-170.

LAHOUSSE P., SALVADOR P.G - **1999**., Éléments de réflexion sur la prévisibilité des crues torrentielles du 24 juillet 1995 dans la vallée de la Guisane, Revue de Géographie Alpine, n°4, 25-34 p.

LAHOUSSE P., GARITTE G., THENARD L - **2003**. Aléa et risque torrentiel dans le Briançonnais (Alpes françaises du sud). Cahiers de Géographie, n°1, collection EDYTEM, Université de Savoie ; pp. 191-201.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

LAHOUSSE P., GARITTE G., FLEZ C - **2005**. Conséquences cyndiniques de la réduction de l'emprise des torrents alpins sur leur cône de déjection. Actes des deuxièmes journées d'étude de CGMED « Risques Naturels & Environnement » Hammamet 11-13 oct. 2002 ; pp. 101-114.

LAHOUSSE P., ROMELE C - **2000**. Le Ravin des Sables (Hautes-Alpes, France) : un nouveau risque torrentiel dans la vallée de la Clarée. Revue de Géographie Physique et Quaternaire, n°1 ; pp. 271-280.

LAHOUSSE P., SALVADOR P.G - **2002**. Évaluation de la dangerosité du torrent du Verdarel (Hautes-Alpes, France). Géomorphologie, 1, 93-103.

LAHOUSSE P., SALVADOR P.G., FLEZ C - **2002**. Comportement hydrogéomorphologique d'un torrent alpin depuis 1995 : l'exemple du Ravin des Sables (Hautes-Alpes, France). Actes du colloque « Geomorphology: from expert opinion to modelling », CERG, Strasbourg, pp. 167-174.

LAMBIEL, C. - **2006.** *Le pergélisol dans les terrains sédimentaires à forte déclivité: distribution, régime thermique et instabilités***.** Thèse de doctorat. Institut de Géographie, Université de Lausanne, Travaux et Recherches n°33.

LANDON N., PIEGAY H., BRAVARD J.P - **1998**. The Drôme river incision (France): from assessment to management. Landscape and Urban Planning, vol. 43 ; pp. 119-131.

LE ROY LADURIE E - **1983.** L'histoire du climat depuis l'an mil. Éditions Flammarion, Paris ; 450 p.

LE ROY LADURIE E - **2004**. Histoire humaine et comparée du climat. Paris –Fayard ; 740 p.

LEMOINE M., BARFETY J.C., CIRIO R., TRICART P - **1994**. Montagnes du Briançonnais. Editions du BRGM ; 136 p.

LIEBAULT F - **2003**. Les rivières torrentielles des montagnes drômoises : évolution contemporaine et fonctionnement géomorphologique actuel (massif du Diois et des Baronnies). Thèse de doctorat, Université Lumière, Lyon II ; 357 p.

LIEBAULT F., CLEMENT P., PIEGAY H., ROGERS C.F., KONDOLF G.M., LANDON N - **2002**. Contemporary channel changes in the Eygues basin, southern French Prealps: the relationship of subbasin variability to watershed characteristics. Geomorphology. Vol. 45 ; pp. 53-66.

LIEBAULT F., GOMEZ B., PAGE M., MARDEN M., PEACOCK D., RICHARD D., TROTTER C. M - 2005. Land-use change, sediment production and channel response in upland regions. River Research and Applications, vol. 21 ; pp. 739-756.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

LIEBAULT F., PIEGAY H - 2001. Assessment of channel changes due to long-term bedload supply decrease, Roubion River, France. Geomorphology, n°36 ; pp. 167-186.

LIEBAULT F., PIEGAY H - 2002. Causes of 20th century channel narrowing in mountain and piedmont rivers of southeastern France. Earth Surface Processes and Landforms. Vol. 27 ; pp. 425-444.

LORY Ch - **1864**. Description géologique du Dauphiné, 3 tomes, Paris.

LOUBIER J.C - **2004**. Perception et simulation des effets du changement climatique sur l'économie du ski et la biodiversité. Thèse de doctorat, Université J. Fourier, Grenoble 1 ; 298 p.

LUCKMAN B - **1998**. Dendroglaciologie dans les rocheuses du Canada. Géographie Physique et Quaternaire, Vol. 52, n°2, p1 -13.

MALET J-P, VAN ASCH TWJ, VAN BEEK LH, MAQUAIRE O - 2002. Distributed hydrological modelling of the Super-Sauze earthflow (southeast France): implementation of the Starwars model. In Geomorphology, from Expert Opinion to Modelling, Delahaye D, Levoy F,Maquaire O (eds). Cerg Edition: Strasbourg; pp 65-72.

MANCHE Y - **1997**. Propositions pour la prise en compte de la vulnérabilité dans la cartographie des risques naturels prévisibles, Revue de Géographie Alpine, T. 85, n°2 ; pp.49-62.

MANCHE Y - **2000**. Analyse spatiale et mise en place de systèmes d'information pour l'évaluation de la vulnérabilité des territoires de montagne face aux risques naturels. Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble 1 ; 156 p.

MARCHI L., ARATTANO M., DEGANUTTI A., **2002**. Ten years of debris-flow monitoring in the Moscardo Torrent (Italian Alps). Geomorphology, n°46; pp. 1-17.

MARCHI L., BROCHOT S - **2000**. Les cônes de déjection torrentiels dans les Alpes françaises – Morphométrie et processus de transport solide torrentiel. Revue de Géographie Alpine, n°3 ; pp. 23-35.

MARCHI L., D'AGOSTINO V - **2004**. Estimation of debris-flow magnitude in the Eastern Italian Alps. Earth Surface Processes and Landforms, vol. 29 ; pp. 207-220.

MARCHI L., PASUTO A., TECCA P.R - **1993**. Flow processes on alluvial fans in the Eastern Italian Alps. Zeitscrhift für Geomorphologie, vol. 37, n°4 ; pp. 447-458.

MARCHI L., TECCA P.R - **1995**. Alluvial fans of the Eastern Italian Alps: morphometry and depositional processes. Geodinamica Acta, 8, 1 ; pp. 20-27.

MARCHI L., TECCA P.R - **1996**. Magnitudo delle collate detritiche nelle Alpi Orientali Italiane. Geoingegneria Ambientale e Mineraria, vol. 33, n°2-3 ; pp. 79-86.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

MARSTON R., BRAVARD J.P., GREEN T - **2003**. Impacts of reforestation and gravel mining on the Malnant River, Haute Savoie, France. Geomorphology, n°55 ; pp. 65-74.

MARTIN-COCHER J - **1984**. Etude géologique de la stabilité des versants sur la rive droite de l'Arc entre St-Michel-de –Maurienne et la Praz (Savoie). Thèse de 3ième cycle, Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 264p

MARTONNE de E - **1913**. Le climat facteur du relief. Science, p 339-355.

MAY C.L., GRESSWELL R.E., 2004. Spatial and temporal patterns of debris-flow deposition in the Oregon Coast Range, USA. *Geomorphology*, n°57 ; 135-149.

MELTON M. A - **1957**. An analysis of the relations among elements of climate, surface properties, and geomorphology, *Office of Naval Research*, technical report n°11, 1957.

MELTON M.A - **1965**. The geomorphic and paleoclimatic significance of alluvial deposit in Southern Arizona. Journal of Geology, vol 73 ; pp. 1-38.

MESCHINET DE RICHEMOND N - **2003**. Statut et perception des catastrophes passées : vers une histoire des risques naturels. In : MORINIAUX V. (dir.), Les risques. Editions du Temps ; pp. 138-156.

MEYZENQ C - **1984**. Hautes-Alpes : Ubaye, Haut-Drac, préalpes drômoises. Editions OPHRYS ; 954 p.

MINVIELLE E ; SOUIAH S - **2003.** *L'analyse statistique et spatiale : statistiques, cartographie, télédétection, SIG.* Coll. Outils et méthodes en géographie, Éditions du Temps, Nantes, 284 p.

MIRAMONT C, JORDA M, PICHARD G - **1998**. Evolution historique de la morphogenèse et de la dynamique fluviale d'une rivière méditerranéenne : l'exemple de la moyenne Durance (France du sud-est). Géographie physique et Quaternaire, vol 52, n° 3, p : 1-13.

MIRAMONT C**.** - **2000**. Evolution temporelle de la dynamique érosive et sédimentaire dans les Alpes du Sud : l'exemple des bassins de « terres noires » et de la Durance. Forêt méditerranéenne, n°2, p : 195-201.

MIRAMONT C., GUILBERT X., **-1997**. Variations historiques de la fréquence des crues et évolution de la morphologie fluviale en moyenne Durance (France du sud-est). Géomorphologie, 4, p: 325-339.

MIRAMONT C., JORDA M., PICHARD G - **1998**. Evolution historique de la morphogenèse et de la dynamique fluviale d'une rivière méditerranéenne : l'exemple de la moyenne Durance (France du sud-est). Géographie Physique et Quaternaire, vol 52, n°3 ; pp. 1-13.

MOJUVENT G. - **1978**. Drac, morphologie, stratigraphie et chronologie quatrenaires d'un bassin alpin. Thèse de doctorat, Université Joseph Fournier, Grenoble, p 431.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

MONNIER S - **2006**. Les glaciers-rocheux, objets géographiques. Analyse spatiale multiscalaire et investigations environnementales. Application aux Alpes de Vanoise. Thèse de doctorat, Université Pais XII- Val de Marne.p 320.

MORISAWA M – **1958.** Measurement of drainage-basin outline form, *Journal of Geology*, vol. 66, pp. 587–91.

MOUGIN P. - **1931**. La restauration des Alpes. Imprimerie Nationale, Paris, 584 p.

MOYRAND-GATTEFOSSÉ - **1982**. Saint-Chaffrey. Approche historique et témoignage. *Édité par la commune de Saint-Chaffrey*, 186 p.

MULLER D, DAVID F et WICHA S- **2000**. Impact de l'exposition des versants et de l'antropisation des versants sur la dynamique forestière dans les Alpes du Sud (France). *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 54, n° 2, p. 231-243.

NAKAGAWA T., EDOUARD J.L., DE BEAULIEU J.L - **2000**. A scanning electron microscopy (SEM) study of sediments from Lake Cristol, southern French Alps, with special reference to the indentification of Pinus cembra and other alpine Pinus species based on SEM pollen morphology. Review of palaeobotany and palynology, vol. 108 ; pp. 1-15.

OZENDA P. et CADEL - **1981**., Analyse et cartographie des groupements végétaux de la Guisane (Hautes-Alpes). In. Recherches en Briançonnais, publié par le CEMAGREF Groupement de Grenoble, avec le concours de la DGRST, fasc n°2, p 5-13.

OZENDA P - **1985**. La végétation de la chaîne alpine. Masson ; 330 p.

PARDÉ J - **1961**. Dendrométrie, Éditions Louis Jean, Cap, Nancy, 350 p.

PARDÉ, J. ET J. BOUCHON - **1988**, Dendrométrie. 2e édition. Ecole nationale du génie rural, des eaux et forêts, Nancy, France, 328 p.

PARRY S., RUSE M. E., WILLIAMSON S. J - **2005**. Discussion on "Hazard assessment of debris flows for Leung King Estate of Hong Kong by incorporating GIS with numerical simulations". Natural Hazard and Earth System Sciences, vol. 5 ; pp. 23-24.

PASUTO A., SOLDATI M - **2004**. An integrated approach for hazard assessment and mitigation of debris flows in the Italian Dolomites. Geomorphology, vol. 61 ; pp. 59-70.

PAYRASTRE O., GAUME E., ANDRIEU H - **2006**. Apport du recueil de données historiques pour l'étude des cures extrêmes de petits cours d'eau. Etude de cas de quatre bassins versants affluents de l'Aude.La houille Blanche n°6, p 79-85.

PECH P et JOMELLI V- **2001**. le rôle du cône apical dans le déclenchement des coulées de débris alpines dans le massif du Dévoluy, Hautes-alpes (France), Géographie Physique et Quaternaire, vol 55, n°1, p 47-61.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

PEGUY C.P - **1938**. Structure, hydrographie et relief du N.O du Briançonnais. Bull. Assoc. Géogr. France., p 79-84.

PEGUY C.P - **1942**., Une analyse morphométrique de la zone intra-alpine dans les Alpes Méridionales. Bull. Assoc. Géogr. Fr., p 22-24.

PEGUY C.P - **1947**. Haute-Durance et Ubaye. Esquisse physique de la zone inter-alpine des Alpes françaises du sud. Thèse de doctorat, Editions Arthaud, Grenoble ; 314 p.

PEGUY C.P - **1978**. Le climat de Mônetier-les-Bains et de Briançon. Recherches méthodologiques et actualisation des données. Travaux du Laboratoire du Laboratoire de Géographie Physique, Université de Paris 7, n°5, fasc. 2 ; pp. 1-52.

PEGUY C.P - **1981**., Le Monêtier, mise au point climatique. In. Recherches en Briançonnais, publié par le CEMAGREF Groupement de Grenoble, avec le concours de la DGRST, fasc n°2, p 21-35.

PEIRY J.L - **1990**. Les torrents de l'Arve : dynamique des sédiments et impact de l'aménagement des bassins versant sur l'activité torrentielle. Revue de Géographie Alpine, tome 78, n°1-2-3 ; pp. 25-58.

PEIRY J.L., SALVADOR P.-G., NOUGUIER F - **1994**. L'incision des cours d'eau dans les Alpes du Nord : état de la question. Revue de Géographie de Lyon, n°69 ; pp. 47-56.

PELTIER A - **2005**. La gestion des risques naturels dans les montagnes d'Europe occidentale. Etude comparative du Valais (Suisse), de la vallée d'Aoste (Italie) et des Hautes-Pyrénées (France). Thèse de doctorat, Université Toulouse le Mirail ; 741 p.

PÉRINET F - **1993**. Torrent du Bez : prise en compte des risques torrentiels dans le plan d'occupation des sols. Rapport inédit, service RTM des Hautes Alpes, 5 p.

PIEGAY H et BRAVARD J.P - **2000**. Les relations "Nature-Société" dans les hydrosystèmes fluviaux, Géocarrefour, Vol.75, n°4, p273-274.

PIEGAY H, LANDON N - **1994**. L'incision de deux affluents subméditerranéens du Rhône : la Drôme et l'Ardèche. . Revue de Géographie de Lyon, Volume 69, n°1, pp : 63-72.

PIEGAY H, WALLING DE, LANDON N, HE Q, LIEBAULT F, PETIOT R - **2003**. Contemporary changes in sediment yield in an alpine mountain basin due to afforestation (the upper Drôme in France).

PIEGAY H., PAUTOU G., BRAVARD J.P - **2003**. L'histoire contemporaine des marges fluviales : entre renaturation et dénaturation. In : PIEGAY H., PAUTOU G., RUFFINONI C., Les forêts riveraines des cours d'eau. Institut pour le Développement Forestier ; pp. 72-92.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

PIEGAY H., SALVADOR P.G - **1997**. Contemporary flood forest evolution along the middle Ubaye River, Southern Alps, France. Global Ecology and Biogeography Letters, n°6, p: 397-406.

PIEGAY H., SALVADOR P.G., ASTRADE L - **2000**. Réflexions relatives à la variabilité spatiale de la mosaïque fluviale à l'échelle d'un tronçon. Z. Geomorph. N. F, tome 44, n°2, p: 317-342.

PIEGAY H., WALLING D.E., LANDON N., HE Q., LIEBAULT F., PETIOT R - **2004**. Contemporary changes in sediment yield in an alpine mountain basin due to deforestation (the upper Drôme in France). Catena, vol. 55 ; 183-212.

PIGEON P - **2005**. Géographie critique des risques. Economica , 217 p.

P.I.R.D.E.S. - **1980**. *Atlas des fréquences de l'insolation journalière dans le midi méditerranéen*. Laboratoire associé n°6 et Equipe de recherche CNRS n°30, Grenoble.

REBETEZ M., DOBBERTIN M - **2004**. Climate change may already threaten Scots pine stands in the Swiss Alps. Theoretical and Applied Climatology, vol. 79 ; pp. 1-9.

REBETEZ M., LUGON R., BAERISWYL P.A - **1997**. Climatic change and debris flows in high mountain regions: the case study of the Ritigraben Torrent. Climatic Change, vol. 36 ; pp. 371-389.

REMAITRE A - **2006**. *Morphologie et dynamique des laves torrentielles : Applications aux torrents des Terres Noires du bassin de Barcelonnette (Alpes du Sud)*. Thèse de doctorat, Université de Caen Basse-Normandie, p 487.

REMAITRE A, MAQUAIRE O, PIERRE S - **2002**. Analyse d'une lave torrentielle dans le torrent de Faucon (bassin de Barcelonnette, Alpes-de-Haute-Provence).Détermination des zones de déclenchement et de contribution. Géomorphologie : relief, processus, environnement, janvier-mars, n°1, p : 71-84.

RISSER V., **1979**., Etude fréquentielle de l'enneigement et analyse des derniers staades de l'évolution du manteau neigeux dans les staions témoins des Alpes françaises. Thèse de 3ième cycle, Grenoble, 186p.

ROMAN J - **1887**. Les causes du déboisement des montagnes d'après des documents historiques du 13ème au 18ème siècle. Imprimerie J-C Richaud, Gap ; 14 p.

RONCHAIL et LECOMPTE - **1981**., Essai de climatologie dynamique dans le Briançonnais. In. Recherches en Briançonnais, publié par le CEMAGREF Groupement de Grenoble, avec le concours de la DGRST, fasc n°5, p 67-103.

SAINT-GERAND T - **2002**. SIG : Structures conceptuelles pour l'analyse spatiale. Thèse d'HDR, Univ. De Rouen, 187 p.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

SALVADOR P G - **1991**. Le thème de la métamorphose fluviale dans les plaines alluviales du Rhône et de l'Isère (Bassin de Malville et Ombilic de Moirans, Bas-Dauphiné). Thèse de géographie, Université Lyon III, 498 pp.

SERRATE., 1981., Quelques aspects de l'évolution morphologique du versant d'adret de la Tête Noire du Galibier. In. Recherches en Briançonnais, publié par le CEMAGREF Groupement de Grenoble, avec le concours de la DGRST, fasc n°5, p 107-137.

SCHOENEICH P., BUSSET-HENCHOZ M.C. - **1998**. La dissonance cognitive : facteur explicatif de l'accoutumance au risque. *Revue de Géographie Alpine*, n°2 ; pp. 53-60.

SCHUMM S -**1956**. The evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy,New Jersey, *Bulletin of Geological Society of America*, vol. 67, 1956, pp. 597–646.

SCHUMM S.A - **1977**. The fluvial system. New York: Wiley, 338 p.

SURELL A - **1841**. Etude sur les torrents des Hautes-Alpes. Dunod, 1ière édition, Paris, 603 p.

STOFFEL M - **2006**. Estimating Magnitude-Frequency Relationships for Debris Flows on Forested Cones. Working Concept and Preliminary Results. Disaster Mitigation of Debris Flows, Slope Failures and Landslides. pp 159-165.

STOFFEL M, BENISTON M - 2006.On the incidence of debris flows from the early Little Ice Age to a future greenhouse climate: A case study from the Swiss Alps, Geophysical research letters, Vol. 33, pp 1-4.

STRAHLER A.N -**1952**. Hypsometric (area– altitude) analysis of erosional topography. *Geol. Soc. Am.* Bull. 63, pp 1117–1142.

STRAHLER, A.N - **1957**. Quantitative analysis of watershed geomorphology.*American. Geophysical Union Transactions*, 36 (6), pp 913-920.
SHREVE R L - **1966**. Statistical law of stream numbers, *Journal of Geology*, vol. 74, pp17-37.

SURELL A - **1841**. *Etude sur les torrents des Hautes-Alpes.*1ière édition, Paris, 603 p.

SURELL A - **1870**. Etude sur les torrents des Hautes-Alpes. 2ème édition, 2 tomes avec une suite de CEZANNE E., Dunod, Paris ; 603 p.

TALON B., CARCAILLET C., THINON M - **1998**. Etudes pédoanthracologiques des variations de la limite supérieure des arbres au cours de l'holocène dans les Alpes françaises. Géographie Physique et Quaternaire, vol. 52, n°2 ; pp. 1-14.

THENARD L - **2002**. Morphodynamique récente d'un système fluvial alpin : l'exemple de la basse vallée de la Clarée (Hautes-Alpes, France). Mémoire de DEA, UFR de Géographie et aménagement, Université des Sciences et Technologies de Lille ; 96 p.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

THENARD L - **2007**.L'apport d'une approche spatiale multiscalaire dans l'analyse des morphodynamiques torrentielles récentes et des risques associés dans la vallée de la Guisane (France, Hautes-Alpes) : l'exemple du torrent du Grand Tabuc. *Actes de la JJG organisé par le Groupe Français de Géomorphologie (19 janvier)*.

THENARD L., GARITTE G - **2005**. La crue de la rivière torrentielle Clarée du 15 octobre 200 (Haute-Alpes-France). Cahiers de Géographie Physique, n°15, p 32-48.

THEVENET G., ASTRADE L., BRAVARD J.P - **2003**. La métamorphose des lits torrentiels à la fin du 19ème siècle : un effet du changement climatique ou du reboisement (bassin du Haut-Bez-Drôme). Cahiers de Géographie, n°1, collection EDYTEM, Université de Savoie ; pp. 115-122.

THIERY E - **1891**. Restauration des montagnes, correction des torrents, reboisement. Encyclopédie des Travaux Publics, Librairie Polytechnique Baudry et Cie, Paris ; 527 p.

THIÉRY E - **1891.** Restauration des montagnes, correction des torrents, reboisement. Encyclopédie des Travaux Publics, Librairie Polytechnique Baudry et Cie., Paris, 527 p.

