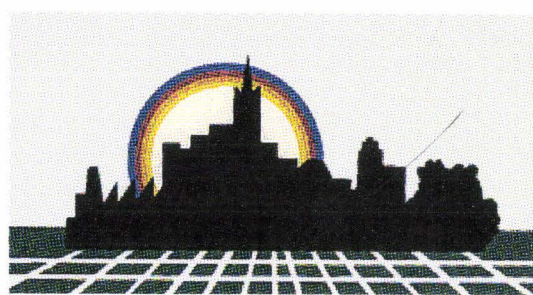




Centre de Biogéographie-Ecologie
UMR 180 CNRS
ENS Fontenay-Saint-Cloud



Université des Sciences et Technologies de Lille
UFR de Géographie

RUISSELLEMENT, EROSION ET QUALITE DES EAUX EN TERRE DE GRANDE CULTURE

* * *

Etude comparée de deux bassins versants du Laonnois et du Soissonnais (02)

* * *

Alexandra ANGELIAUME

Thèse de Doctorat de l'Université de Lille

Spécialité : Géographie

Préparée sous la direction de Mademoiselle le Professeur Monique DACHARRY

et sous la tutelle de Monsieur Stanislas WICHEREK

Soutenue le 18 décembre 1996 devant le jury composé de :

Melle M. DACHARRY, Professeur Lille I, Présidente

M. S. WICHEREK, Directeur du Centre de Biogéographie-Ecologie UMR 180 CNRS - ENS de St-Cloud, Rapporteur

M. M. ROBERT, Directeur de recherche INRA Versailles, Rapporteur externe

M. J. P. PEULVAST, Professeur Paris IV, Rapporteur externe

M. J. MAUCORPS, Chercheur INRA Orléans, Invité

M. J. M. DORIOZ, Chercheur INRA Thonon-Les-Bains, Invité

AVANT-PROPOS

* * *

AVANT-PROPOS

* * *

Au terme de ces quatre années de travail, je souhaite remercier les personnes qui m'ont permis de mener à bien ces recherches.

Cette étude a été menée dans le cadre du projet de recherche "Les sols et les eaux, des ressources en voie de dégradation" du Centre de Biogéographie-Ecologie de L'ENS de Fontenay-Saint-Cloud, sous la tutelle de M. Stanislas Wicherek, Directeur du Centre de Biogéographie-Ecologie. Elle a été dirigée par Melle Monique Dacharry, Professeur à l'Université des Sciences et Technologies de Lille. Il est donc tout naturel que mes premiers remerciements s'adressent à Melle Monique Dacharry, qui a accepté d'encadrer cette thèse et m'a accordé un soutien régulier, et à M. Stanislas Wicherek, qui m'a accueillie au sein de son laboratoire et m'a assuré un soutien scientifique, logistique et matériel.

En remerciant M. Wicherek, c'est aussi le CNRS que je remercie, pour avoir financé mes recherches, et, surtout, le Centre de Biogéographie-Ecologie de l'ENS de Fontenay - Saint-Cloud. Ce laboratoire de recherche m'a accueilli tout le long de la préparation de la thèse. Il m'a fourni l'appui matériel indispensable au bon déroulement de mes travaux et m'a fait découvrir l'importance du travail en équipe. Une gratitude particulière s'adresse donc à Gilbert Chêne, qui a conçu et réalisé les stations et assuré le traitement informatique des données. Je remercie aussi vivement Fabrice Grégoire, pour les relevés des stations et ses rapides déplacements sur le terrain. Une petite pensée va aussi à Adrien Cocuelle et Jean-François Orembrant qui ont assuré la mise en place et l'entretien des sites d'expérimentations. Je n'oublie pas Marie Odile Boissier et Michèle Mekharchi, pour leur soutien technique et logistique de chaque instant et leur chaleureux appui de tous les jours. Enfin, je remercie tout particulièrement Antoine Da Lage, pour ses nombreux conseils et ses relectures, ainsi que Bertrand Sajaloli, Paul Arnould, Laurent Simon, Micheline Hotyat, Vincent Godard, Anne Tessier-Ensminger, Bertrand Julien-Laferrrière, Michel Joly, Michel Dumont, Jérôme Bossard, Micheline Le berre, Amar Marri, Eric Meyer, Lionel Mabit et tous les autres membres du laboratoire, pour leurs encouragements.

Mes remerciements se tournent aussi vers les maires et les agriculteurs pour leur accueil et leur apport permanent d'informations sur l'histoire de leur commune et le travail de leurs sols. Sans eux, ce travail aurait été bien incomplet. Ma