TRICART J - **1960**. Quelques données au sujet du rôle de la neige dans la crue du Guil en juin 1957. Revue de Géographie Alpine, tome LXVIII, n°2, p : 333-344.

TRICART J - **1960.** Quelques données au sujet du rôle de la neige dans la crue du Guil en juin 1957. Revue de Géographie Alpine, t. 48, n°2 ; pp. 334-344.

TROPEANO D., TURCONI L - **2003**. Geomorphic classification of alpine catchments for debris-flow hazard reduction. In: RICKENMAN & CHEN (Eds), Debris-Flow Hazard Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment. Milpress, Rotterdam ; pp. 1221-1232.

TROPEANO D., TURCONI L - **2004**. Using historical documents for landslide, debris flow and stream flood prevention in Northern Italy. Natural Hazards, n°31 ; pp. 663-679.

VALLON M - **1986**. Le lac du glacier d'Arsine (Hautes-Alpes). Risques Naturels et mesures à prendre. *Laboratoire de glaciologie et Géophysique de l'Environnement du C.N.R.S, associé à l'Université Scientifique et médicale de Grenoble*. Rapport préliminaire, 7p.

VAUMAS d E - **1948**. L'évolution morphologique des Alpes du Sud (régions intra-alpines), Revue de Géographie Alpine. Tome 36, 184-214p.

VEYRAT-CHARVILLON S - **2005**. Elaboration d'une méthode de prédiction du volume maximal d'une lave torrentielle. Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand ; 356 p.

VEYRET Y (Sous la dir.de) - **2003**, Les Risques, Armand Colin Editions, Paris.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

VEYRET Y., PECH P - **1994**. Relation élevage-couvert végétal-érosion. De l'animal « destructeur » à l'animal « protecteur » : deux visions à un siècle de distance. Réseau érosion, bulletin n°14, ORSTOM ; pp. 399-409.

VEYRET Y., VIGNEAU J.P - **2004**. Risques et développement durable. Historiens & Géographes, n°387 ; pp. 241-248.

VIGNEAU J.P - **2005**. Le réchauffement global : entre principe de précaution et rigueur scientifique. Bulletin de l'Association de Géographes Français – Géographies, n°4 ; pp. 497-509.

VILA JP - 1986. Étude des effets provoqués par la chute de séracs dans le lac d'Arsine, Rapport CEMAGREF, Division nivologie, Saint-Martin-d'hères.

VIVIAN R - **1975**., Les glaciers des Alpes Occidentales. *Thèse*, Grenoble, 513p.

VIVIAN R - **1997**. La mesure de l'érosion des glaciers tempérés. Essai de synthèse. Revue de Géographie Alpine, n°1 ; pp. 9-32.

WARNER R.F - **2000**. Cross channel changes along the Durance River, Southern France, over the last 100 years using cartographic data. Regulated Rivers: Research and Management, vol. 16 ; pp. 141-157.

LEOPOLD L. B., MILLER R L - **1956**. Ephemeral stream-hydraulic factors and their relation to the drainage network. *USGS Professional Paper*, n° 282-A.

.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Résumé:

La Guisane doit essentiellement sa notoriété actuelle à la création et au développement de la station touristique de Serre-Chevalier depuis les années 1950. En Guisane, la station regroupe les communes du Monêtier-les-Bains, de la Salle-les-Alpes, de Saint-Chaffrey et de Briançon. Cette reconversion économique a métamorphosé ces communes que se soit au plan de l'aménagement du territoire qu'au niveau socio-économique. Nombre d'espaces anciennement et prudemment délaissés *(cônes torrentiels et basses terrasses de la Guisane)*, ont alors fait l'objet d'une urbanisation massive. Les cônes de déjection torrentiels se trouvent être le cadre de cette "rivalité" spatiale, et en conséquence, l'espace du risque. Avec une capacité d'accueil de l'ordre de 40 000 à 50 000 lits fin 2006[175], Serre-Chevalier reste aujourd'hui le fer de lance de l'industrie touristique en briançonnais. Mais avec la trentaine de torrents actifs de la vallée, la station est également et bien involontairement emblématique du risque torrentiel.

Cette situation de vulnérabilité face à un aléa torrentiel toujours omniprésent s'est concrétisée lors des crues récentes du torrent du Verdarel *(09/071981),* du torrent du Bez *(24/071995)* ou lors des crues torrentielles concomitantes du printemps 2008. Pour autant, les notions de risque et de gestion du risque sont très inégalement appréciées et appliquées dans la vallée. En effet, les relations "torrents-société" restent assez conflictuelles, et l'intégration du risque torrentiel dans les projets de rénovation ou d'aménagement est aujourd'hui encore souvent perçue comme une contrainte supplémentaire au développement. Actuellement, ce thème est d'autant plus sensible que l'approbation des Plan de Prévention des Risques Naturels *(PPRN)* pour les 3 communes de la vallée devrait être effective dès la fin 2009.

Ce travail se caractérise par une approche transversale couplant des investigations de terrains *(levés topométriques, dendrochronologie, etc.)* et des analyses réalisées *ex situ (redressement géométrique et analyse diachronique de photographies aériennes, S.I.G, etc.)*. Dans un premier temps, notre démarche a consisté à rassembler un maximum de données sur les 36 torrents guisanais étudiés. Ce qui, jusqu'à présent, n'avait jamais été réalisé à cette échelle. Par la suite, une typologie fonctionnelle des torrents a été proposée afin de poser les bases d'un diagnostic de l'aléa torrentiel à l'échelle de la vallée. Ce dernier repose essentiellement sur la notion de "potentialité". L'étude de l'évolution des dynamiques contemporaines dans le cadre du développement de Serre-Chevalier a permis de mieux cerner l'inexorable montée de la vulnérabilité. Enfin, le bilan et la mise en perspective de la gestion passée et actuelle du risque nous a permis d'avancer quelques propositions pour une gestion plus durable de la menace torrentielle à Serre-Chevalier. Par ailleurs, un Système d'informations sur le Risque Torrentiel à Serre-Chevalier (SIRTOS) a été conçu. En espérant qu'à terme, il contribuera par son interopérabilité, par l'enrichissement de futures recherches et surtout par son intégration dans les projets d'aménagement, à une gestion plus durable du risque torrentiel à Serre-Chevalier.

[175] *Source* : Comité départemental du tourisme (05).

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Abstract:

The Guisane valley is essentially its current reputation in the creation and development of the tourist resort of Serre-Chevalier since the 1950's. In Guisane, the resort includes the municipalities of Monetier-les-Bains, La Salle les Alpes, Saint-Chaffrey and Briançon. This economic restructuring has transformed these common be it in terms of land that socio-economic development. Many areas formerly neglected and cautiously *(especially alluvial fans)*, then subject of a massive urbanization. The alluvial fans happen to be part of this "rivalry" space, and therefore the risk area. With a capacity of around 40 000 to 50 000 beds in late 2006, Serre-Chevalier is now the backbone of tourism industry in Briançon. But with thirty active torrents, the resort is also well unintentionally emblematic of torrential risk.

This situation of vulnerability to a hazard torrential omnipresent took shape during the recent flood torrent Verdarel *(09/071981)*, the stream of Bez *(24/071995)* or concomitant torrential floods of spring 2008. Recently, a new flood of Verdarel *(01/09/2005)* recalled that the risk is still this torrent for local residents.

However, the concepts of risk and risk management are very unevenly applied and appreciated in the valley. Indeed, relations "torrents-society" are quite conflicting, and integration of risk in torrential renovation projects or development is still often seen as a further constraint to development. Currently, this topic is even more sensitive than the approval of the Plan of Prevention of Natural Risks *(NRPP)* for the 3 communes in the valley should be effective at the end of 2009.

This work is characterized by a transversal approach combining investigation of land *(survey topometric, dendrochronology, etc.),* analyzes realised *ex situ (geometric relief and diachronic analysis of aerial photographs, GIS, etc.)*. Initially, our approach was to collect as much data on the 36 streams studied guisane. This until now had never been done on this scale. Subsequently, a functional torrential typology has been proposed to lay the groundwork for a diagnosis of torrential hazard across the valley. The latter is essentially based on the concept of "potentiality". The study of the evolution of contemporary dynamics in the development of Serre-Chevalier has helped to clarify the inexorable rise of vulnerability. Finally, the review and put into perspective of past and current management of risk has put forward some proposals for more sustainable management of the threat torrential in Serre-Chevalier. Furthermore, a system of information on the torrential risk in Serre-Chevalier (SIRTOS) was designed. We hope that eventually it will contribute its interoperability, the enrichment of future research and especially for its integration into development projects to more sustainable management of the torrential risk in Serre-Chevalier.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Table des figures

Figure 1 : Inondation à Saint-Pons-les-Mûres du 19/09 /2009. 14
Figure 2 : Schéma conceptuel de la notion de risques naturels. 16
Figure 3 : Lave torrentielle catastrophique 2005, Glyssibach Brienz; Canton de Bern.source:Agence photographique Hug, Barberêche 19
Figure 4 : Localisation de la vallée de la Guisane. 20
Figure 5 : L'environnement des organismes torrentiels (Garitte, 2006). 23
Figure 6: contexte oro-hydrographique de la vallée de la Guisane 43
Figure 7: Contrastes d'exposition dans la vallée de la Guisane 44
Figure 8 : Un évasement progressif du fond de vallée vers l'aval. 46
Figure 9 : Caractéristiques topographiques de la vallée de la Guisane. 47
Figure 10: une dissymétrie marquée des versants. 49
Figure 11 : Normales climatiques de la station de Briançon (1971-2000). 53
Figure 12 : Schématisation des domaines climatiques de la Haute-Durance (Baraille, 2001) 54
Figure 13 : Les caractéristiques pluviométriques de Briançon (1951- 2003). 56
Figure 14 : Inconstance de la pluviométrie mensuelle dans le briançonnais [1951-2003] (printemps-été) 58
Figure 15 : Variabilité des précipitations annuelles au Monêtier-les-Bains (Jomelli et al., 2004) 59
Figure 16 : Forte occurrence et grande variabilité des journées orageuses dans le Briançonnais (Briançon : 1970-2004) 60
Figure 17 : Les contrastes de la couverture forestière des versants guisanais. 62
Figure 18 : Les grands traits de l'occupation du sol en Guisane. 63
Figure 19 : Cartographie simplifiée de l'évolution de l'occupation des sols en Guisane. 64
(1850-2000). 64
Figure 20 : Contexte géologique simplifié du Briançonnais et de la vallée de la Guisane 66
Figure 21 : Les héritages glaciaires en Guisane 67
Figure 22 : Schéma structural de la vallée de la Guisane. 69
Figure 23 : Retombée orientale du massif du Combeynot. 71
Figure 24 : Les nappes de charriage en Guisane : exemple du contact "anormal". 73
Figure 25 : Un broyage tectonique intense. 76
Figure 26 : Tectonique et torrentialité : exemple du torrent de Chanteloube. 77
Figure 27 : Diversité et richesse du "patrimoine" géomorphologique. 81
Figure 28 : Reconstitution de la géométrie du glacier durancien lors du DMG 83
(Pléniglaciaire Würmien) 83
Figure 29 : Une empreinte glaciaire omniprésente. 85

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Figure 30 : Schéma simplifié et supposé du désenglacement de la vallée de la Guisane depuis la fin du DMG 89
Figure 31 : 5 grands stades de récession glaciaire en Guisane depuis le DMG (Würm) 91
Figure 32 : Témoignages morphologiques du désenglacement des vallons secondaires :..... 93
Exemple des Prés-les-Fonts. 93
Figure 33 : Les modelés glaciaires PAG en Guisane : exemple du vallon du Petit Tabuc. 95
Figure 34 : Localisation du glacier du Monêtier (Torrent du Grand Tabuc). 96
Figure 35 : Héritages glaciaires PAG et contemporains dans le vallon du Grand Tabuc. 98
Figure 36: 25/07/2006 - Traversée des moraines contemporaines (1920's) 99
dans l'actuel vallon du Grand Tabuc. 99
Figure 37 : De nombreuses connexions morphodynamiques entre le domaine périglaciaire et les lits torrentiels. 104
Figure 38 : Variation altitudinale de la frange à pergélisol discontinu dans quatre massifs alpins 109
Figure 39 : Les anciens glaciers rocheux de Valleyssart (versant mérodional du Combeynot). 110
Figure 40 : Géomorphologie du massif du Combeynot (Source : Bodin, 2007)..... 112
Figure 41 : L'instabilité des formations superficielles au service de la recharge sédimentaire des lits torrentiels. 114
Figure 42 :Ampleur et extension des mouvements de terrain passés et actuels dans la vallée de la Guisane (adaptée de Lahousse, 1994). 116
Figure 43: Diversité des mouvements de terrain en Guisane. 118
Figure 44: Un contexte morphostructural propice au développement d'une torrentialité marquée et de forte occurrence (exemple du torrent du Merdarel). 120
Figure 45: Instabilité des versants et recharge des lits torrentiels (exemple du torrent du Merdarel). 122
Figure 46: Exemple de transects mesurés sous SIG après la géolocalisation et le redressement géométrique du cliché de 1952. En blanc, la bande active du Grand Tabuc en 1952, en noir celle de 2003. 134
Figure 47: Redressement géométrique d'extrait de cliché aérien (IGN©)..... 135
Figure 48: Analyse spatiale et topographique sous Envi 4.0. 137
Figure 49: Exemple d'utilisation des données issues des tecniques de télédétection (CLC, 1999) 139
Figure 50: Les échantillonages et les datations dendrochronologiques. 158
Figure 51: Analyse du contexte géomorphologique du torrent du Verdarel sous S.I.G 164
(MapInfo 7.5). 164
Figure 52: SIRTOS : un outil d'aide à l'analyse et à la gestion du risque torrentiel à Serre-Chevalier 166

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Figure 52: SIRTOS : un outil d'aide à l'analyse et à la gestion du risque torrentiel à Serre-Chevalier 166
Figure 53: Requête"SQL" sous MapInfo 7.5© 169
Figure 54: exemple d'intégration de données de terrain dans le SIRTOS. 172
Figure 55: Schéma conceptuel et relationnel du SIRTOS. 174
Figure 56: Exemple d'une analyse thématique sur le torrent du Verdarel. 176
Figure 57: Carte de localisation et d'identification des torrents de la vallée de la Guisane concernés par l'analyse morphométrique. 182
Données extraites de la base "Morphométrie" du SIRTOS. 182
Figure 58: Ordination de Strahler : digitalisation et création de la base de données associée sous SIG (Map Info 7.5©)- Exemple du Torrent du Rif (Com. du Monêtier-les-Bains. 184
Données extraites de la base "Hydrologie" du SIRTOS. 184
Figure 59: Une grande disparité de taille et de forme des torrents de la Guisane. 189
Données extraites de la base "Morphométrie" du SIRTOS. 189
Figure 60: Taux de boisement (%) des torrents de la Guisane. 192
(en % de la surface totale = ABV + ACD) 192
Données extraites de la base "Morphométrie" du SIRTOS 192
Figure 61 : Ancien four à chaux artisanal en rive gauche du torrent de la Salle [Id. 27]. Cliché : 19/07/2006 – L. Thénard 193
Figure 62: Analyse des paramètres de taille (surface totale = A_{BV} + A_{CD}). 195
Figure 63: Analyse des paramètres de pente : l'indice de rugosité de Melton 198
Figure 64: Etude des surfaces des cônes torrentiels en Guisane 203
Figure 65: Matrice des corrélations de Pearson (R). 211
Figure 66: Relation entre la pente et la surface des bassins torrentiels. 212
Figure 67: Relation entre la pente (M_{BV}) et la surface des bassins torrentiels (A_{BV}) de la vallée de la Guisane. 213
Figure 68: Relation entre la largeur de vallée et la surface des cônes torrentiels. 215
Figure 69: Typologie dynamique par l'analyse bivariée de paramètres de pente (PCD et MBV). 217
Figure 70: Coupe sur le cône du torrent de Saint-Bernard (octobre 2007). 219
Figure 71: Cercles des corrélations (A.C.P n° 2) 221
Figure 72 : Dendrogramme issue de la Classification Ascendante Hiérarchique n°2 223
Figure 73: Nuages de points (F1-F2) et discrétisation graphique issue de la C.A.H (A.C.P n° 2) 224
Figure 74: Lave torrentielle du Torrent du Merdarel [Id 19] le 12/07/1991. 228
Figure 75: Localisation des morphotypes torrentiels en Guisane. 230
Figure 76: 13/10/2007 - Vue sur le bassin versant du Rif Blanc. 236
Figure 77: Croquis géomorphologique du torrent de la Liche [ID. 5] 238

© 2011 Tous droits réservés. http://doc.univ-lille1.fr

Figure 78: Croquis géomorphologique du T. de Saint-Joseph [Id. 15] : exemple de la diversité des sources sédimentaires d'un torrent composite..... 243
Figure 79: Torrent de Chanteloube (ou des Guibertes) [Id 20]. 244
Figure 80: Physionomie et stabilité actuelle de certains lits torrentiels composites en basse vallée de la Guisane. 248
Figure 81: Torrent de la Moulette [Id18] 250
Un exemple de torrent composite "contraint" par le cadre morphostructural..... 250
Figure 82: Le torrent pro-glaciaire du Petit Tabuc : 257
Un affluent majeur de la Guisane à faible capacité mobilisatrice 257
Figure 83: Une dynamique torrentielle fortement contrainte par le cadre morpho-structural de son bassin de réception..... 259
Figure 84 : Le torrent composite proglaciaire en 2003 (morphotype C). 262
Figure 85: Les grandes caractéristiques morphométriques du torrent du Grand Tabuc 264
Figure 86: Spécificités fonctionnelles et morphologiques des morphotypes torrentiels..... 269
Figure 87: Cartographie de la "potentialité" de l'aléa torrentiel à Serre-Chevalier. 275
Figure 88: Example of a debris flow hazard map for an area near Boise, Idaho, taht indicates potential volumes for debris flows geberated by burned b aisns in response to 10 mm of rainfall. 276
Figure 89 : 08/10/2007 - Moraines "historiques" (PAG) du glacier des Prés-les-Fonts. Cliché : L. Thénard. 279
Figure 90: 21/07/2006. Végétalisation "progressive" de la moraine PAG du glacier du Casset. 280
Figure 91: Le recensement des crues historiques comme témoin de l'évolution de la relation "torrent-société" 284
Figure 92: Distribution séculaire des crues torrentielles en Guisane 285
(rivière et torrents) Période : 1394-2008.. 285
Figure 93: Nombre de crues recensées , par torrent, en Guisane (1394-2008) 287
Figure 94: Croquis schématique des styles torrentiels..... 290
sur les cônes de déjection de la vallée de la Guisane 290
Figure 95: L'exemple des torrents du Rif Blanc et des Vallois à la morphodynamique actuelle "mixte" (torrentielle et avalancheuse) et de forte occurrence. 293
Figure 96: Evolutions récentes et actuelles des zones d'emprise..... 295
des torrents du Rif Blanc et des Vallois. 295
Figure 97: Lave torrentielle dans le torrent des Vallois le 15/07/2001. 298
Figure 98 : Croquis des ouvrages de protection 299
à l'apex du cône du torrent des Vallois. 299
Figure 99: 15/07/2001. Vue partielle du tunnel des Vallois. 300
Figure 100 : Crue du torrent du Rif Blanc du 20 mai 2008. 302

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Figure 101 : Le torrent du Haut-Etret : l'exemple d'un torrent élémentaire de la haute vallée en cours de rétraction, mais maintenant l'image d'un torrent dangereux. 303
Figure 102 : Localisation du torrent de Saint-Joseph. 306
Figure 103: Source de la Rotonde. 306
Figure 104: Une instabilité chronique du bassin du Saint-Joseph. 307
Figure 105: Stèle commémorative des crues dévastatrices de 1856. 308
Figure 106: Correction RTM passée et actuelle dans le torrent de Saint-Joseph 309
(Comm. du Monêtier-les-Bains). 309
Figure 107: Le Saint-Joseph :un modèle contemporain de dynamique anthropisée 311
et du savoir-faire RTM en Guisane. 311
Figure 108 : Plus d'un siècle de correction torrentielle dans le torrent de Saint-Joseph..... 313
Figure 109: Une tendance actuelle à la protection "passive" sur les cônes torrentiels :..... 315
l'exemple du Saint-Joseph. 315
Figure 110 : Localisation du torrent de Sainte-Elisabeth. 317
Figure 111: 15/07/2006. Chenal "anthropisé" du Sainte-Elisabeth, situé au coeur du village de Saint-Chaffrey. 318
Figure 112: (A & B)- 15/07/2006. Pont-levis du torrent de Sainte-Elisabeth construit..... 319
au début du 20^{ième} siècle. 319
Figure 113: Affleurement et éboulisation des quartzites 320
dans le haut bassin versant du torrent de Sainte-Elisabeth..... 320
(comm. de Saint-Chaffrey). 320
Figure 114 : Instabilité du haut bassin versant du torrent de Sainte-Elisabeth. 321
Figure 115: Description de la crue du torrent de Sainte-Elisabeth du 07 juin 1879 , ... 322
dans une lettre du garde-mines adressée au Sous-Préfet de Briançon. 322
Figure 116: Barrages RTM de la décennie 1930 dans le haut bassin versant..... 323
du torrent de Sainte-Elisabeth. 323
Figure 117 : Cartographie des principaux ouvrages de la correction torrentielle dans le torrent des Sainte-Elisabeth. 325
Figure 118: Ajustements contemporains et actuels aux évolutions 326
des paramètres environnementaux. 326
Figure 119: Végétalisation actuelle du lit du Sainte-Elisabeth..... 327
Figure 120: Ravine en activité dans le bassin de réception..... 328
Figure 121: ravine en rive gauche du chenal principal..... 329
du Sainte-Elisabeth, en cours de végétalisation. 329
Figure 122: Localisation du torrent du Grand Tabuc. 332
Figure 123 : Cadre géographique du torrent du Grand Tabuc 333
Figure 124: Caractéristiques granulométriques des sédiments 334
de la bande active du Grand Tabuc. 334

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Figure 126: Evolution contemporaine du torrent du Grand Tabuc. 337
Figure 127: Comparaison et quantification de la rétraction de la bande active après redressement géométrique de clichés aériens (1952 et 2003) dans le haut bassin versant du Grand Tabuc. 339
Figure 128: Section supérieure du torrent du Grand Tabuc, stabilisée et spontanément végélalisée au cours de la période contemporaine. 340
Figure 129: Evolution contemporaine de la bande active du Grand Tabuc 341
dans son haut bassin. (1952-2003). 341
Figure 130: Section supérieure du torrent du Grand Tabuc en cours d'incision 342
Figure 131: Nombre de coulées de débris inférieures à 400m entre 1952-2000, ... 343
relié à l'élévation des secteurs étudiés. 343
Figure 132: Variations contemporaines de la bande active du torrent du Grand Tabuc 345
sur son cône de déjection (1939-2003). 345
Figure 133: Analyse de l'évolution de la largeur de la bande active du Grand Tabuc 348
sur son cône (1939-2003). 348
Figure 134: Confluence du Grand Tabuc avec la Guisane. 350
Figure 135: Légende des transects morphométriques n°1,2, et 3. 351
Figure 136: Localisation des transects morphométriques 352
sur le cône de déjection du torrent du Grand Tabuc. 352
Figure 137: Cône du Grand Tabuc - Profil morphométrique n°3. 354
Figure 138: Cône du Grand Tabuc - Profil morphométriques n°2. 356
Figure 139: Cône du Grand Tabuc - Profil morphométriques n°1. 357
Figure 140 : Crue du Grand tabuc d'août 1997 et 359
efficacité du rôle peignant de la forêt alluviale 359
Figure 141 : Aménagement sur le cône du Grand Tabuc en octobre 2007. 362
Figure 142: De la vallée de Guisane à Serre-Chevalier : 368
évolution démographique (1962-1999) 368
Figure 143: De la vallée de Guisane à Serre-Chevalier : 369
Evolution du parc résidentiel (1968-1999) 369
Figure 144: Une urbanisation massive du cône torrentiel du Bez (ante 1995) 371
excluant la dynamique torrentielle. 371
Figure 145 : création et développement de Serre-Chevalier 1400 : 372
De l'emprise torrentielle à l'emprise urbaine. 372
Figure 146: L'urbanisation des cônes torrentiels dans le cadre du développement de Serre-Chevalier : l'exemple du torrent de Saint-Bernard 374
Figure 147: Serre-Chevalier 1300 : une urbanisation massive des zones d'emprises torrentelles 375
Figure 148: Du cône de Saint-Bernard à la station de Chantemerle. 377

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Figure 149 : Crue du torrent de Saint-Bernard du 06 mai 1973. 379
Figure 150: Torrent de Saint-Bernard : ravinement de la moraine du Villard. 381
Figure 151 : Proposition pour une gestion plus durable du risque torrentiel. 384
sur le cône du torrent de Saint-Bernard. 384
Figure 152: Torrent de la Salle [Id 27] . 386
Figure 153 : Crue et débordement du torrent du Bez en mai 1973. 387
Figure 154 : Localisation du torrent du Verdarel 391
Figure 155 : Contexte orohydrographique du torrent du Verdarel. 392
Figure 156 : Principales caractéristiques morphométriques du Verdarel. 393
Figure 157 : Contexte géomorphologique du Verdarel (sous SIG). 396
Figure 158 : Les crues historiques du torrent du Verdarel 398
Figure 159 : Un torrent à l'origine de la prise de conscience de la réalité 401
du risque torrentiel à Serre-Chevalier. 401
Figure 160 : 1981-2009 :Près de 30 ans de correction torrentielle dans le Verdarel. 403
Figure 161 : Analyse de la vulnérabilité sur le cône du Verdarel 405
pour des débordements comparables à ceux de 1981. 405
Figure 162 : Modélisation SOGREAH sur l'efficacité de la plage de dépôt du Verdarel. 408
Figure 163 : Lave torrentielle du Verdarel le 1er septembre 2005. 409
Figure 164 : Évolution du lit du Grand Verdarel entre 2000 et 2005 (section supérieure). 411
Figure 164 : Évolution du lit du Grand Verdarel entre 2000 et 2005 (section supérieure). 411
Figure 165 : Recharge sédimentaire "composite" : un facteur supplémentaire de complexité dans
l'appréhension des dynamiques torrentielles. 413
Figure 166 : Un dispositif de rétention efficace dans la section supérieure du Verdarel. 414
Figure 167 : Évolution du lit du Grand Verdarel entre 2000 et 2005 (section inférieure). 416
Figure 168 : PHOTO E (cf. fig.154)Torrent du Verdarel 03/09/2005. 418
Figure 169: Torrent du Verdarel : lave torrentielle du 01/09/2005 420
Figure 170 : Conséquences de la crue de septembre 2005 sur la gestion du risque. 424
Figure 171 : une plage de dépôt calibrée pour contenir 426
une lave torrentielle de l'ordre de 40 000m^3. 426
Figure 172 : La poursuite du programme initial de correction active 427
dans le haut bassin versant du Verdarel. 427
Figure 173 : une spirale coûteuse de la gestion actuelle presque exclusivement axée sur l'aléa. 429
Figure 174 : Un inévitable assouplissement de la contrainte réglementaire 431
sur le cône de déjection du torrent du Verdarel. 431
Figure 175 : un assouplissement réglementaire peu conforme à la réalité 433
de la vulnérabilité sur le cône du Verdarel. 433
Figure 176 : Propositions pour une gestion plus durable du risque torrentiel 436
sur le cône du Verdarel. 436

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Figure 177 : Proposition d'un réaménagement 437
de la plage de dépôt 437
Figure 178 : Une inadaptation du zonage réglementaire aux spécificités du risque torrentiel .. 444
Figure 179 : Localisation du torrent du Bez (Serre-Chevalier 1400). 446
Figure 180 : Contexte géographique du torrent du Bez. 447
Figure 181 : Crue du Bez du 24 juillet 1995 : un évènement paroxystique..... 452
morphogène et dommageable. 452
Figure 182 : Torrent du Bez, 24 juillet 1995 : 454
la rencontre d'un aléa extrême et d'une forte vulnérabilité. 454
Figure 183 : Une certaine "apathie" des mesures de prévention post-1995. 457
Figure 184 : Serre-Chevalier 1400 : un site emblématique des risques naturels..... 458
et de leur gestion récente..... 458
Figure 185 : une disjonction évidente entre le développement..... 459
de la station touristique et le milieu naturel. 459
Figure 186 : Torrent du Bez 2001-2009 :..... 461
une anticipation des prescriptions du PPR en cours d'élaboration. 461
Figure 187 : Cartographie réglementaire de la prévention des risques naturels 464
sur le cône du Bez (2009). 464
Figure 188 : Quelques propositions pour une réduction à court et moyen terme 468
de la vulnérabilité sur le cône du Bez. 468
Figure 189 : Les crues torrentielles dommageables du printemps 2008 à Serre-Chevalier. 471
Figure 190 : Instabilité des versants guisanais et torrentialité..... 476
(datations $_{14}$C dans le torrent du Verdarel). 476

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Table des tableaux

Tableau I : Les définitions des torrents du 19ième siècle à aujourd'hui. 22
Tableau II Principales données employées dans l'analyse. 127
Tableau III caractéristiques des visiteurs dans la zone centrale du briançonnais. 142
Tableau IV :Arrêtés de catastrophes naturelles à Serre-Chevalier. 143
Tableau V : Identifiants et toponymie associée. 168
Tableau VI : Principaux indices morphométriques employés 185
Tableau VII : Densités de drainage des torrents de la vallée de la Guisane 207
Tableau VIII : Rapport moyen de confluences 207
des torrents de la vallée de la Guisane. 207
Tableau IX : Sigles des indices employés. 210
Tableau X : Paramètres morphométriques employés dans le cadre des A.C.P 220
Tableau XI : Tableau des valeurs propres (A.C.P n° 2) 221
Tableau XII : Indices de pente du groupe1 (A.C.P n° 2) 224
Tableau XIII : indices de pente du groupe1 (A.C.P n° 2) 225
Tableau XIV : indices de pente du groupe 3 (A.C.P n° 2) 226
Tableau XV : Principales caractéristiques morphométriques des torrents appartenant au morphotype A 232
Tableau XVI : Organisation des réseaux hydrographiques *(Strahler, 1952)* des torrents élémentaires 234
[Morphotype A]. Densité de drainage (D_D) et (R_C) 234
Tableau XVII : Principales caractéristiques morphométriques des torrents appartenant au morphotype B 245
Tableau XVIII : Organisation des réseaux hydrographiques *(Strahler, 1952)* des torrents élémentaires [Morphotype B]. Densité de drainage (D_D) et (R_C) 247
Tableau XIX : Principaux indices relatifs aux surfaces des torrents du morphotype C 253
Tableau XX : Principaux indices relatifs aux pentes des torrents du morphotype C. 254
Tableau XXI : Organisation *(Strahler, 1952)* des réseaux hydrographiques des torrents composites proglaciaires *(Morphotype C).* 254
Tableau XXII : Débits spécifiques (l/S/km²) des torrents du Petit et du Grand Tabuc en 1980 255
(d'après Carenco, 1982) 255
Tableau XXIII: Protocole provisoire pour l'évaluation de la potentialité des torrents guisanais. 273

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Table des encadrés.

Encadré i : L'activité minière en Guisane. 79

Encadré ii : L'empreinte géomorphologique des avancées glaciaires PAG en Guisane. 101

Encadré iii : Réflexions sur le paradoxe de l'ajustement contemporain des processus périglaciaires et le maintien d'aléa torrentiel de forte occurrence. 108

Encadré iv : La retombée méridionale du Granon. 124

Encadré vi : L'omniprésence des héritages würmiens en basse vallée de la Guisane. 394

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

ANNEXES.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

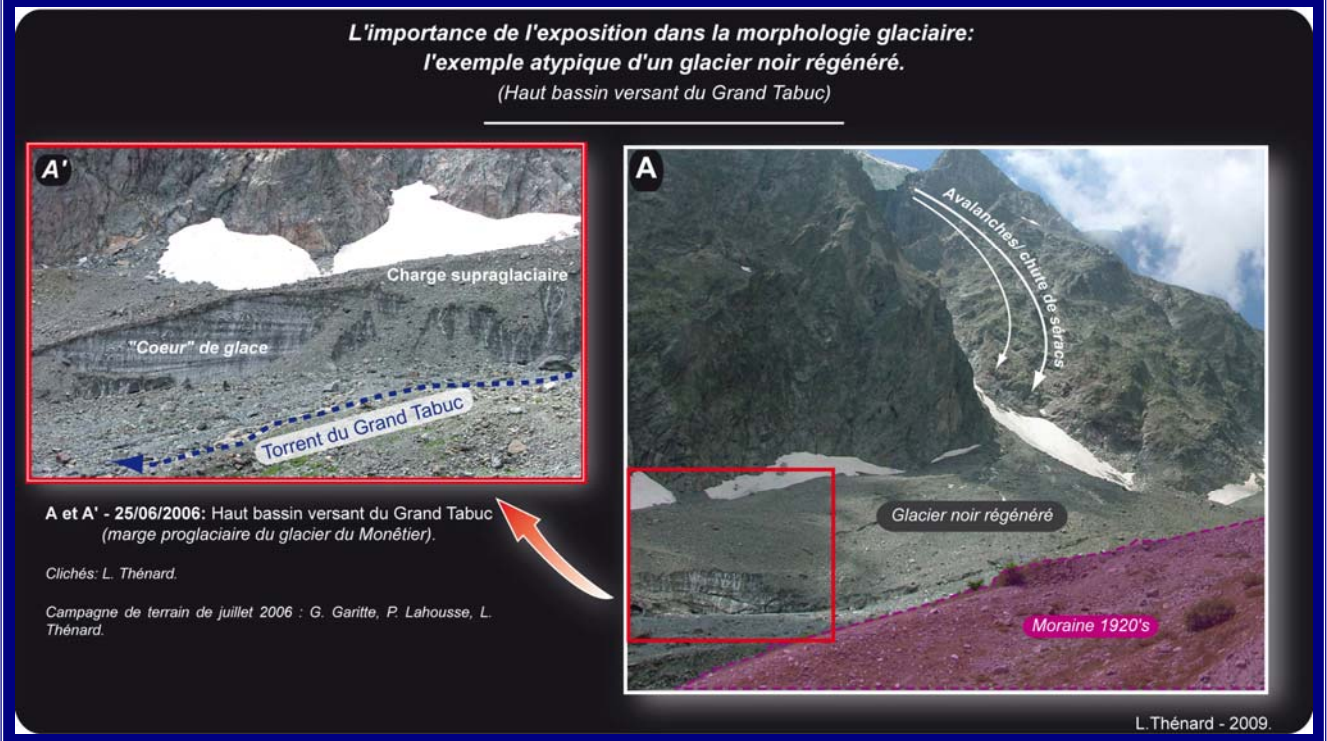
Annexe 1 :L'importance de l'exposition dans la morphologie glaciaire : l'exemple atypique d'un glacier noir régénéré.

D'aspect assez chaotique, un **petit front glaciaire** *(2600-2400m)* est encore visible dans la **partie supérieure du vallon du Grand Tabuc**. Il se cantonne exclusivement à la rive droite, à l'abri et à la base de la crête des Grangettes *(versant d'ubac)*. Sa physionomie s'apparente à une sorte de renflement conique dont la convexité est très largement affouillée par les actuelles eaux de fusion. Dans l'axe d'un couloir avalancheux, la charge détritique *(gélifracts)* est particulièrement abondante et recouvre presque intégralement la base du versant et partiellement le vallon du Tabuc.

La complexité de l'interprétation provient de la jonction de ce modelé à priori typiquement périglaciaire avec un modeste cordon morainique correspondant à une avancée glaciaire des années 1970. La proximité et l'imbrication de ces modelés ainsi que certaines caractéristiques granulométriques ont logiquement conduit à interpréter cette gibbosité proglaciaire comme un édifice morainique car *"le dépôt présente une texture fermée, sans tri particulier des blocs"* (Cossart, 2005). Pour notre part et sans être en radicale opposition avec l'hypothèse proposée, il s'agit plutôt d'un **glacier noir régénéré** dont l'alimentation en glace est assurée par des processus avalancheux, et surtout par la chute de séracs *(80 à 100 m de dénivelé)* provenant du front suspendu de la calotte méridionale du glacier du Monêtier. **La genèse d'un nouvel organisme glaciaire, même modeste, implique et explique donc l'absence de tri des dépôts, caractéristique des formations glaciaires.**

Le lobe frontal de ce glacier régénéré est aujourd'hui très largement perturbé, mais il subsiste ponctuellement en aval quelques bourrelets n'excédant quelques décimètres et rappelant fortement la morphologie des glaciers rocheux. D'ailleurs, l'incision et la coupe ouverte par les ruissellements concentrés ne laissent que peu de doute quand à la nature de cet organisme (Cf. photographie ci-dessous).

Encore relié au glacier du Monêtier par la langue d'ablation principale s'écoulant du Pic de Pavéous *(3384m)*, **cet organisme régénéré prend donc l'aspect d'un glacier noir aux contours parfois incertains,** réfugié à l'ombre des vastes abrupts rocheux de la crête des Grangettes.



© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Annexe 2 : Le redressement géométrique des photographies aériennes.

- **Principe et méthode** :

Malgré leur qualité, les photographies aériennes présentent tout de même quelques inconvénients. Le premier d'entre eux étant probablement les déformations des clichés par rapport à la réalité. De minimes à conséquentes, ces imperfections sont assez variables en fonction de l'échelle des photographies, de l'énergie du relief, de l'optique employée, de la parallaxe, etc. Cette source d'approximations est d'autant plus criante lorsque l'on réalise une analyse diachronique, car évidemment toutes ces variables diffèrent d'une mission à l'autre. Aussi, cette marge d'erreur prend une importance toute particulière pour les études réalisées à très grande échelle. Comme l'est, par exemple, l'analyse des variations contemporaines des zones d'emprises et des bandes actives torrentielles sur les cônes de déjection.

Pour notre étude, il convenait donc de pouvoir définir et quantifier les marges d'erreur, mais aussi et surtout de les réduire. Les premiers mois de notre travail de thèse ont donc été en partie consacrés à l'acquisition des principes méthodologiques et à la maîtrise technique de logiciels bien souvent peu intuitifs, et à leur adaptation dans le cadre de notre problématique… Pour cela, et en vue de réaliser un certain nombre d'opérations sous SIG et afin de créer les bases de données associées, nous avons fait le choix d'effectuer **un redressement géométrique des extraits de photographies aériennes concernés**. Plus précisément, chaque extrait a fait l'objet de trois traitements essentiels : un géoréférencement, un redressement géométrique et un rééchantillonnage des extraits redressés.

Cette technique du redressement nous est apparue comme étant le meilleur compromis entre des méthodes "manuelles" plus traditionnelles (mesures directes sur chaque cliché papier ou numérisé non géoréférencé) et les techniques d'orthorectification ; ces dernières étant particulièrement efficaces mais très longues à mettre en place. D'autre part, pour avoir effectué quelques tests comparatifs sur des secteurs de pente faible à moyenne *(??? à définir)*, les marges d'erreur obtenues entre le redressement géométrique et l'orthorectification sont sensiblement comparables. Étant entendu que le processus de redressement s'effectue indépendamment des valeurs altitudinales, et qu'en milieu de moyennes et hautes montagnes son emploi n'est pertinent que dans la mesure où le secteur à redresser est peu pentu, et donc le plus souvent assez restreint géographiquement. Naturellement, le contexte topographique de la Guisane nous a contraint à ne redresser que des extraits de photographies aériennes et le plus souvent en fond de vallée (cônes de déjection) ou de vallons torrentiels.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Nous avons donc employé un logiciel adapté à ce type de traitement, à savoir Er Mapper 6.4© Earth Ressource Mapping Ltd. Cet outil informatique a été spécialement développé pour réaliser des traitements issus de la photo-interprétation et de la télédétection. La complexité et la diversité des algorithmes proposés et employés contrastent avec la relative simplicité du principe du redressement géométrique.

En effet, le redressement géométrique d'un cliché se réalise à partir d'un document de base, de référence. Dans ces conditions, il est évident que la validité du traitement dépend de la qualité initiale du document de référence. Dans notre cas, les photographies de référence sont toutes issues de la BD Ortho® 2003 de l'IGN. Orthorectifiées et ayant fait l'objet de nombreux tests "qualité" ces photographies aériennes constituent une référence de choix. En dehors de plans photogrammétriques à grande échelle, elles constituent sans aucun doute ce qui se fait de mieux en terme d'orthorectification numérique en France métropolitaine.

Les premières étapes de la procédure amènent l'opérateur à réaliser un certain nombre de paramétrages préalables. Comme par exemple le système de projection dans lequel s'effectuera le redressement ou encore la nature de ce dernier (polynomiale, triangulation, etc.). Dans notre étude, et à l'instar de la BD Ortho® 2003, les extraits redressés ont été géoréférencés sous la projection conique conforme de Lambert, et dans le système de coordonnées cartographiques de type Lambert II étendu. Concernant le mode de redressement, la méthode la plus adaptée pour des extraits de clichés, est sans nul doute celle procédant par triangulation entre les amers et polynomiale à l'extérieur. C'est d'ailleurs ce que nous avons régulièrement vérifié en réalisant différents essais en fond de vallée.

Le processus ("Ortho and geocoding wizard") consiste ensuite à choisir des points d'appui, autrement nommés amers (Am), communs au cliché de référence (Rf) et au cliché à redresser (Rd). Donc à chaque point de repère, **A**, sur l'image Rf correspond son équivalent, **A'**, sur l'extrait Rd. La densité, mais plus encore l'homogénéité du canevas d'amers sont les deux conditions essentielles pour réaliser un redressement géométrique de qualité. On touche ici l'une des principales difficultés rencontrées pour ce type de procédure dans des milieux "naturels" récemment, et/ou, peu ou pas urbanisés. Notamment dans des secteurs aussi dynamiques que les marges torrentielles. En effet, trouver des points fixes et de surcroît identiques, entre des clichés distants parfois de plus de 60 ans, relèvent souvent du jeu de piste et de la prouesse visuelle. Sur les cônes guisanais ayant fait l'objet de ce traitement, le nombre d'amers par extrait photographique redressé a varié de 25 points minimum à plus de 70.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Aussi, le logiciel employé calcule et propose une valeur d'erreur pour chaque point de référence. Ce Root Mean Square ***(RMS)*** est en réalité un écart moyen quadratique, ou encore, erreur moyenne quadratique. C'est-à-dire que pour chaque amer, le RMS est exprimé par le coté de chaque pixel ; de forme carrée et de valeur connue (0,5m * 0,5 m), on peut donc parler d'une "erreur pixel". Par exemple, si pour un amer donné, le logiciel donne une valeur RMS de 1,5 *(coté de pixel)* cela correspond donc à une marge d'erreur théorique de 0,75m pour ce point. A partir de trois points minimum, chaque amer de référence doit trouver son équivalent sur le cliché à redresser. Si tel n'est pas le cas *(et cela ne l'est jamais exactement !)*, le logiciel calcule la différence en nombre de pixels entre les coordonnées et propose donc une erreur moyenne quadratique

Rappelons tout de même, qu'en dépit de la grande qualité des orthophotographies de référence, le RMS n'est qu'une erreur virtuelle entre le cliché de base et le cliché redressé. Cela permet de tout de même, par un procédé de quantification, de valider ou non un redressement géométrique. Pour autant, les marges d'erreurs réelles ne peuvent être évaluées que par des mesures réalisées sur le terrain et mises en comparaison avec les mesures extraites des clichés redressés.

Considérons $\mathbf{A_1}$ **(x ; y)** le point de repère sur l'image de référence, et, $\mathbf{A_1'}$ **(x' ; y')** son *alter ego* sur le cliché à redresser. Le logiciel établit la relation théorique entre ces deux points et calcule l'écart moyen quadratique tel que :

- $\delta 1 = x - x'$
- $\delta 2 = y - y'$

Soit :

$$RMS = \sqrt{(x - x')^2+(y - y')^2} = \sqrt{\delta 1^2 + \delta 2^2}$$

A noter que l'élévation au carré permet de ne manier que des écarts positifs.

Enfin, durant la procédure de redressement à proprement parler, nous avons choisi d'opérer un **rééchantillonnage** des clichés. Autrement dit, une "pixellisation" paramétrée du fichier raster redressé. Et ceci pour obtenir une certaine homogénéité des extraits redressés et surtout pour faciliter l'exploitation et les traitements ultérieurs. Ainsi l'ensemble des extraits de photographies aériennes a été rééchantillonné sur la même base que la BD Ortho® 2003 de l'IGN ; à savoir une résolution spatiale de 0,5m. Au final, les clichés redressés sont également géoréférencés, et peuvent alors être intégrés et traités sous SIG.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Ce caractère quelque peu "sophistiqué" du redressement ne doit pas masquer les apports de cette méthodologie. En effet, par la rigueur méthodologique qu'elle impose, cette technique du redressement géométrique facilite indubitablement –tant d'un point de vue qualitatif que quantitatif– l'extraction d'informations et de données des clichés aériens, et sans aucun doute leur photo- interprétation. De la même manière, la création de bases de données spatialisées sous SIG issues de l'exploitation des extraits redressés, permet une certaine "standardisation" de l'ensemble du protocole de mesures. Le SIG constituant le support unique de visualisation, de localisation et de traitements, ces données deviennent alors plus facilement vérifiables, modifiables et échangeables. Elles pourront ensuite être complétées et couplées à d'autres informations et bases de données scientifiques.

En corollaire, l'ensemble de la procédure de géoréférencement, de redressement, et de rééchantillonnage demeure pour le moins assez fastidieuse, et par là même très longue. Nous estimons en effet qu'un opérateur parfaitement expérimenté et qualifié, est capable d'effectuer au maximum 4 à 5 redressements par jour, à raison d'1h30 à 2h00 de travail effectif par cliché redressé. Par ailleurs il faut adjoindre au redressement, la préparation des clichés en amont : numérisation, découpe/recadrage/rotation, amélioration de la netteté et des contrastes, etc. Intervient alors toute la phase de traitement et d'analyse intrinsèque à la photo-interprétation.

- **Les limites de la photo-interprétation**:

Comme toute méthode, le traitement et l'interprétation des photographies aériennes comporte intrinsèquement un risque d'approximations ou d'erreur. L'évaluation est d'autant plus délicate que ces écueils diffèrent selon l'opérateur *(traitements techniques)* ou l'analyste *(interprétation)*. Si cette évaluation peut-être relativement précise d'un point de vue technique, elle est plus relative en terme d'interprétation, notamment dans la reconnaissance géomorphologique.

Globalement, ces sources d'erreurs tiennent à **trois grands paramètres :**

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Les déformations liées aux photographies aériennes.

Les distorsions constituent le principal inconvénient des photographies aériennes car la représentation d'un espace tridimensionnel *(le réel)* sur une surface bidimensionnelle *(le cliché)* entraîne nécessairement des distorsions.

Ces déformations sont pour une part imputables à la parallaxe et au tangage *(inclinaison de l'avion)*. Ce qui implique par exemple que la taille d'un objet géographique photographié sera d'autant plus grande que son altitude sera élevée, car la distance à l'objectif est réduite. Ce type de déformations est forcément fréquent et prononcé en milieu de montagne. Également, ces paramètres font que l'échelle et les surfaces ne sont pas tout à fait constantes sur l'ensemble de la photographie. Les distorsions sont également radiales, c'est à dire maximales sur les marges du cliché et minimales au centre, proportionnellement à l'axe employé

Il faut donc prendre en considération l'ensemble de ces paramètres lors de l'extraction de données issues de photographies aériennes non redressées ou non orthorectifiées. Le choix des clichés ou des extraits doit alors se réaliser de sorte que le secteur à l'étude *(un bassin torrentiel ou un glacier par exemple)* soit au maximum centré sur le cliché aérien. La marge d'erreur concernant les mesures réalisées s'en trouvera alors réduite.

- L'échelle des photographies non redressées :

Même si la numérisation des clichés et les différents filtres que proposent les logiciels de télédétection permettent d'améliorer la qualité visuelle des photographies *(en variant luminosité et contraste par exemple)* on peut légitiment considérer que plus l'échelle d'une photographie aérienne est petite, plus grande est la marge d'erreur. Concernant les études "fines" à très grande échelle, la numérisation à haute résolution, le redressement géométrique et le rééchantillonnage des photographies permettent de pallier en partie cette source d'erreur.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

- La photo-interprétation :

Il s'agit sans doute de la principale source d'approximations ou de confusions, et manifestement la plus subjective. Car elle est en grande partie liée à la personne en charge de l'étude et donc assez variable.

Prenons par exemple, les incertitudes inhérentes à la délimitation des bandes actives ou des zones d'emprise torrentielles. En effet, les surfaces considérées sont le plus souvent très restreintes d'un point de vue géographique, et par définition d'une grande instabilité spatio-temporelle *(à l'exception des torrents endigués ou anciennement chenalisés)*. Le plus souvent, ces secteurs s'individualisent sur les photographies aériennes par une teinte assez claire –de blanchâtre à grisâtre *(pour les clichés N&B)*– comparativement aux espaces avoisinants. Et ceci tient en grande partie au caractère mobile, et donc dénudé, des bandes actives.

Or, lorsqu'un chemin, une route ou même un "clapier"[iii] jouxtent directement la bande active, sa délimitation apparaît plus délicate. L'emploi de lunettes stéréoscopiques et/ou la numérisation à haute résolution deviennent quasi indispensables. De même, il est parfois ardu de réaliser la distinction entre la bande active et une berge affouillée, en glissement, ou dénudée par l'érosion, en raison de l'aplatissement engendré par la vision planaire des clichés aériens

De la même manière, une végétation saisonnière peut parfois recouvrir les marges des bandes actives, se traduisant sur les clichés par un léger obscurcissement. Pour autant, ces secteurs ne sont en rien stabilisés, et doivent être intégrés à la bande active. A l'inverse, le plus souvent dans les espaces périphériques, certaines zones sont en cours de végétalisation *(arbustive)* sous la forme d'îlots ou de terrasses alluviales, traduisant généralement un processus de rétraction de la bande active. Ces espaces en voie de stabilisation doivent alors être exclus des mesures de bande active.

Certes, la qualité de la photo-interprétation passe par une bonne maîtrise technique des outils, mais aussi et surtout par l'expérience de la lecture des clichés aériens. Cette notion est éminemment empirique puisqu'elle ne peut être basée que sur une connaissance approfondie des morphodynamiques en jeu *(à propos des bandes actives)*, et plus largement du terrain.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

En ce sens, l'effet de masquage de la ligne de berge (Liébault – 2003) par la ripisylve ou encore les effets d'ombres portées sont des exemples tout à fait représentatifs. Si l'on considère une légère obliquité du cliché aérien, ce problème peut se présenter lorsqu'une forêt alluviale relativement dense borde une bande active ou un chenal torrentiel, et; ce cas de Figure est d'ailleurs très fréquent dans la photo-interprétation des morphodynamiques torrentielles. Lors de la digitalisation des limites de la bande active, si l'on s'en tient strictement aux contours visibles –selon les critères évoqués précédemment– les traits du rebord de la bande active prendront invariablement un aspect ondulé. En effet, sur les photographies la strate supérieure *(canopée)* de la ripisylve, par définition non représentative de la réelle couverture végétale au sol, recouvre partiellement la bande active sur ces marges.

D'autre part, ce phénomène peut-être accentué par les ombres portées en fonction de l'orientation, de l'exposition et de l'inclinaison du cliché. Donc, les mesures de surfaces ou de distances sont dans ce cas sous-évaluées. Il s'agit alors d'extrapoler les limites de la bande active en essayant d'exploiter tous les indices environnants[iv] pour une reconstitution au plus proche de la réalité de terrain. Si elle est indispensable en vue de réduire la marge d'erreur, il est également évident que cette pratique peut générer des approximations grossières. Dans une moindre mesure, ce cas de figure se rencontre régulièrement lors de la digitalisation du bâti, où les effets d'ombres portées sont fréquents.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Annexes 3 : Les arrêtés de catastrophes naturelles pour le département des Hautes-Alpes (05) en 2007..

Arrêtés de catastrophes naturelles pour le département des Hautes-Alpes (05)

INSEE	Commune	Risque	Date début	Date fin	Date arrêté	Date JO
5001	Abriès	Inondations et coulées de boue	15/10/2000	15/10/2000	03/04/2001	22/04/2001
5001	Abriès	Inondations et coulées de boue	12/06/2000	14/06/2000	25/10/2000	15/11/2000
5003	Aiguilles	Inondations et coulées de boue	15/10/2000	15/10/2000	03/04/2001	22/04/2001
5003	Aiguilles	Inondations et coulées de boue	12/06/2000	14/06/2000	25/10/2000	15/11/2000
5005	Antonaves	Inondations et coulées de boue	05/05/1999	05/05/1999	29/09/1999	20/10/1999
5006	Argentière-la-Bessée	Inondations et coulées de boue	23/08/1993	24/08/1993	26/10/1993	03/12/1993
5006	Argentière-la-Bessée	Mouvements de terrain	31/08/2002	31/08/2002	17/01/2003	24/01/2003
5006	Argentière-la-Bessée	Inondations et coulées de boue	11/06/1996	11/06/1996	01/10/1996	17/10/1996
5006	Argentière-la-Bessée	Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain	14/09/1994	16/09/1994	12/01/1995	31/01/1995
5006	Argentière-la-Bessée	Inondations et coulées de boue	01/07/1987	07/07/1987	27/09/1987	09/10/1987
5007	Arvieux	Inondations et coulées de boue	21/01/1985	27/01/1985	26/06/1985	10/07/1985
5009	Aspres-lès-Corps	Inondations et coulées de boue	29/06/1995	29/06/1995	08/01/1996	28/01/1996
5014	Barret-le-Bas	Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain	06/01/1994	11/01/1994	12/04/1994	29/04/1994
5017	Bâtie-Neuve	Inondations et coulées de boue	01/07/1987	07/07/1987	27/09/1987	09/10/1987
5019	Beaume	Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain	06/01/1994	11/01/1994	12/04/1994	29/04/1994
5021	Bersac	Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain	06/01/1994	11/01/1994	12/04/1994	29/04/1994
5023	Briançon	Eboulements rocheux	26/02/1997	26/02/1997	19/09/1997	11/10/1997
5023	Briançon	Glissement de terrain	02/10/1992	03/10/1992	23/06/1993	08/07/1993
5023	Briançon	Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain	24/07/1992	24/07/1992	19/03/1993	28/03/1993
5024	Bruis	Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain	06/01/1994	11/01/1994	12/04/1994	29/04/1994
5027	Cervières	Séisme	11/02/1991	11/02/1991	12/08/1991	30/08/1991
5027	Cervières	Séisme	13/02/1991	13/02/1991	12/08/1991	30/08/1991
5028	Chabestan	Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain	06/01/1994	11/01/1994	12/04/1994	29/04/1994
5034	Châteauneuf-de-Chabre	Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain	06/01/1994	11/01/1994	12/04/1994	29/04/1994
5038	Château-Ville-Vieille	Inondations et coulées de boue	12/06/2000	14/06/2000	25/10/2000	15/11/2000
5040	Chorges	Inondations et coulées de boue	01/07/1987	07/07/1987	27/09/1987	09/10/1987
5043	Costes	Inondations et coulées de boue	29/06/1995	29/06/1995	08/01/1996	28/01/1996
5047	éourres	Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain	06/01/1994	11/01/1994	12/04/1994	29/04/1994
5048	épine	Inondations et coulées de boue	19/06/2005	19/06/2005	02/03/2006	11/03/2006
5055	Faurie	Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain	06/01/1994	11/01/1994	12/04/1994	29/04/1994
5055	Faurie	Inondations par remontées de nappe phréatique	23/11/2000	24/11/2000	29/05/2001	14/06/2001
5055	Faurie	Inondations et coulées de boue	15/11/2002	16/11/2002	03/12/2003	20/12/2003
5056	Forest-Saint-Julien	Inondations et coulées de boue	21/01/1985	27/01/1985	26/06/1985	10/07/1985

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

5058	Freissinières	Inondations et coulées de boue	23/08/1993	24/08/1993	26/10/1993	03/12/1993
5060	Furmeyer	Inondations et coulées de boue	06/01/1994	08/01/1994	06/12/1994	17/12/1994
5061	Gap	Inondations et coulées de boue	24/06/2006	24/06/2006	18/10/2007	25/10/2007
5061	Gap	Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain	06/01/1994	11/01/1994	12/04/1994	29/04/1994
5061	Gap	Mouvements de terrain	06/11/2000	24/11/2000	03/04/2001	22/04/2001
5061	Gap	Inondations et coulées de boue	21/01/1985	27/01/1985	26/06/1985	10/07/1985
5061	Gap	Inondations et coulées de boue	13/11/2000	24/11/2000	19/07/2001	29/07/2001
5061	Gap	Inondations et coulées de boue	08/10/1993	10/10/1993	02/02/1994	18/02/1994
5062	Glaizil	Inondations et coulées de boue	08/10/1993	10/10/1993	02/02/1994	18/02/1994
5063	Grave	Eboulement, glissement et affaissement de terrain	10/04/1995	10/04/1995	28/07/1995	09/09/1995
5063	Grave	Inondations et coulées de boue	13/02/1990	16/02/1990	14/05/1990	24/05/1990
5063	Grave	Mouvements de terrain	19/03/2001	25/03/2001	15/11/2001	01/12/2001
5063	Grave	Avalanche	07/01/1994	07/01/1994	12/04/1994	29/04/1994
5064	Chapelle-en-Valgaudémar	Inondations et coulées de boue	17/07/1987	18/07/1987	27/09/1987	09/10/1987
5065	Guillestre	Inondations et coulées de boue	13/06/2000	13/06/2000	06/11/2000	22/11/2000
5067	Infournas	Inondations et coulées de boue	01/07/1987	07/07/1987	27/09/1987	09/10/1987
5069	Lagrand	Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain	06/01/1994	11/01/1994	12/04/1994	29/04/1994
5070	Laragne-Montéglin	Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain	06/01/1994	11/01/1994	12/04/1994	29/04/1994
5077	Molines-en-Queyras	Inondations et coulées de boue	12/06/2000	14/06/2000	25/10/2000	15/11/2000
5081	Montclus	Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain	06/01/1994	11/01/1994	12/04/1994	29/04/1994
5084	Montgardin	Inondations et coulées de boue	01/07/1987	07/07/1987	27/09/1987	09/10/1987
5085	Montgenèvre	Inondations et coulées de boue	03/08/1990	03/08/1990	04/12/1990	15/12/1990
5086	Montjay	Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain	06/01/1994	11/01/1994	12/04/1994	29/04/1994
5093	Névache	Inondations et coulées de boue	15/10/2000	16/10/2000	01/08/2002	22/08/2002
5096	Orcières	Avalanche	30/11/1996	01/12/1996	24/03/1997	12/04/1997
5097	Orpierre	Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain	06/01/1994	11/01/1994	12/04/1994	29/04/1994
5098	Orres	Inondations et coulées de boue	27/07/2003	27/07/2003	05/02/2004	26/02/2004
5100	Pelleautier	Mouvements de terrain	28/12/1985	28/12/1985	24/04/1986	10/05/1986
5101	Pelvoux	Inondations et coulées de boue	24/07/1995	24/07/1995	26/12/1995	07/01/1996
5101	Pelvoux	Inondations et coulées de boue	01/07/1987	07/07/1987	27/09/1987	09/10/1987
5107	Puy-Saint-André	Mouvements de terrain	09/03/2001	10/03/2001	29/08/2001	26/09/2001
5114	Réallon	Inondations et coulées de boue	12/08/1991	12/08/1991	29/07/1992	15/08/1992
5114	Réallon	Inondations et coulées de boue	20/06/2005	20/06/2005	02/03/2006	11/03/2006
5114	Réallon	Inondations et coulées de boue	01/07/1987	07/07/1987	27/09/1987	09/10/1987
5118	Ribiers	Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain	06/01/1994	11/01/1994	12/04/1994	29/04/1994
5120	Ristolas	Inondations et coulées de boue	12/06/2000	14/06/2000	25/10/2000	15/11/2000
5120	Ristolas	Inondations et coulées de boue	15/10/2000	15/10/2000	03/04/2001	22/04/2001
5123	Roche-des-Arnauds	Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain	06/01/1994	11/01/1994	12/04/1994	29/04/1994
5123	Roche-des-Arnauds	Inondations et coulées de boue	11/11/1996	12/11/1996	11/02/1997	23/02/1997
5126	Rosans	Mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols	01/06/1998	30/09/1999	25/08/2004	26/08/2004
5126	Rosans	Inondations et coulées de boue	20/09/2000	20/09/2000	12/02/2001	23/02/2001
5126	Rosans	Inondations et coulées de boue	29/07/2002	29/07/2002	02/04/2003	18/04/2003
5126	Rosans	Mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols	01/01/2002	30/09/2002	25/08/2004	26/08/2004
5127	Rousset	Inondations et coulées de boue	04/07/2005	04/07/2005	05/05/2006	14/05/2006

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

5128	Saint-André-d'Embrun	Mouvements de terrain	29/03/2001	29/03/2001	15/11/2001	01/12/2001
5132	Saint-Bonnet-en-Champsaur	Inondations et coulées de boue	01/07/1987	07/07/1987	27/09/1987	09/10/1987
5133	***Saint-Chaffrey***	***Inondations et coulées de boue***	***22/07/1988***	***22/07/1988***	***19/10/1988***	***03/11/1988***
5133	***Saint-Chaffrey***	***Inondations et coulées de boue***	***24/07/1995***	***24/07/1995***	***18/08/1995***	***08/09/1995***
5135	Sainte-Colombe	Inondations et coulées de boue	02/12/2003	02/12/2003	15/04/2005	03/05/2005
5135	Sainte-Colombe	Mouvements de terrain	01/12/2003	31/12/2003	15/04/2005	03/05/2005
5136	Saint-Crépin	Inondations et coulées de boue	21/01/1985	27/01/1985	26/06/1985	10/07/1985
5139	Saint-étienne-en-Dévoluy	Glissement de terrain	13/11/1996	13/11/1996	12/05/1997	25/05/1997
5149	Saint-Léger-les-Mélèzes	Mouvements de terrain	20/04/2001	20/04/2001	27/12/2001	18/01/2002
5150	Sainte-Marie	Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain	06/01/1994	11/01/1994	12/04/1994	29/04/1994
5151	Saint-Martin-de-Queyrières	Inondations et coulées de boue	24/07/1995	24/07/1995	18/08/1995	08/09/1995
5153	Saint-Michel-de-Chaillol	Inondations et coulées de boue	21/01/1985	27/01/1985	26/06/1985	10/07/1985
5154	Saint-Pierre-d'Argençon	Inondations et coulées de boue	02/12/2003	03/12/2003	11/01/2005	15/01/2005
5157	Saint-Véran	Inondations et coulées de boue	11/06/2000	13/06/2000	25/10/2000	15/11/2000
5158	Saix	Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain	06/01/1994	11/01/1994	12/04/1994	29/04/1994
5160	Salérans	Inondations et coulées de boue	01/12/2003	02/12/2003	12/12/2003	13/12/2003
5160	Salérans	Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain	06/01/1994	11/01/1994	12/04/1994	29/04/1994
5161	***Salle les Alpes***	***Inondations et coulées de boue***	***22/07/1988***	***22/07/1988***	***19/10/1988***	***03/11/1988***
5161	***Salle les Alpes***	***Inondations et coulées de boue***	***24/07/1995***	***24/07/1995***	***18/08/1995***	***08/09/1995***
5164	Savines-le-Lac	Inondations et coulées de boue	17/07/2006	17/07/2006	24/04/2007	04/05/2007
5166	Serres	Eboulements rocheux	16/12/1995	16/12/1995	18/03/1996	17/04/1996
5166	Serres	Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain	06/01/1994	11/01/1994	12/04/1994	29/04/1994
5172	Trescléoux	Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain	06/01/1994	11/01/1994	12/04/1994	29/04/1994
5174	Val-des-Prés	Inondations et coulées de boue	03/08/1990	03/08/1990	04/12/1990	15/12/1990
5174	Val-des-Prés	Inondations et coulées de boue	22/07/1988	22/07/1988	19/10/1988	03/11/1988
5174	Val-des-Prés	Inondations et coulées de boue	24/07/1995	24/07/1995	26/12/1995	07/01/1996
5175	Vallouise	Inondations et coulées de boue	01/07/1987	07/07/1987	27/09/1987	09/10/1987
5177	Vars	Mouvements de terrain	01/05/2001	31/05/2001	26/04/2002	05/05/2002
5179	Veynes	Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain	06/01/1994	11/01/1994	12/04/1994	29/04/1994
5180	Vigneaux	Inondations et coulées de boue	01/07/1987	07/07/1987	27/09/1987	09/10/1987

Source : *Ministère de l'écologie, du développement et de l'aménagement durables.*

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Annexe 4 : Les composantes des "tables" MapInfo™

Les composantes des "tables" MapInfo™ :

Dans les SIG, chaque couche d'information s'inscrit dans une "table", elle-même constituée de différents fichiers interconnectés. Pour celui que nous employons, MapInfo™ Professional 7.5©, les principaux fichiers créés et leurs extensions se présentent comme ci- dessous:

* .TAB: ce fichier renferme la structure de la table MapInfo. Il d'agit du fichier principal permettant l'ouverture de la "table". Il indexe et renvoie sur l'ensemble des fichiers nécessaires à son ouverture (chemins d'accès).

* .DAT: ce dernier contient les données attributaires. Ce type de fichier peut également être généré dans des logiciels, comme les tableurs ou ceux spécialisés dans la gestion des données (SGBD[1]) puis importé sous SIG. Par exemple, les fonctions SIG d'importation ou d'exportation de fichiers tabulaires facilitent les relations éventuelles avec des tableurs fréquemment utilisés comme Microsoft© Excel (*.xls), ou avec des SGBD comme Dbase© (*.dbf) ou Microsoft© Access (*.mdb).

* .ID: il s'agit cette fois d'un fichier de références croisées entre les données tabulaires/attributaires et les objets géographiques. Propre aux SIG, il permet donc les liaisons entre ces deux grands types de données.

* .MAP: fichier renfermant les caractéristiques des objets graphiques (nature, localisation, etc.).

* .WOR: Autre fichier d'importance, puisque celui-ci est de type "document" et enregistre l'espace de travail ("workspace"). Autrement dit, il est possible de procéder à un enregistrement "collectif" de toutes les tables ouvertes ainsi que de l'ensemble des couches temporaires (requêtes, dessins, étiquettes, analyses thématiques, etc.). Ce fichier "document" évite donc d'avoir à effectuer une réouverture individuelle des tables.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Annexe 5 : Exemple d'une fiche "évènement" du Service RTM

Copie DDAF

COMMUNE : MONETIER. LES. BAINS — SOURCE : R.T.M. Chef de SECTEUR VILLIOT J.

DATE	Vendredi 12 juillet 1991 à 17"30
PHENOMENE	Crue à lave du Torrent du MERDAREL
TOPONYMIE	Lieu dit Les OCHES - Hameau des GUIBERTES
LOCALISATION ZONE DE DEPART	Après-midi du Torrent le 17 juillet le sec d'eau est tombé sur l'ensemble de l'appareil torrentiel (il a gelé aux Guiberts) L'eau a ruiselé sur la pelouse du bassin versant avec entaillement de rares rive gauche dans les éboulis sous le chemin du Roi
LOCALISATION ZONE D'ARRIVEE OU D'EXTENSION MAXIMALE	Un gros bloc (quartzite 25 m³) ~~exporté~~ par amené par la lave (Point de départ inconnu ?) s'est arrêté sur le cône en amont de la traversée du Canal Guibertin et a été la cause du débordement sur la R. Rive.
DEGATS ET/OU VICTIMES	Route nationale 91 Coupée sur 100 m de part et d'autre du Pont Suite des travaux de déblaiement G heures. Lave de 2 m de hauteur R. G. sur la route et 1 m R.D.
OBSERVATIONS DIVERSES	Le Canal a été curé par endroit sur 2 m maximum. La présence de seuils rocheux a limité les dépots. La lave a été principalement alimenté par le ravinement du Chenal. A la Sortie de la forge en tête du Cône le torrent fait un S. La lave a épousé étroitement par dessus la digue en tout venant érigé par le propriétaire du chalet EDON. Suite de la Crue du 13 juillet 1987. Il est urgent et indispensable soit d'interdire l'occupation de ce chalet soit d'en envisager la protection. le TF VILLIOT

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Annexe 6 : Mise en station d'un tachéomètre infrarouge.

MISE EN STATION D'UN TACHEOMETRE INFRAROUGE.

Un tachéomètre se compose de 3 éléments principaux : un trépied ajustable, la station électronique et un prisme catoptrique. Comme nous le verrons ensuite, les mesures tachéométriques nécessitent au minimum la présence de deux personnes. Un poste fixe, préposé à la station *(calages, réglages, visée et prise de mesure infrarouge)* et l'autre, mobile en charge de la mire *(réflecteur)*. Cet appareil de type *Leica® TC 307S* permet théoriquement[1] de réaliser des mesures angulaires, verticales et de longueurs de haute précision *(millimétrique)* et parfois même à grandes distances *(de quelques mètres à un kilomètre)* grâce au rayonnement infrarouge et à la qualité de l'optique de visée.

Mettre un tachéomètre en station consiste d'abord à réfléchir à son emplacement, en tenant compte de l'axe* du lit torrentiel mais également de la localisation de la station suivante. Une fois l'emplacement arrêté, il s'agit alors de paramétrer précisément l'appareil en commençant par sa mise à niveau, puis en entrant les caractéristiques de la station *(nom de la station, hauteur du tachéomètre et du réflecteur, etc.)*. En dehors du montage, du démontage et du déplacement du matériel au sein du torrent, ce protocole d'installation prend de 5 à 10 minutes pour un opérateur expérimenté.

Pour les profils en long, les mesures s'effectuent de l'aval vers l'amont dans l'axe de l'écoulement et donc dans l'axe du tachéomètre. Pour produire un profil intégral, le "raccord" entre chaque station exige de prendre en mesure un point commun aux différentes stations ; si l'on considère deux stations, **S^0** et **S^1**, le dernier point mesuré (**+ *A***) de **S^0** sera le premier mesuré (**-*A'***) pour **S^1**.

Concernant les transects réalisés sur de grandes distances, ou dans des secteurs assez inextricables *(en ripisylve par exemple)*, il faut alors appliquer le même protocole que pour les profils en long, en procédant par section topométrique avec la mise en place de plusieurs stations. Évidemment, dans ce cas de figure les mesures sont effectuées à la perpendiculaire de l'axe d'écoulement.

* L'axe des mesures topométriques, et donc de la station tachéométrique doit être le plus proche possible de l'axe réel du lit torrentiel.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Annexe 7 : Analyse comparative des torrents de Saint-Bernard et du Verdarel (Com. de Saint-Chaffrey) : apport et limites de l'approche morphométrique.

Au sortir des premières analyses portant sur les caractéristiques morphométriques des torrents de cette vallée, il apparaît assez clairement que les corrélations bivariées sont bien trop réductrices pour prétendre établir une quelconque typologie. En particulier, lorsque l'objectif est une évaluation de l'aléa torrentiel. Cela tient à différents facteurs :

- La diversité des torrents dans cette vallée est telle et le *corpus* étudié étant assez réduit (N=36), que les grandes tendances sont difficiles à faire ressortir par l'analyse statistique bivariée.
- L'approche morphométrique n'intègre pas ou peu d'éléments dynamiques, pourtant déterminants dans le diagnostic de l'aléa contemporain et actuel.
- Les nombreuses et complexes interactions qui se manifestent dans les bassins impliquent généralement bien plus que deux agents ou deux paramètres !

Néanmoins, et dehors d'une simple description des torrents, notre démarche a consisté à intégrer les paramètres morphométriques dans une analyse plus systémique des bassins torrentiels. Car elle peut se révéler être un complément capital dans l'étude de l'aléa. En effet, une étude à grande échelle strictement basée sur des paramètres dynamiques pourrait certes déterminer les processus dominants ou "décrypter" un évènement particulier dans un torrent, mais sans toujours pouvoir expliquer la cause originelle de comportements dynamiques dominants. **Il ne s'agit pas pour nous d'opposer ces deux approches mais bien de les coupler et de les adapter en fonction des objectifs.**

Pour cela, l'analyse comparative des torrents du Verdarel [Id. 32] et de Saint-Bernard [Id. 30] est assez représentative des apports et des limites de l'approche morphométrique, et traduit assez bien notre ligne de recherche sur l'aléa torrentiel.

Situés sur le versant d'a*dret* de la commune de Saint-Chaffrey, ces deux torrents ont en commun un grand nombre de caractéristiques et apparaissent, sur le papier, très ressemblants. Cette analogie s'applique tant en terme de superficie (*± 4 km²*), qu'en terme de pente (R_R*= 12°,* M_{BV} *± 0,5*) ou encore de taux de boisement (*environ 50% de la surface totale*). Aussi, la nature des formations composant les bassins versants est également très comparable puisque, pour l'un comme pour l'autre, les formations superficielles quaternaires (*complexes morainiques et/ou indifférenciés*) occupent plus de 90% de la superficie des bassins versants (Lahousse, 1994 ; Lahousse et Salvador, 2002). En effet, ces bassins constituent pour partie le versant méridional du Granon affecté par de vastes mouvements de terrain plus ou moins stabilisés selon les secteurs, et ponctuellement en glissement quasi permanent.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Le bassin versant du Verdarel apparaît nettement plus instable que celui du Saint-Bernard et l'incision torrentielle entretient en permanence cette instabilité. Pourtant de prime abord, peu d'éléments différencient ces deux torrents *(morphométriques ou même géomorphologiques)*.

- ✓ *L'insuffisance d'une analyse morphométrique stricte dans le cadre d'une typologie dynamique.*

Le torrent du **Verdarel** [Id. 32], tristement célèbre pour être un des torrents les plus actifs[176] de la vallée et générant le plus souvent des laves torrentielles "à blocs"[177], présente des valeurs de pente parmi les plus faibles *(RR = 11,8° / 26,2% ; MBV = 0,56 ; PCP = 10,2°, 22,7%)*. Par ailleurs, son puissant cône de déjection affiche également une valeur de pente moyenne assez modeste avec 7,1°.

Pour le Verdarel, s'il existe bien une relation positive entre les pentes moyennes de son bassin versant et de son cône, cela ne préjuge en rien de son comportement dynamique dominant, au moins pour la période contemporaine. Ce qui nuance quelque peu, le principe énoncé précédemment, faisant correspondre l'inclinaison du bassin versant et les processus principaux, et par voie de conséquence la pente du cône de déjection.

Donc, sur ces simples critères morphométriques, et selon les typologies proposées, le torrent du Verdarel **se classerait au sein des torrents à comportement "mixte"[178], tout comme le torrent attenant de Saint-Bernard [Id. 30].** Ce qui n'est pas fondamentalement faux *(en particulier pour le Verdarel)*, mais néanmoins très réducteur de morphodynamiques au moins actuelles, particulièrement contrastées entre ces deux torrents.

[176] 13 crues recensées au cours de la période contemporaine (post-PAG).

[177] Par opposition, à des laves plus "boueuses", présentant également un écoulement monophasique non-newtonien, du fait de sa forte concentration volumique *(0,5 – 0,8)*, mais à la matrice plus cohésive dominée par une granulométrie fine *(argiles, limons, sables, etc.)*.

[178] Nous reprenons ici le terme "mixte" tel que proposé dans les typologies publiées, bien qu'il nous semble assez inadapté à une classification dynamique. En effet, beaucoup de torrents actifs peuvent potentiellement adopter un comportement alternant les processus de charriages *(simples ou hyperconcentrés)* et de laves torrentielles, soit lors d'évènements distincts, ou au cours d'un même évènement lors des différentes phases de crue.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

A l'instar de ce qui a été évoqué antérieurement, ces deux derniers torrents ont en commun bon nombre de caractéristiques morphométriques –*notamment des valeurs de pentes de bassin versant et de leur cône sensiblement similaires à celles du Verdarel (M_{BV}= 0,51 ; P_{CD} = 6,7°)* – et même géomorphologiques, alors que leurs dynamiques diffèrent sensiblement sur la période contemporaine **(post-PAG)**. En effet, lorsque pour le torrent de Saint-Bernard, il n'a été recensé que 5 crues exclusivement dominées par des morphodynamiques de charriage, le torrent du Verdarel a généré 15 crues, et le plus souvent sous forme de laves torrentielles.

Par ailleurs, et s'agissant du torrent de Saint-Bernard [Id. 30], la validité des données de l'enquête historique contemporaine s'est vue renforcée par nos propres investigations de terrain. Puisqu'à l'occasion d'un nouvel aménagement à proximité immédiate du chenal torrentiel, une **coupe ouverte sur le cône du torrent de Saint-Bernard** –*à l'endroit du lieu-dit Chantemerle*[179]– nous a permis d'étudier les vestiges géomorphologiques de la dynamique torrentielle de ce torrent. Cette "ablation" anthropique s'est révélée providentielle et pour le moins inespérée compte tenu du maillage particulièrement dense de l'urbanisation sur ce secteur.

L'observation et l'examen *in situ* des différents niveaux sédimentaires, permettent d'affirmer sans l'ombre d'un doute que le **cône du torrent de Saint-Bernard a été majoritairement façonné par des processus de colluvionnements et/ou de charriage.**

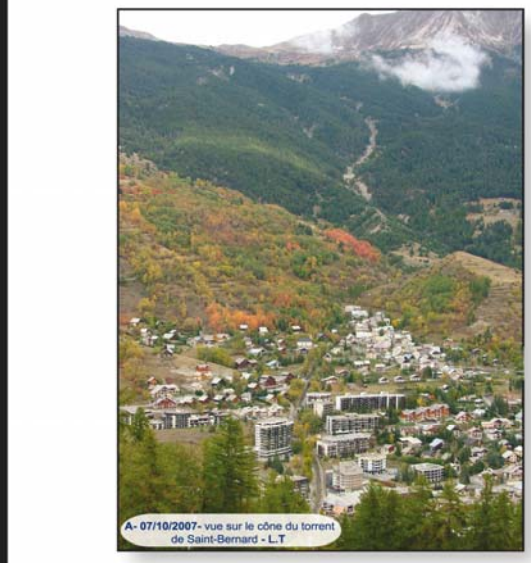
La section supérieure de la coupe **[3.f-3.d-3]** montre de manière quasi exclusive des dépôts torrentiels charriés. A l'exception de l'horizon affleurant marqué par des remaniements anthropiques (0 – -0,40 m) **[3.g]**, et de l'inclusion de deux niveaux à la granulométrie plus grossière **[3.f-3.b]**.

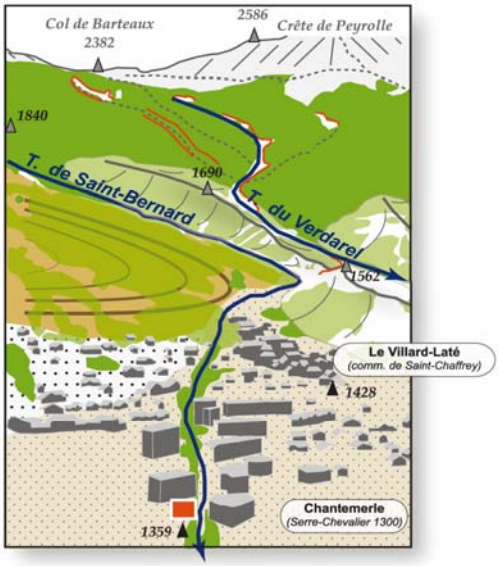
Le premier de ces deux derniers niveaux se distingue par un granoclassement latéral positif et une matrice gravelo-sableuse[180] de nature quelque peu atypique par rapport aux différentes matrices fines observées dans les niveaux supérieurs et inférieurs. Il ne semble donc pas particulièrement abusif de supputer une origine exogène au chenal principal, comme par exemple un glissement-coulée sur le flanc nord oriental de la moraine du Villard, en permanence affectée par des processus de ravinements.

[179] Chantemerle est implanté sur le cône de déjection du torrent du Saint-Bernard et constitue l'extension touristique du noyau villageois de Saint-Chaffrey, ainsi que le centre historique de la station de Serre-Chevalier.

[180] Il nous faut préciser que si nous employons la terminologie granulométrique en vigueur, cette classification ne procède que d'une estimation sommaire et empirique réalisée sur le terrain *(à la loupe pour les matrices les plus fines)* mais sans que des tamisages calibrés n'aient pu être rigoureusement réalisés. Ceci en raison des travaux en cours, du peu de temps qu'il m'a été permis d'observer la coupe et de l'impossibilité d'échantillonner certains horizons *(temps, sécurité du chantier, et accessibilité)*.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr





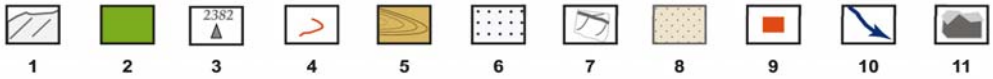


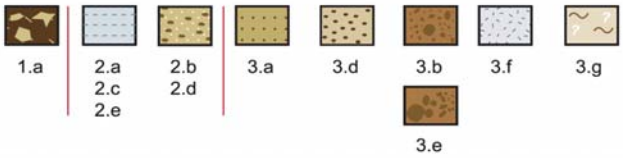
Fig n°?. A - croquis du cône de déjection du torrent de Saint-Bernard.

1. Lignes de crêtes principales **2.** Surfaces boisées *(Bois du Villard)* **3.** Altitudes **4.** zones érodées *(ravines, ruisselements, etc.)* **5.** Complexe de coulées anciennes du Granon **6.** Dépôts morainiques **7.** Moraine du Villard **8.** Cône torrentiel **9.** Localisation de la coupe **10.** Chenaux torrentiels principaux. **11.** Bâtiments.

THENARD L- 2008

Le torrent de saint-Bernard: un torrent composite actif à faible capacité mobilisatrice

Fig n°?. B - Coupe simplifiée du cône de déjection du torrent de Saint-Bernard.

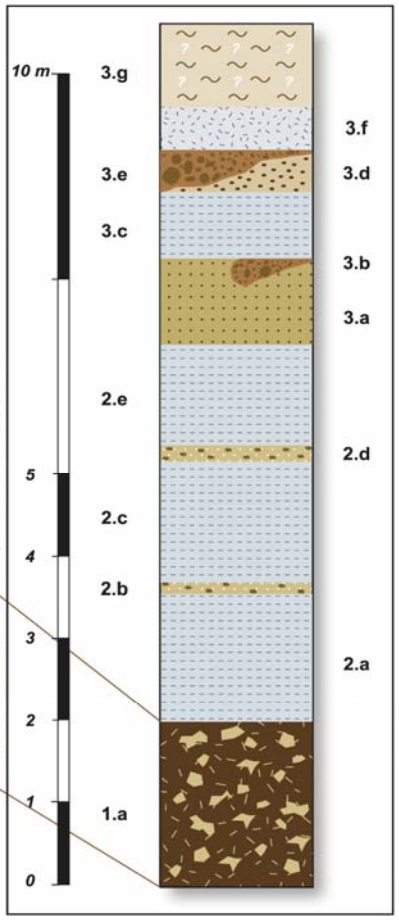


1. Processus anciens à charriage concentré dominant 2. Dépôts liés à des processus de colluvionnement ou de charriage simple. 3. Dépôts *(charriage simple et hyperconcentré)* **PAG** *(?)* **et contemporains.**

1.a/ [- 10,5m - 8,5m[Niveau à matrice gravelo-sableuse dominante et à forte proportion de blocs gréseux gélifractés et non triés. Probable tranche supérieure d'une section datant du Tardiglaciaire ou du Préboréal, l'absence de granoclassement et les gélifracts témoignent de déstokages massifs post-glaciaires (processus paraglaciaires).
2.a/2.c/2.e/3.c/ Niveaux argilo-limoneux traduisant de longues phases de torrentialité "apaisée" et de colluvionnement.
2.b/ 2.d/ Niveaux sablo-limoneux peu épais et présence de blocs émoussés (charriage simple dominant).
3.a/ [- 3,8 m - 2,7m[Niveau sableux avec une proportion importante (± 25%) de graviers [- de 2 cm] et de "petits blocs [2-5 cm].
3.b/ Niveau à matrice gravelo-sableuse dominante. Témoignage d'un débordement relativement important sur le cône avec une concentration volumique conséquente. Les plus gros blocs n'exèdent pas 20 cm de longueur radiale, pour une classe modale de [5-10cm]. Abscence de granoclassement.
3.d/ Niveau sablo-limoneux et blocs très émoussés.
3.e/ Probable front d'un débordement torrentiel paroxystique de type charriage hyperconcentré. A noter un granoclassement latéral positif tout à fait caractéristique (crue de 1973?).
3.f/ Niveau gravelo-sableux.
3.g/ Niveau perturbé par les aménagements anthropiques et remblais.







THENARD L- 2008

Coupe sur le cône du torrent de Saint-Bernard (octobre 2007).

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

En tout état de cause, ces deux niveaux témoignent de dynamiques plus intenses en terme de compétence. Pour autant, les plus gros blocs recensés dans ces niveaux n'excèdent jamais 35 cm de longueur radiale, et l'épaisseur modeste de ces niveaux (± 40 - 50cm) tend à démontrer que les processus morphodynamiques qui leur sont associés s'apparentent plus à du charriage hyperconcentré qu'à une véritable lave torrentielle. Cela se confirme aussi dans la dimension transversale de la coupe, car la structure lenticulaire et discontinue de ces horizons laisse supposer qu'ils correspondent à des digitations torrentielles peu étendues et faiblement aggradantes.

Mais globalement, les faciès exhumés traduisent un fonctionnement d'ensemble peu compulsif, très largement dominé par des épandages torrentiels réguliers, le plus souvent pauvres en charge graveleuse. Ce qui est illustré par les horizons argilo-limoneux particulièrement épais **[2.a-2.c-2e-3c]**, entrecoupés par de minces niveaux sablo-graveleux *(2 - 20 mm)* **[2.b-2.d-3.a]**.

A l'évidence, que ce soit pour le torrent de Saint-Bernard [Id. 30] ou pour le Verdarel [Id. 32], une typologie uniquement basée sur deux paramètres morphométriques *(M_{BV} et P_{BV})* apparaît pour le moins inadaptée. Par exemple, si la surface et même la pente des cônes de déjection des torrents de Saint-Bernard et du Verdarel sont assez proches, cela ne traduit pas nécessairement des comportements dynamiques dominants identiques ; que ce soit à une échelle séculaire ou à plus long terme. Dans ce cas précis, les variations locales de la largeur de la vallée *(L_{val})* constituent certainement des raisons plus probantes que les morphodynamiques dominantes pour expliquer la modestie des pentes moyennes des cônes de déjection du Saint-Bernard et du Verdarel.

Si, et nous l'avons démontré, le mode de fonctionnement du torrent du Verdarel [Id. 32] se caractérise principalement par des décharges brutales et massives, le plus souvent sous forme de lave torrentielle, il devrait en toute logique disposer d'un cône bien plus pentu que celui de son voisin immédiat.

Or, le terrain se révèle une fois encore plus complexe, mais non moins logique. Car, pour le torrent du Verdarel, les laves torrentielles tendent intrinsèquement à la concentration de l'énergie des crues, et donc des dépôts axiaux[181] plutôt que des épandages transversaux à la déclivité moins accusée. Mais les conditions topographiques locales compensent très largement cette dynamique "concentrée", car avec une largeur de vallée *(de versant à versant, hors cônes torrentiels)* de près de 1500 m, le torrent du Verdarel a ainsi pu épandre sans contrainte ses sédiments en fond de vallée. D'autant que sur le versant opposé, il ne subit pas de concurrence spatiale avec un autre organisme torrentiel.

Pour ces torrents, si la pente moyenne de leurs cônes de déjection est sensiblement identique, elle ne reflète absolument pas un comportement dynamique dominant.

[181] Axe longitudinal du cône de déjection correspondant, logiquement *(hors intervention anthropique ; ex : déviation du torrent de la Moulette [Id. 18] en 1980)*, à l'axe du chenal principal ou de la bande active.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

- ✓ *L'apport de la morphométrie intégrée à l'expertise hydro-géomorphologique de l'aléa torrentiel.*

Or, au cours de nos recherches sur ces torrents, la comparaison des densités de drainage nous a peut-être fourni une explication essentielle dans la compréhension du contraste dynamique *(aléa)* existant entre ces deux torrents. **En ce sens, employée comme un moyen et non une fin, l'analyse morphométrique peut parfois contribuer de façon essentielle à la compréhension des caractéristiques contemporaines et actuelles de l'aléa torrentiel.**

En effet, si la densité de drainage est assez faible pour le torrent de Saint-Bernard (D_D*= 2,29*), le torrent du Verdarel développe quand à lui la deuxième plus grande densité de drainage de la vallée avec 5,8 km.km².

Dans **les bassins de réception,** les 2 réseaux hydrographiques diffèrent sensiblement, en particulier dans la structure et l'organisation. Selon l'ordination de Strahler, quand il a été recensé **5 segments de rang 1** (*réseau secondaire intermittent*) dans le bassin du Saint-Bernard, **28 segments** de même niveau hiérarchique ont été dénombrés dans le Verdarel !

Outre leur nombre, ces chenaux torrentiels de **rang 1** se distinguent aussi par **leur longueur**. Dans le Saint-Bernard, ces segments sont non seulement bien différenciés, mais 4 d'entre eux sillonnent le bassin versant sur des longueurs comprises entre **1,5 et 2 km** et confluent juste à l'amont de l'apex du cône de déjection. Tandis que dans le Verdarel, ces organismes élémentaires oscillent **entre 200 et 400 mètres** de longueurs et confluent très rapidement dans l'*impluvium*.

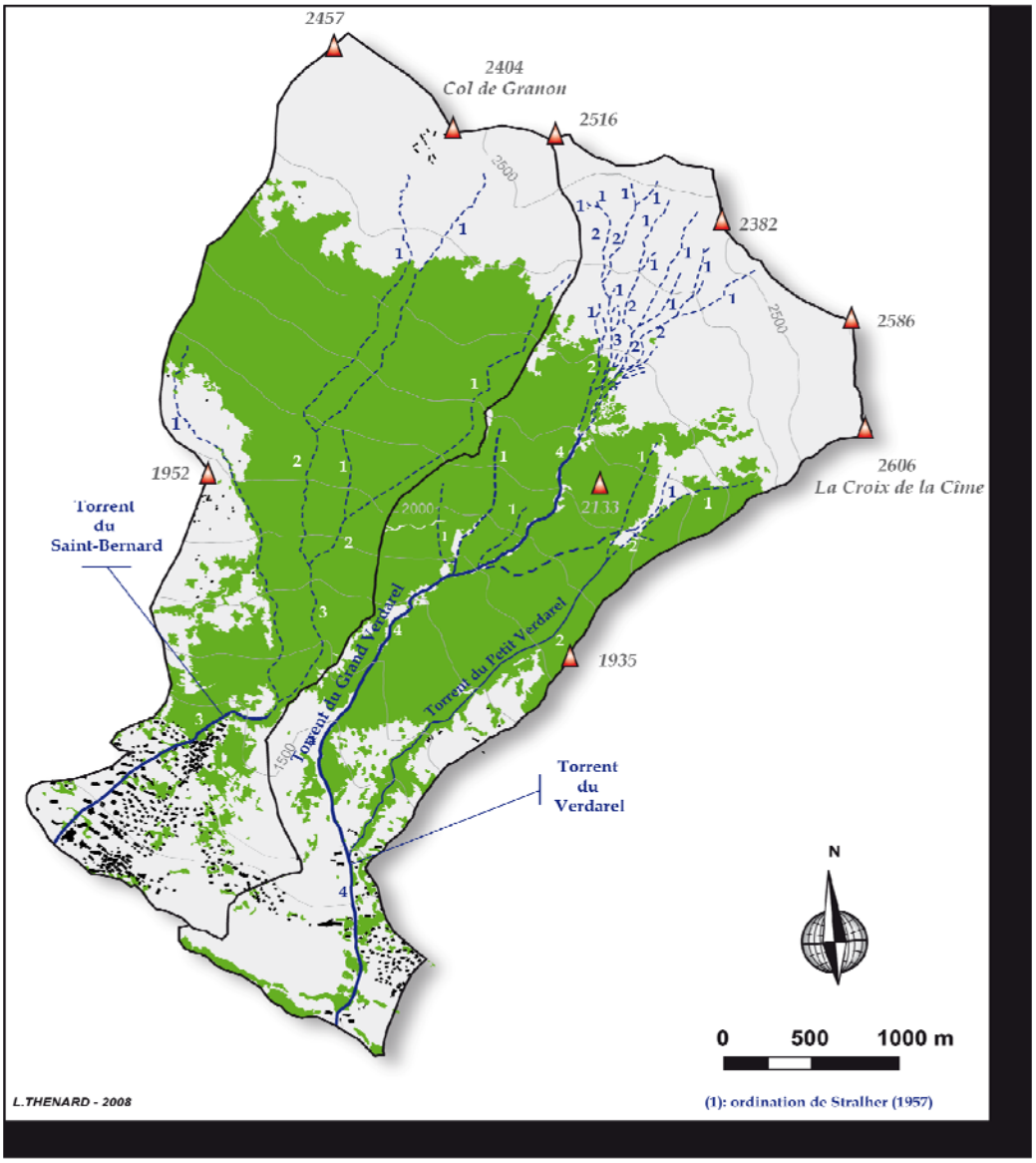
Plus précisément encore, **lorsque la longueur moyenne des segments d'ordre 1 est de 1440 m pour Saint-Bernard, elle n'est que de 279 m dans le Verdarel**, alors que la somme des longueurs cumulées du réseau de drainage est assez comparable dans ces torrents (*entre 7000 et 8000m*).

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Complexité et subtilité de l'évaluation de l'aléa torrentiel:

L'exemple des torrents de Saint-Bernard et du Verdarel



Comparaison des principaux indices morphométriques

ID	Toponymie	A_t (km²)	A_{gv} (km²)	A_{cu} (km²)	A_{bois} (km²)	A_{bois} (% de AT)	I_{CO} (m)	L_{ver} (m)	R_R (°)	P_{CO} (°)	P_{CF} (°)	K_{ver}	M_{gv}	D_d
30	T. du Saint-Bernard	4,47	3,91	12,38	2,27	50,90	1040	1200	12,9	6,7	10,6	1,55	0,51	2,29
32	T. du Verdarel	4,27	3,58	16,26	2,03	47,46	1490	1570	11,8	7,1	10,2	1,79	0,56	5,80

Torrent du Saint-Bernard

Rangs	N	R_c
1	5	
2	2	2,5
3	2	1
4	0	

Torrent du Verdarel

Rangs	N	R_c
1	28	
2	8	3,5
3	2	4
4	1	2

Rapports de confluence

Organisation du réseau secondaire

	Saint-Bernard	Verdarel
N rang 1	5	28
∑ Longueurs_rang 1	7200	7815
W Longueurs_rang 1	1440	279

L.THENARD - 2009

Comparaison des réseaux hydrographiques
des torrents de Saint-Bernard [Id 30] et du Verdarel [Id 32]

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Pour le torrent du Verdarel, cette distribution du réseau en forme d'éventail vers l'amont, s'étalant sur la presque totalité du bassin de réception sous la forme de courtes ravines, assure une captation optimale des eaux de ruissellement et surtout une concentration des flux particulièrement rapide, très en amont du bassin torrentiel. D'autant que ce réseau secondaire conflue très rapidement dans les 2 drains principaux du Petit et surtout du Grand Verdarel. Évidemment, ce type d'organisation du réseau hydrographique –associé à d'autres éléments fondamentaux *(disponibilité et instabilité de la charge sédimentaire, pentes, etc.)*– tend à favoriser la genèse des crues torrentielles. Le caractère "étriqué" du bassin versant ou plus exactement, son étirement (K_{GR}), est incontestablement un facteur aggravant, car les faibles dimensions transversales des bassins conduisent à une concentration très rapide des eaux de ruissellements. A ce sujet, le Verdarel dispose d'une des valeurs de compacité (K_{GR} = *1,79*) la plus élevée de la vallée.

Alors que les configurations "statiques" dans ces 2 bassins torrentiels sont assez similaires, il faut probablement voir dans l'organisation et la densité des réseaux hydrographiques une explication essentielle (*mais non exclusive !*) **du contraste marqué entre ces deux torrents du point de vue de l'occurrence, mais aussi de l'intensité de l'aléa torrentiel.**

Si cette dernière remarque ne constitue pas une assertion scientifique absolue, il est tout de même intéressant de noter que les torrents les plus actifs entre le Monêtier-les-Bains et Saint-Chaffrey, présentent pour la plupart une organisation du réseau hydrographique assez comparable. Notamment, une densité moyenne de drainage assez élevée, en particulier un réseau secondaire constitué d'organismes courts et relativement denses dans le bassin de réception.

Les torrents de La Salle [Id. 27 ; D_D= 3,31], du Bez (*section supérieure nord-orientale et torrent du Glaize*) [Id. 24; D_D= 1,75], de Chanteloube (*ou des Guibertes*) [Id. 20 ; D_D= 3,75], du Merdarel [Id. 19 ; D_D= 4,31], ou encore de Corvaria [Id. 17 ; D_D= 4,16] ont également en commun cette caractéristique, et sont considérés comme les torrents les plus actifs de la période contemporaine (Cf. 3.2). Et cela, à l'inverse de torrents avoisinants souvent comparables au niveau du contexte géomorphologique des bassins, mais au chevelu hydrographique bien moins développé dans leurs sections supérieures. A titre d'exemple, les torrents Carles [Id. 33 ; D_D= 1,82], Peytavin [Id. 31 ; D_D= 0,98], Saint-Bernard [Id. 30 ; D_D= 2,29], du Riou Blanc [Id. 29 ; D_D= 1,77], des Écoutes [Id. 26 ; D_D= 1,64], de la Pisse [Id. 25 ; D_D= 1,03], rentrent dans cette catégorie, et ne témoignent pas pour la période contemporaine d'une activité régulière, intense ou particulièrement dommageable.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr

Annexe 8 : A.C.P n°1 = une surreprésentation des torrents proglaciaire du Petit et du Grand Tabuc.

Numéro	Valeur propre	%	% cumulés
1	**6,7063**	47,90	**47,90**
2	**1,7311**	12,36	**60,27**
3	**1,7029**	12,16	**72,43**
4	1,0623	7,59	80,02
5	0,9986	7,13	87,15
6	0,7242	5,17	92,32
7	0,2714	1,94	94,26
8	0,2487	1,78	96,04
9	0,2109	1,51	97,55
10	0,1305	0,93	98,48
11	0,1087	0,78	99,25
12	0,0756	0,54	99,79
13	0,0288	0,21	100,00
14	0,0000	0,00	100,00

Tableau des valeurs propres (A.C.P n° 1)

Sur l'ensemble des informations de la base (100%), la première tendance représente 47,9 % des variations totales, et constitue ainsi le premier axe factoriel du plan *(Axe factoriel F1 → μ_1 =47,9%)*.

La deuxième et la troisième tendances représentent quant à elles 12,36% et 12,16% *(Axe factoriel F2 → μ_2 =12,36% /Axe factoriel F3 → μ =12,16%)*.

A l'issue des traitements, **3 axes factoriels** ont donc été retenus, car expliquant 72,43% de la variance totale, illustrée par les représentations graphiques associées à l'A.C.P : cercles des corrélations et "nuages de points"

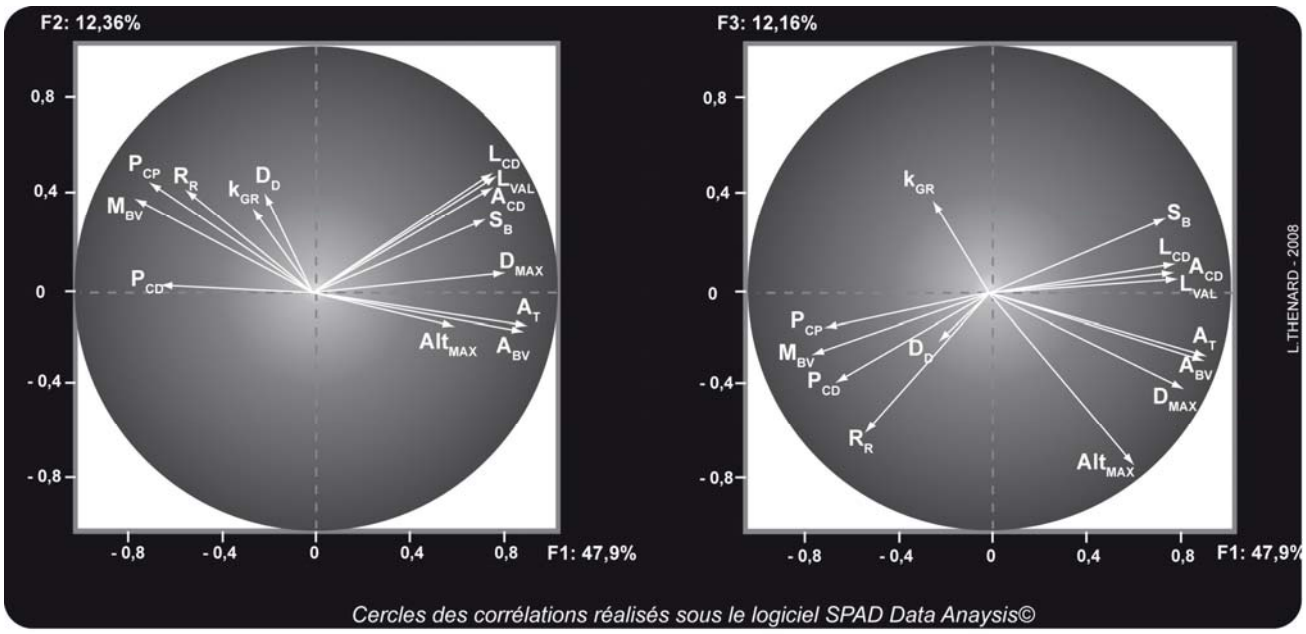
Le premier cercle des corrélations, constitués donc des axes 1 et 2, regroupe 60,27% de la variation totale de la base, et permet de visualiser au mieux les relations de proximité et d'éloignement *(corrélations positives et négatives)* entre les variables (Buisine et Martin, 2006).

Dans ce premier cas, l'axe factoriel F1 oppose globalement les paramètres de surfaces *(A_T, A_{BV}, A_{CD})* et de distances *(L_{val} et l_{CD})* avec les paramètres de pentes *(en particulier M_{BV}, P_{CD} et P_{CP})*. Autrement dit, la tendance globale mise en évidence par l'A.C.P tend à établir une relation inverse entre l'ensemble des paramètres de superficies et de pentes, que se soit au sujet de bassins versants ou des cônes. Rappelons qu'il s'agit d'une synthèse, et que les analyses descriptives nous ont permis de mettre en exergue nombre de contre-exemples. (Cf. 2.2 et 2.3.1)

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Dans le détail, le cercle des corrélations permet de confirmer et surtout de visualiser l'intensité des liens existants entre toutes ces variables. Si sans surprise, on observe un lien important entre la pente des bassins versants torrentiels *(M_{BV} et R_R)* et la pente du chenal principal *(P_{CP})*, il est par contre intéressant de noter la faible corrélation entre le coefficient de rugosité de Melton *(M_{BV})* et la pente des cônes de déjection *(P_{CD})*. Relation qui n'est pas inexistante pour certains torrents, mais qui ne se vérifie pas pour l'ensemble, ce qui n'est d'ailleurs qu'une confirmation des analyses précédentes *(Cf. 2.3.1)*. De la même manière, nous retrouvons la forte corrélation de la longueur radiale *(l_{CD})* et de la superficie des cônes *(A_{CD})* avec les conditions topographiques locales *(L_{val})*.



Cercles des corrélations (A.C.P n° 1)

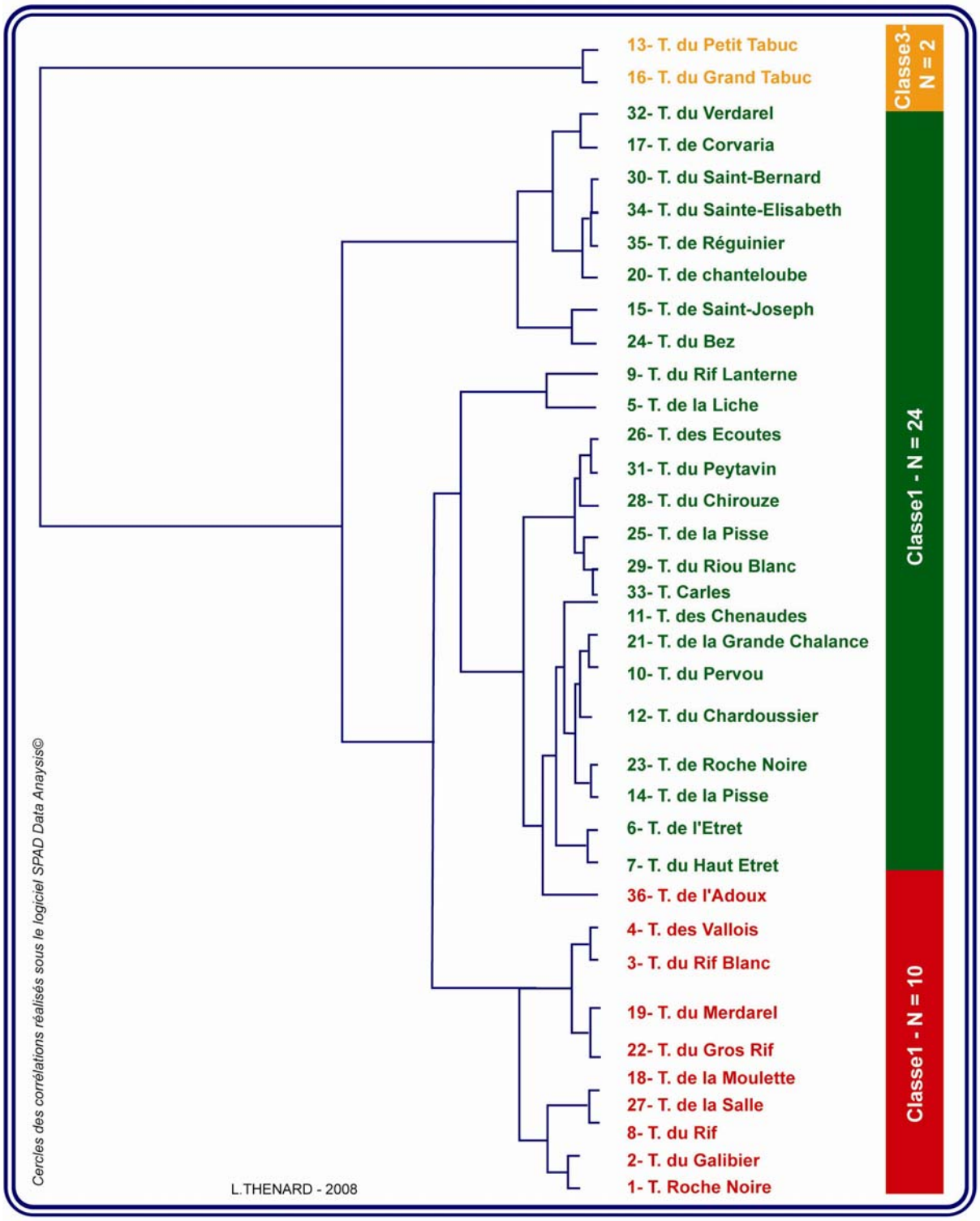
Axes factoriels 1, 2 et 3 = 72,3% des contributions à la formation du plan

D'ailleurs l'axe F3, ne fait que peu évoluer le constat précédent, que ce soit en terme de corrélations ou en terme de contributions. Nous privilégierons donc le plan et le nuage de point formés par les axes F1 et F2 pour la constitution des groupes. Pour le troisième facteur, noter la forte contribution de certains paramètres tels que les altitudes *($Alt_{(max)}$)* les pentes *(M_{BV}, P_{CD}, R_R)* ou encore les formes *(K_{GR})* à la constitution de l'axe F3. Ce qui explique donc que le torrent de la Liche [Id.5] se distingue nettement avec 19,7% de contribution, tout comme les torrents de Saint-Bernard [Id.30] et du Verdarel [Id.32], avec respectivement 8,4% et 7,5%.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Par suite, et en vue de dégager une éventuelle typologie des torrents de la Guisane, nous avons réalisé une première **Classification Ascendante Hiérarchique** *(C.A.H)*, matérialisée graphiquement sous la forme d'un **dendrogramme**, mais aussi sur **le "nuage de points"** par des "enveloppes" correspondantes.



Dendrogramme issue de la Classification Ascendante Hiérarchique n° 1.

.

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

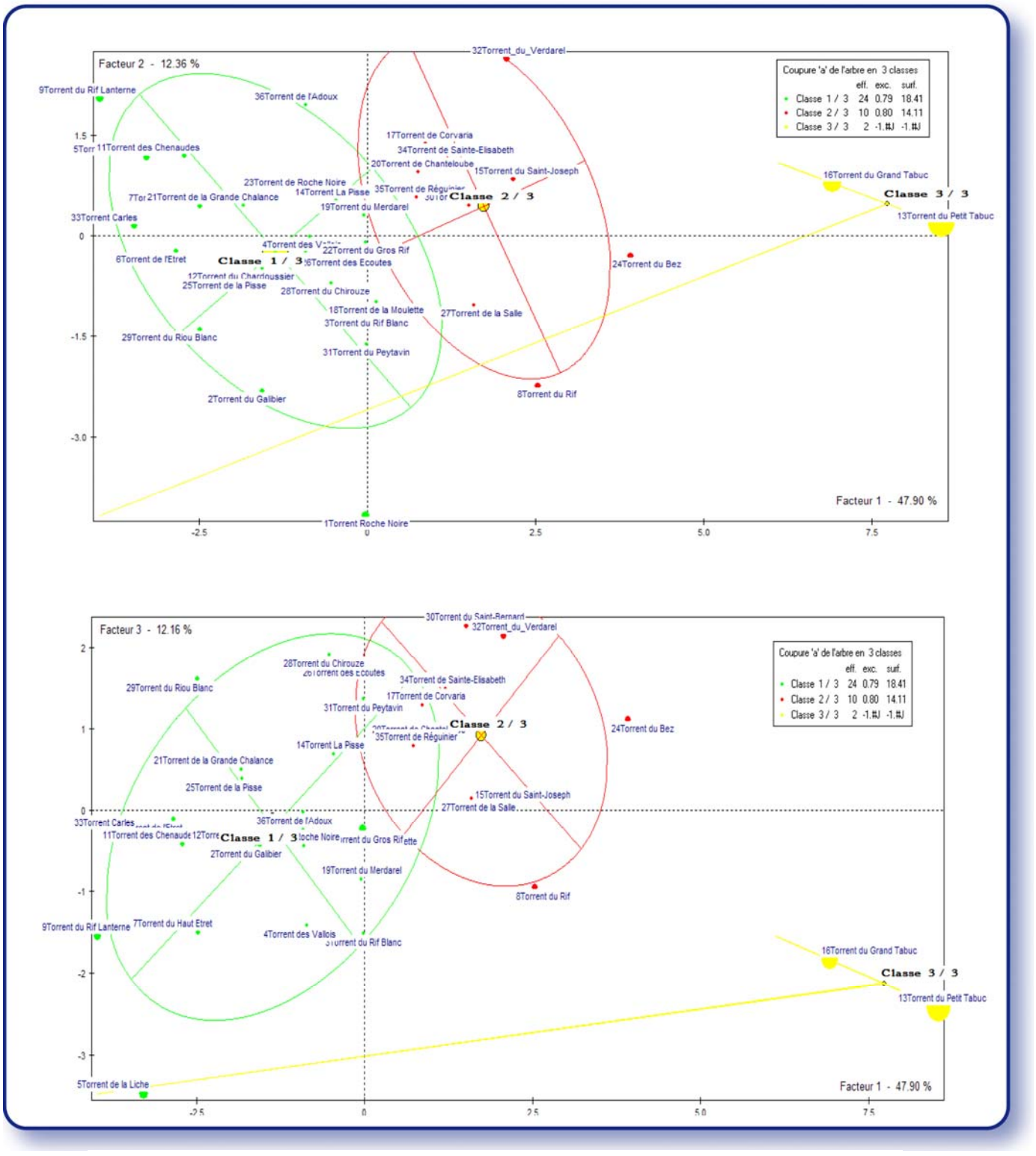
Cette classification **en trois groupes distincts** permet d'affiner et de préciser les éléments de rapprochements ou de contrastes entre les 36 torrents étudiés, en s'appuyant sur un croisement concomitant des 14 paramètres morphologiques.

- La **première classe** regroupe près de 24 individus *(soit près de 67% des torrents de la vallée)* en fonction du caractère particulièrement pentu et peu étendu de leur bassin versant et de leur cône de déjection. Leur appartenance à ce groupe tient également et globalement à l'étirement (K_{GR}) et à l'aspect assez dénudé des bassins torrentiels *(S_B)*, ainsi qu'à une certaine étroitesse du fond de vallée *(L_{val})*. Bien que pour ce dernier élément, les valeurs apparaissent assez disparates.

- Vient ensuite **le deuxième groupe**, qui avec 10 torrents n'a en commun avec le précédent qu'une superficie assez moyenne des bassins versants. Ces torrents présentent en revanche de vastes cônes de déjection, des valeurs de pentes nettement moins marquées que dans la première classe, et surtout une végétalisation plus importante.

- Enfin **le troisième groupe**, qui ne rassemble que 2 torrents, le Petit [Id. 13] et le Grand Tabuc [Id. 16], mais ils contribuent à eux seuls à 50% de l'axe factoriel F1 ! Donc, ces torrents doivent en premier lieu leur singularité à la superficie de leur bassin versant. Avec environ 25 km² pour le Petit Tabuc et 17 km² pour le Grand Tabuc, et en rappelant que 80% des torrents guisanais font moins de 5 km², ces torrents sont de loin les plus étendus de la vallée de la Guisane *(w = 4,18 km²)*. Par ailleurs, leur autre spécificité, et non des moindres, est d'être les uniques torrents proglaciaires de la vallée : émissaires principaux des glaciers d'Arsine et du Casset dans le cas du Petit Tabuc, et du glacier du Monêtier pour le Grand Tabuc. Aussi les conditions topographiques favorables *(L_{val})* de la vallée, et l'abondance de la charge fluvio-glaciaire charriée ont permis à ces torrents d'édifier de vastes cônes de déjection *(compris entre 80 et 90 ha)* faiblement pentus *(< 5°)*.

© 2011 Tous droits réservés.
http://doc.univ-lille1.fr



Nuages de points et discrétisation graphique issue de la C.A.H (A.C.P n° 1)

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Statistiques sommaires des variables continues

Libellé de la variable	Effectif	Poids	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum
Superficie bassin versant (km2)	36	36,00	3,842	4,797	0,340	24,428
Superficie cones (km2)	36	36,00	0,335	0,279	0,000	1,175
Superficie totale (km2)	36	36,00	4,176	4,943	0,493	25,331
Surface_boisee_Sq_km	36	36,00	0,818	0,876	0,000	2,875
Alt. max (BV)	36	36,00	2800,140	295,539	2320,000	3664,000
Denivele max.	36	36,00	1302,500	264,734	821,000	2189,000
l cd (m)	36	36,00	690,861	335,563	15,000	1490,000
L val (m)	36	36,00	1022,080	412,821	130,000	2040,000
RR_ (relief ratio) ø	36	36,00	17,366	4,768	10,397	28,100
Pcd (ø)	33	33,00	9,122	4,803	3,626	25,833
P cp (ø)	36	36,00	12,216	3,999	5,652	22,190
K(Gr)	36	36,00	1,473	0,181	1,102	1,910
M BV	36	36,00	0,795	0,264	0,362	1,304
D (d)	36	36,00	2,937	1,221	0,978	7,466

Matrice des corrélations

	Superficie bassin versant (km2)	Superficie cones (km2)	Superficie totale (km2)	Surface_boisee_Sq_km	Alt. max (BV)	Denivele max.	l cd (m)	L val (m)	RR_ (relief ratio) ø	Pcd (ø)	P cp (ø)	K(Gr)	M BV	D (d)
Superficie bassin versant (km2)	1,00													
Superficie cones (km2)	0,50	1,00												
Superficie totale (km2)	**1,00**	**0,55**	1,00											
Surface_boisee_Sq_km	**0,58**	**0,67**	**0,60**	1,00										
Alt. max (BV)	**0,70**	0,30	**0,70**	0,09	1,00									
Denivele max.	**0,80**	0,51	**0,80**	0,45	**0,82**	1,00								
l cd (m)	**0,53**	**0,81**	**0,56**	**0,73**	0,28	0,52	1,00							
L val (m)	**0,57**	**0,79**	**0,60**	**0,67**	0,33	**0,67**	**0,79**	1,00						
RR_ (relief ratio) ø	-0,39	-0,23	-0,39	-0,35	-0,01	-0,22	-0,24	-0,26	1,00					
Pcd (ø)	-0,39	-0,50	-0,40	-0,41	-0,18	-0,46	-0,46	**-0,55**	0,48	1,00				
P cp (ø)	**-0,58**	-0,36	**-0,59**	-0,28	-0,43	-0,39	-0,36	-0,30	**0,65**	**0,55**	1,00			
K(Gr)	-0,28	-0,20	-0,28	0,01	-0,30	-0,09	-0,07	-0,04	-0,09	0,02	0,25	1,00		
M BV	**-0,65**	-0,41	**-0,65**	**-0,54**	-0,28	-0,39	-0,49	-0,36	**0,73**	0,44	**0,71**	0,32	1,00	
D (d)	-0,23	-0,04	-0,23	-0,27	0,01	-0,15	0,15	0,00	0,23	0,29	0,10	0,15	0,20	1,00

Matrice des valeurs-tests

	Superficie bassin versant (km2)	Superficie cones (km2)	Superficie totale (km2)	Surface_boisee_Sq_km	Alt. max (BV)	Denivele max.	l cd (m)	L val (m)	RR_ (relief ratio) ø	Pcd (ø)	P cp (ø)	K(Gr)	M BV	D (d)
Superficie bassin versant (km2)	99,99													
Superficie cones (km2)	3,33	99,99												
Superficie totale (km2)	22,29	3,67	99,99											
Surface_boisee_Sq_km	3,96	4,91	4,15	99,99										
Alt. max (BV)	5,22	1,86	5,17	0,54	99,99									
Denivele max.	6,52	3,39	6,61	2,94	7,00	99,99								
l cd (m)	3,51	6,72	3,76	5,56	1,75	3,49	99,99							
L val (m)	3,89	6,49	4,15	4,86	2,03	4,82	6,48	99,99						
RR_ (relief ratio) ø	-2,47	-1,42	-2,48	-2,18	-0,07	-1,37	-1,50	-1,58	99,99					
Pcd (ø)	-2,34	-3,15	-2,45	-2,53	-1,03	-2,83	-2,88	-3,56	3,00	99,99				
P cp (ø)	-4,01	-2,28	-4,04	-1,71	-2,73	-2,49	-2,27	-1,86	4,68	3,59	99,99			
K(Gr)	-1,72	-1,24	-1,74	0,08	-1,85	-0,53	-0,41	-0,22	-0,52	0,13	1,51	99,99		
M BV	-4,61	-2,60	-4,65	-3,59	-1,75	-2,45	-3,25	-2,27	5,62	2,74	5,35	2,01	99,99	
D (d)	-1,42	-0,23	-1,39	-1,65	0,04	-0,93	0,89	-0,02	1,38	1,69	0,62	0,90	1,21	99,99

Intervalles laplaciens d'Anderson (seuil: 0.95)

Numéro	Borne inférieure	Valeur propre	Borne supérieure
1	3,5642	6,7063	9,8484
2	0,9200	1,7311	2,5421
3	0,9051	1,7029	2,5008
4	0,5646	1,0623	1,5600
5	0,5307	0,9986	1,4664

ACP 1

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

COORDONNEES, CONTRIBUTIONS ET COSINUS CARRES DES INDIVIDUS

AXES 1 A 5

INDIVIDUS			COORDONNEES					CONTRIBUTIONS					COSINUS CARRES				
IDENTIFICATEUR	P.REL	DISTO	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1Torrent Roche Noire	2.78	18.71	-0.03	**-4.17**	-0.23	-0.49	0.51	0.0	**28.0**	0.1	0.6	0.7	0.00	**0.93**	0.00	0.01	0.01
2Torrent du Galibier	2.78	16.36	-1.56	-2.31	-0.43	-1.99	-1.23	1.0	8.6	0.3	10.3	4.2	0.15	0.33	0.01	0.24	0.09
3Torrent du Rif Blanc	2.78	7.25	-0.01	-1.18	-1.52	-0.98	-0.19	0.0	2.2	3.7	2.5	0.1	0.00	0.19	0.32	0.13	0.00
4Torrent des Vallois	2.78	6.45	-0.86	-0.01	-1.41	-0.20	-0.57	0.3	0.0	3.3	0.1	0.9	0.11	0.00	0.31	0.01	0.05
5Torrent de la Liche	2.78	30.75	-3.28	1.17	-3.47	0.89	-0.15	4.5	2.2	19.7	2.1	0.1	0.35	0.04	0.39	0.03	0.00
6Torrent de l'Etret	2.78	11.92	**-2.84**	-0.22	-0.11	0.19	-1.06	**3.3**	0.1	0.0	0.1	3.1	**0.68**	0.00	0.00	0.00	0.09
7Torrent du Haut Etret	2.78	11.09	-2.48	0.44	-1.51	-0.23	-0.43	2.5	0.3	3.7	0.1	0.5	0.55	0.02	0.20	0.00	0.02
8Torrent du Rif	2.78	15.30	2.54	-2.24	-0.95	-1.20	-0.37	2.7	8.1	1.5	3.8	0.4	0.42	0.33	0.06	0.09	0.01
9Torrent du Rif Lanterne	2.78	31.67	**-3.98**	2.05	-1.56	-2.40	-0.38	**6.6**	6.8	3.9	15.0	0.4	**0.50**	0.13	0.08	0.18	0.00
10Torrent du Pervou	2.78	1.47	-0.91	-0.23	-0.02	-0.06	-0.10	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.56	0.04	0.00	0.00	0.01
11Torrent des Chenaudes	2.78	10.45	-2.71	1.20	-0.42	0.29	0.69	3.0	2.3	0.3	0.2	1.3	0.70	0.14	0.02	0.01	0.05
12Torrent du Chardoussie	2.78	3.97	-1.55	-0.48	-0.20	-0.14	0.98	1.0	0.4	0.1	0.1	2.7	0.61	0.06	0.01	0.00	0.24
13Torrent du Petit Tabuc	2.78	83.66	**8.54**	0.17	-2.43	1.43	0.86	**30.2**	0.0	9.6	5.4	2.1	**0.87**	0.00	0.07	0.02	0.01
14Torrent La Pisse	2.78	6.27	-0.46	0.53	0.69	0.35	1.56	0.1	0.5	0.8	0.3	6.8	0.03	0.04	0.08	0.02	0.39
15Torrent du Saint-Josep	2.78	16.73	2.18	0.84	0.08	-0.11	-2.51	2.0	1.1	0.0	0.0	17.5	0.28	0.04	0.00	0.00	0.38
16Torrent du Grand Tabuc	2.78	54.17	**6.92**	0.79	-1.84	0.16	1.17	**19.8**	1.0	5.5	0.1	3.8	**0.88**	0.01	0.06	0.00	0.03
17Torrent de Corvaria	2.78	10.01	0.86	1.37	1.28	-1.19	1.95	0.3	3.0	2.7	3.7	10.6	0.07	0.19	0.16	0.14	0.38
18Torrent de la Moulette	2.78	3.21	0.14	-0.98	-0.27	-0.37	0.60	0.0	1.6	0.1	0.4	1.0	0.01	0.30	0.02	0.04	0.11
19Torrent du Merdarel	2.78	4.40	-0.05	0.31	-0.86	0.03	-0.07	0.0	0.2	1.2	0.0	0.0	0.00	0.02	0.17	0.00	0.00
20Torrent de Chanteloube	2.78	3.98	0.75	0.95	0.88	-0.76	-0.47	0.2	1.4	1.3	1.5	0.6	0.14	0.23	0.20	0.14	0.06
21Torrent de la Grande C	2.78	6.72	-1.84	0.45	0.50	0.68	0.17	1.4	0.3	0.4	1.2	0.1	0.50	0.03	0.04	0.07	0.00
22Torrent du Gros Rif	2.78	1.63	-0.02	-0.09	-0.25	0.10	0.11	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.00	0.00	0.04	0.01	0.01
23Torrent de Roche Noire	2.78	5.01	-0.90	0.68	-0.45	0.09	1.25	0.3	0.7	0.3	0.0	4.3	0.16	0.09	0.04	0.00	0.31
24Torrent du Bez	2.78	22.27	**3.92**	-0.30	1.11	0.58	-2.09	**6.4**	0.1	2.0	0.9	12.1	**0.69**	0.00	0.06	0.01	0.20
25Torrent de la Pisse	2.78	8.15	-1.82	-0.62	0.39	1.67	-0.34	1.4	0.6	0.3	7.3	0.3	0.41	0.05	0.02	0.34	0.01
26Torrent des Ecoutes	2.78	4.61	-0.27	-0.28	**1.80**	0.68	-0.39	0.0	0.1	**5.3**	1.2	0.4	0.02	0.02	**0.70**	0.10	0.03
27Torrent de la Salle	2.78	6.32	1.59	-1.03	0.15	-1.16	0.02	1.1	1.7	0.0	3.5	0.0	0.40	0.17	0.00	0.21	0.00
28Torrent du Chirouze	2.78	6.77	-0.53	-0.70	1.90	-0.32	1.38	0.1	0.8	5.9	0.3	5.3	0.04	0.07	0.54	0.02	0.28
29Torrent du Riou Blanc	2.78	12.60	-2.48	-1.41	1.61	0.83	0.28	2.6	3.2	4.2	1.8	0.2	0.49	0.16	0.21	0.05	0.01
30Torrent du Saint-Berna	2.78	8.72	1.52	0.45	**2.27**	0.25	-0.54	1.0	0.3	**8.4**	0.2	0.8	0.26	0.02	**0.59**	0.01	0.03
31Torrent du Peytavin	2.78	7.63	-0.01	-1.62	1.36	1.50	-0.06	0.0	4.2	3.0	5.9	0.0	0.00	0.34	0.24	0.30	0.00
32Torrent_du_Verdarel	2.78	22.68	2.07	2.64	2.14	-2.40	0.49	1.8	11.2	7.5	15.1	0.7	0.19	0.31	0.20	0.25	0.01
33Torrent Carles	2.78	19.62	**-3.47**	0.15	-0.26	1.85	1.66	**5.0**	0.0	0.1	9.0	7.6	**0.61**	0.00	0.00	0.18	0.14
34Torrent de Sainte-Elis	2.78	6.44	1.20	1.16	1.48	0.44	-0.55	0.6	2.2	3.6	0.5	0.8	0.22	0.21	0.34	0.03	0.05
35Torrent de R,guinier	2.78	3.62	0.73	0.58	0.79	0.42	-0.31	0.2	0.5	1.0	0.5	0.3	0.15	0.09	0.17	0.05	0.03
36Torrent de l'Adoux	2.78	13.37	-0.91	1.95	-0.24	1.56	-1.91	0.3	6.1	0.1	6.4	10.2	0.06	0.28	0.00	0.18	0.27

ACP 1 : tableau des contributions

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Annexe 9 : Analyse en Composante Principale n° 2.

Coordonnées des variables actives

Libellé de la variable	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5	Axe 6	Axe 7	Axe 8	Axe 9	Axe 10	Axe 11	Axe 12	Axe 13	Axe 14
Superficie bassin versant (km2)	**0,89**	-0,17	-0,28	0,07	0,09	-0,22	0,05	-0,06	-0,18	0,08	0,07	0,00	0,00	0,00
Superficie cones (km2)	**0,75**	0,44	0,09	0,01	-0,27	0,14	-0,03	0,32	0,02	0,17	-0,02	0,05	0,02	0,00
Superficie totale (km2)	**0,90**	-0,14	-0,27	0,07	0,07	-0,20	0,04	-0,04	-0,17	0,09	0,06	0,00	0,00	0,00
Surface_boisee_Sq_km	**0,73**	0,31	0,31	0,27	-0,11	-0,33	0,17	-0,06	0,03	-0,03	-0,20	-0,05	-0,03	0,00
Alt. max (BV)	0,59	-0,14	**-0,72**	-0,09	0,21	0,10	0,02	0,09	0,17	-0,01	-0,03	0,01	-0,11	0,00
Denivele max	**0,80**	0,08	-0,40	0,12	0,34	0,08	-0,13	-0,04	0,13	-0,04	-0,09	-0,04	0,11	0,00
l cd (m)	**0,76**	0,51	0,12	-0,17	-0,16	-0,05	0,10	-0,05	0,16	-0,06	0,19	-0,11	0,00	0,00
L val (m)	**0,78**	0,50	0,06	0,04	0,01	0,12	-0,23	-0,03	-0,17	-0,19	0,01	0,08	-0,04	0,00
RR_ (relief ratio) ø	-0,53	0,43	**-0,58**	0,21	-0,19	0,10	0,27	-0,09	0,00	-0,04	0,02	0,12	0,03	0,00
Pcd (ø)	**-0,64**	0,03	-0,38	-0,08	-0,13	-0,59	-0,09	0,23	0,01	-0,11	0,01	0,00	0,02	0,00
P cp (ø)	**-0,69**	0,46	-0,14	0,37	-0,01	-0,18	-0,25	-0,17	0,09	0,16	0,03	0,00	-0,03	0,00
K(Gr)	-0,24	0,35	0,38	-0,03	**0,79**	-0,15	0,11	0,08	0,03	0,02	0,05	0,08	0,00	0,00
M BV	**-0,75**	0,39	-0,27	0,20	0,19	0,22	0,06	0,13	-0,19	-0,01	-0,02	-0,17	-0,01	0,00
D (d)	-0,21	0,43	-0,19	**-0,83**	0,01	-0,07	-0,01	-0,12	-0,07	0,07	-0,09	-0,01	0,00	0,00

Corrélations des variables actives avec les facteurs

Libellé de la variable	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5	Axe 6	Axe 7	Axe 8	Axe 9	Axe 10	Axe 11	Axe 12	Axe 13	Axe 14
Superficie bassin versant (km2)	0,89	-0,17	-0,28	0,07	0,09	-0,22	0,05	-0,06	-0,18	0,08	0,07	0,00	0,00	0,00
Superficie cones (km2)	0,75	0,44	0,09	0,01	-0,27	0,14	-0,03	0,32	0,02	0,17	-0,02	0,05	0,02	0,00
Superficie totale (km2)	0,90	-0,14	-0,27	0,07	0,07	-0,20	0,04	-0,04	-0,17	0,09	0,06	0,00	0,00	0,00
Surface_boisee_Sq_km	0,73	0,31	0,31	0,27	-0,11	-0,33	0,17	-0,06	0,03	-0,03	-0,20	-0,05	-0,03	0,00
Alt. max (BV)	0,59	-0,14	-0,72	-0,09	0,21	0,10	0,02	0,09	0,17	-0,01	-0,03	0,01	-0,11	0,00
Denivele max	0,80	0,08	-0,40	0,12	0,34	0,08	-0,13	-0,04	0,13	-0,04	-0,09	-0,04	0,11	0,00
l cd (m)	0,76	0,51	0,12	-0,17	-0,16	-0,05	0,10	-0,05	0,16	-0,06	0,19	-0,11	0,00	0,00
L val (m)	0,78	0,50	0,06	0,04	0,01	0,12	-0,23	-0,03	-0,17	-0,19	0,01	0,08	-0,04	0,00
RR_ (relief ratio) ø	-0,53	0,43	-0,58	0,21	-0,19	0,10	0,27	-0,09	0,00	-0,04	0,02	0,12	0,03	0,00
Pcd (ø)	-0,64	0,03	-0,38	-0,08	-0,13	-0,59	-0,09	0,23	0,01	-0,11	0,01	0,00	0,02	0,00
P cp (ø)	-0,69	0,46	-0,14	0,37	-0,01	-0,18	-0,25	-0,17	0,09	0,16	0,03	0,00	-0,03	0,00
K(Gr)	-0,24	0,35	0,38	-0,03	0,79	-0,15	0,11	0,08	0,03	0,02	0,05	0,08	0,00	0,00
M BV	-0,75	0,39	-0,27	0,20	0,19	0,22	0,06	0,13	-0,19	-0,01	-0,02	-0,17	-0,01	0,00
D (d)	-0,21	0,43	-0,19	-0,83	0,01	-0,07	-0,01	-0,12	-0,07	0,07	-0,09	-0,01	0,00	0,00

Anciens axes unitaires

Libellé de la variable	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5	Axe 6	Axe 7	Axe 8	Axe 9	Axe 10	Axe 11	Axe 12	Axe 13	Axe 14
Superficie bassin versant (km2)	0,34	-0,13	-0,21	0,07	0,09	-0,25	0,09	-0,12	-0,38	0,22	0,20	-0,01	0,02	0,00
Superficie cones (km2)	0,29	0,33	0,07	0,01	-0,27	0,16	-0,06	0,63	0,04	0,48	-0,06	0,20	0,12	0,00
Superficie totale (km2)	0,35	-0,11	-0,20	0,07	0,07	-0,24	0,09	-0,08	-0,37	0,24	0,19	0,00	0,02	0,00
Surface_boisee_Sq_km	0,28	0,24	0,24	0,27	-0,11	-0,39	0,32	-0,11	0,06	-0,08	-0,62	-0,16	-0,20	0,00
Alt. max (BV)	0,23	-0,11	-0,55	-0,09	0,22	0,12	0,04	0,17	0,37	-0,02	-0,09	0,02	-0,62	0,00
Denivele max	0,31	0,06	-0,30	0,11	0,34	0,09	-0,25	-0,09	0,27	-0,10	-0,26	-0,16	0,65	0,00
l cd (m)	0,29	0,39	0,09	-0,16	-0,16	-0,06	0,18	-0,09	0,35	-0,18	0,59	-0,40	0,01	0,00
L val (m)	0,30	0,38	0,05	0,04	0,01	0,15	-0,45	-0,05	-0,36	-0,52	0,02	0,30	-0,21	0,00
RR_ (relief ratio) ø	-0,21	0,33	-0,45	0,21	-0,19	0,12	0,52	-0,18	0,00	-0,12	0,05	0,45	0,19	0,00
Pcd (ø)	-0,25	0,02	-0,29	-0,07	-0,13	-0,70	-0,17	0,45	0,02	-0,31	0,05	0,01	0,12	0,00
P cp (ø)	-0,27	0,35	-0,11	0,36	-0,01	-0,21	-0,47	-0,35	0,20	0,44	0,10	-0,01	-0,19	0,00
K(Gr)	-0,09	0,26	0,29	-0,02	0,79	-0,18	0,21	0,16	0,07	0,06	0,15	0,28	-0,01	0,00
M BV	-0,29	0,30	-0,20	0,19	0,19	0,26	0,11	0,26	-0,42	-0,03	-0,05	-0,61	-0,08	0,00
D (d)	-0,08	0,33	-0,15	-0,81	0,01	-0,08	-0,02	-0,24	-0,16	0,20	-0,28	-0,03	0,02	0,00

ACP 1

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

COORDONNEES, CONTRIBUTIONS ET COSINUS CARRES DES INDIVIDUS
AXES 1 A 5

INDIVIDUS			COORDONNEES					CONTRIBUTIONS					COSINUS CARRES				
IDENTIFICATEUR	P.REL	DISTO	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1Torrent Roche Noire	2.94	25.56	0.95	**-4.52**	1.70	0.41	0.37	0.5	**23.8**	4.8	0.4	0.4	0.04	**0.80**	0.11	0.01	0.01
2Torrent du Galibier	2.94	17.97	-1.09	-2.35	1.08	-1.87	1.95	0.6	6.4	1.9	8.7	10.6	0.07	0.31	0.06	0.20	0.21
3Torrent du Rif Blanc	2.94	10.94	0.28	-2.32	-1.62	0.39	-0.07	0.0	6.3	4.3	0.4	0.0	0.01	0.49	0.24	0.01	0.00
4Torrent des Vallois	2.94	7.83	-0.86	-0.96	-1.62	-0.05	-0.67	0.4	1.1	4.3	0.0	1.3	0.09	0.12	0.34	0.00	0.06
5Torrent de la Liche	2.94	33.23	-3.81	-1.10	-2.55	-1.23	-0.86	7.9	1.4	10.7	3.7	2.1	0.44	0.04	0.20	0.05	0.02
6Torrent de l'Etret	2.94	16.12	-2.95	0.28	1.18	-1.46	0.20	4.8	0.1	2.3	5.3	0.1	0.54	0.00	0.09	0.13	0.00
7Torrent du Haut Etret	2.94	11.61	**-2.72**	-0.42	-1.11	-0.49	-0.11	**4.1**	0.2	2.0	0.6	0.0	**0.64**	0.02	0.11	0.02	0.00
8Torrent du Rif	2.94	39.04	4.50	-3.74	-0.49	-0.81	0.62	11.1	16.3	0.4	1.6	1.1	0.52	0.36	0.01	0.02	0.01
9Torrent du Rif Lanterne	2.94	33.09	-4.17	0.81	-1.35	-1.84	2.79	9.5	0.8	3.0	8.4	21.6	0.53	0.02	0.06	0.10	0.23
10Torrent du Pervou	2.94	1.21	-0.62	-0.27	-0.05	0.09	-0.09	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.31	0.06	0.00	0.01	0.01
11Torrent des Chenaudes	2.94	10.40	**-2.83**	0.77	-0.43	0.24	0.13	**4.4**	0.7	0.3	0.1	0.1	**0.77**	0.06	0.02	0.01	0.00
12Torrent du Chardoussie	2.94	3.60	-1.34	-0.72	0.13	0.81	0.38	1.0	0.6	0.0	1.6	0.4	0.50	0.15	0.00	0.18	0.04
14Torrent La Pisse	2.94	6.78	-0.23	0.59	-0.37	**2.07**	-0.32	0.0	0.4	0.2	**10.6**	0.3	0.01	0.05	0.02	**0.63**	0.02
15Torrent du Saint-Josep	2.94	21.82	2.92	1.09	-1.62	-1.27	-1.37	4.7	1.4	4.3	4.0	5.2	0.39	0.05	0.12	0.07	0.09
17Torrent de Corvaria	2.94	12.07	1.45	1.49	-0.75	1.92	1.53	1.2	2.6	0.9	9.2	6.5	0.18	0.18	0.05	0.31	0.19
18Torrent de la Moulette	2.94	5.53	0.84	-1.33	-0.47	1.03	-0.08	0.4	2.1	0.4	2.6	0.0	0.13	0.32	0.04	0.19	0.00
19Torrent du Merdarel	2.94	6.90	0.31	-0.31	-1.78	0.81	-0.99	0.1	0.1	5.2	1.6	2.7	0.01	0.01	0.46	0.09	0.14
20Torrent de Chanteloube	2.94	5.63	1.28	1.45	-0.66	0.16	0.28	0.9	2.4	0.7	0.1	0.2	0.29	0.37	0.08	0.00	0.01
21Torrent de la Grande C	2.94	7.00	-1.71	0.97	0.54	0.23	-0.42	1.6	1.1	0.5	0.1	0.5	0.42	0.13	0.04	0.01	0.03
22Torrent du Gros Rif	2.94	2.93	0.37	-0.26	-0.89	0.88	-0.72	0.1	0.1	1.3	1.9	1.4	0.05	0.02	0.27	0.26	0.18
23Torrent de Roche Noire	2.94	6.64	-0.82	0.14	-1.37	1.82	-0.42	0.4	0.0	3.1	8.2	0.5	0.10	0.00	0.28	0.50	0.03
24Torrent du Bez	2.94	40.98	**5.81**	0.22	0.61	-2.08	-0.90	**18.5**	0.1	0.6	10.7	2.3	**0.82**	0.00	0.01	0.11	0.02
25Torrent de la Pisse	2.94	8.68	-1.67	0.19	1.45	-0.14	-1.35	1.5	0.0	3.5	0.1	5.0	0.32	0.00	0.24	0.00	0.21
26Torrent des Ecoutes	2.94	6.22	0.23	1.28	**1.85**	-0.09	-0.26	0.0	1.9	**5.7**	0.0	0.2	0.01	0.26	**0.55**	0.00	0.01
27Torrent de la Salle	2.94	12.30	**2.85**	-1.42	-0.49	0.36	0.58	**4.4**	2.4	0.4	0.3	0.9	**0.66**	0.16	0.02	0.01	0.03
28Torrent du Chirouze	2.94	6.72	0.09	0.28	1.77	1.43	0.97	0.0	0.1	5.2	5.1	2.6	0.00	0.01	0.47	0.30	0.14
29Torrent du Riou Blanc	2.94	16.06	-2.18	0.09	**3.31**	-0.06	0.22	2.6	0.0	**18.0**	0.0	0.1	0.30	0.00	**0.68**	0.00	0.00
30Torrent du Saint-Berna	2.94	12.52	2.47	1.90	1.45	-0.46	0.17	3.3	4.2	3.5	0.5	0.1	0.49	0.29	0.17	0.02	0.00
31Torrent du Peytavin	2.94	8.71	0.73	-0.36	**2.32**	0.38	-1.24	0.3	0.1	**8.8**	0.4	4.3	0.06	0.01	**0.62**	0.02	0.18
32Torrent_du_Verdarel	2.94	27.87	3.06	3.17	-0.89	0.24	2.69	5.1	11.7	1.3	0.1	20.2	0.34	0.36	0.03	0.00	0.26
33Torrent Carles	2.94	19.88	**-3.64**	0.16	1.11	1.02	-0.79	**7.3**	0.0	2.0	2.6	1.7	**0.67**	0.00	0.06	0.05	0.03
34Torrent de Sainte-Elis	2.94	9.38	1.78	2.17	0.15	-0.07	-0.42	1.7	5.5	0.0	0.0	0.5	0.34	0.50	0.00	0.00	0.02
35Torrent de R,guinier	2.94	6.16	1.46	0.98	0.26	-0.31	-0.25	1.2	1.1	0.1	0.2	0.2	0.35	0.16	0.01	0.02	0.01
36Torrent de l'Adoux	2.94	14.62	-0.74	2.07	-0.39	-2.07	-1.55	0.3	5.0	0.3	10.6	6.7	0.04	0.29	0.01	0.29	0.16

ACP 2 : tableau des contributions

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Statistiques sommaires des variables continues

Libellé de la variable	Effectif	Poids	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum
Superficie bassin versant (km2)	34	34,00	2,874	2,548	0,340	12,285
Superficie cones (km2)	34	34,00	0,304	0,254	0,000	1,175
Superficie totale (km2)	34	34,00	3,177	2,624	0,493	12,560
Surface_boisee_Sq_km	34	34,00	0,702	0,753	0,000	2,478
Alt. max (BV)	34	34,00	2749,320	214,479	2320,000	3228,000
Denivele max.	34	34,00	1251,380	164,786	821,000	1494,000
l cd (m)	34	34,00	655,177	309,899	15,000	1490,000
L val (m)	34	34,00	962,206	340,456	130,000	1570,000
RR_ (relief ratio) ø	34	34,00	17,505	4,854	10,397	28,100
Pcd (ø)	31	31,00	9,446	4,776	4,355	25,833
P cp (ø)	34	34,00	12,565	3,836	6,233	22,190
K(Gr)	34	34,00	1,476	0,186	1,102	1,910
M BV	34	34,00	0,814	0,259	0,362	1,304
D (d)	34	34,00	2,986	1,223	0,978	7,466

Matrice des corrélations

	Superficie bassin versant (km2)	Superficie cones (km2)	Superficie totale (km2)	Surface_boisee_Sq_km	Alt. max (BV)	Denivele max.	l cd (m)	L val (m)	RR_ (relief ratio) ø	Pcd (ø)	P cp (ø)	K(Gr)	M BV	D (d)
Superficie bassin versant (km2)	1,00													
Superficie cones (km2)	0,25	1,00												
Superficie totale (km2)	**1,00**	0,34	1,00											
Surface_boisee_Sq_km	0,27	**0,57**	0,32	1,00										
Alt. max (BV)	0,31	-0,04	0,29	-0,51	1,00									
Denivele max.	0,44	0,27	0,45	0,04	**0,61**	1,00								
l cd (m)	0,33	**0,76**	0,39	**0,65**	-0,04	0,32	1,00							
L val (m)	0,18	**0,73**	0,24	0,51	-0,17	0,39	**0,74**	1,00						
RR_ (relief ratio) ø	**-0,60**	-0,20	**-0,60**	-0,34	0,10	-0,21	-0,22	-0,23	1,00					
Pcd (ø)	-0,32	-0,44	-0,36	-0,33	0,01	-0,43	-0,40	-0,51	0,47	1,00				
P cp (ø)	**-0,58**	-0,24	**-0,58**	-0,10	-0,26	-0,19	-0,24	-0,11	**0,66**	0,51	1,00			
K(Gr)	-0,40	-0,19	-0,41	0,07	-0,34	-0,04	-0,03	0,01	-0,10	0,00	0,23	1,00		
M BV	**-0,78**	-0,32	**-0,79**	-0,46	-0,10	-0,25	-0,42	-0,23	**0,74**	0,39	**0,68**	0,31	1,00	
D (d)	-0,13	0,05	-0,12	-0,21	0,18	-0,04	0,26	0,12	0,23	0,25	0,04	0,13	0,15	1,00

Matrice des valeurs-tests

	Superficie bassin versant (km2)	Superficie cones (km2)	Superficie totale (km2)	Surface_boisee_Sq_km	Alt. max (BV)	Denivele max.	l cd (m)	L val (m)	RR_ (relief ratio) ø	Pcd (ø)	P cp (ø)	K(Gr)	M BV	D (d)
Superficie bassin versant (km2)	99,99													
Superficie cones (km2)	1,49	99,99												
Superficie totale (km2)	17,83	2,07	99,99											
Surface_boisee_Sq_km	1,63	3,76	1,94	99,99										
Alt. max (BV)	1,84	-0,24	1,76	-3,26	99,99									
Denivele max.	2,73	1,63	2,83	0,21	4,10	99,99								
l cd (m)	1,98	5,80	2,41	4,52	-0,25	1,95	99,99							
L val (m)	1,05	5,41	1,45	3,28	-1,03	2,42	5,52	99,99						
RR_ (relief ratio) ø	-4,04	-1,21	-4,06	-2,08	0,61	-1,26	-1,31	-1,39	99,99					
Pcd (ø)	-1,86	-2,66	-2,07	-1,93	0,08	-2,53	-2,38	-3,15	2,87	99,99				
P cp (ø)	-3,83	-1,41	-3,89	-0,60	-1,56	-1,12	-1,43	-0,67	4,66	3,15	99,99			
K(Gr)	-2,47	-1,11	-2,51	0,41	-2,09	-0,24	-0,20	0,08	-0,56	-0,02	1,38	99,99		
M BV	-6,10	-1,91	-6,23	-2,92	-0,59	-1,51	-2,61	-1,39	5,60	2,31	4,81	1,90	99,99	
D (d)	-0,74	0,29	-0,69	-1,27	1,06	-0,24	1,56	0,71	1,35	1,41	0,24	0,79	0,90	99,99

Intervalles laplaciens d'Anderson (seuil: 0.95)

Numéro	Borne inférieure	Valeur propre	Borne supérieure
1	2,7834	5,3788	7,9742
2	1,3079	2,5275	3,7470
3	0,9250	1,7876	2,6501
4	0,6140	1,1865	1,7591
5	0,5466	1,0564	1,5661

ACP 2

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Annexe 10 : Grandes caractéristiques des réseaux hydrographiques torrentiels guisanais (ordination de Stralher)

ID Torrents	Toponymie	*N Rang 1*	*N Rang 2*	*N Rang 3*	*N Rang 4*
1	*Torrent Roche Noire*	14	3	1	0
2	*Torrent du Galibier*	20	5	2	0
3	*Torrent du Rif Blanc*	16	4	5	2
4	*Torrent des Vallois*	10	6	2	2
5	*Torrent de la Liche*	2	2	0	0
6	*Torrent de l'Etret*	2	1	0	0
7	*Torrent du Haut Etret*	4	2	1	0
8	*Torrent du Rif*	64	15	2	1
9	*Torrent du Rif Lanterne*	14	5	1	0
10	*Torrent du Pervou*	19	5	1	0
11	*Torrent des Chenaudes*	8	2	0	0
12	*Torrent du Chardoussier*	18	4	1	0
13	*Torrent du Petit Tabuc*	38	9	2	0
14	*Torrent La Pisse*	17	4	1	0
15	*Torrent du Saint-Joseph*	22	4	2	0
16	*Torrent du Grand Tabuc*	62	18	4	1
17	*Torrent de Corvaria*	28	6	2	1
18	*Torrent de la Moulette*	21	3	0	0
19	*Torrent du Merdarel*	30	6	2	1
20	*Torrent de Chanteloube*	14	4	1	0
21	*Torrent de la Gde Chalance*	2	1	0	0
22	*Torrent du Gros Rif*	18	4	3	0
23	*Torrent de Roche Noire*	5	2	1	0
24	*Torrent du Bez*	19	7	3	0
25	*Torrent de la Pisse*	1	0	0	0
26	*Torrent des Ecoutes*	1	0	0	0
27	*Torrent de la Salle*	20	6	2	0
28	*Torrent du Chirouze*	7	2	2	0
29	*Torrent du Riou Blanc*	1	0	0	0
30	*Torrent du Saint-Bernard*	5	2	2	0
31	*Torrent du Peytavin*	1	0	0	0
32	*Torrent_du_Verdarel*	28	8	2	1
33	*Torrent Carles*	1	0	0	0
34	*Torrent de Sainte-Elisabeth*	8	2	2	0
35	*Torrent de Réguinier*	12	4	2	0
36	*Torrent de l'Adoux*	13	2	1	0
	TOTAL	**565**	**146**	**50**	**9**
	W	**15,7**	**4,2**	**1,4**	***0,3***

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr

Thèse de Lucas Thénard, Lille 1, 2009

© 2011 Tous droits réservés.

http://doc.univ-lille1.fr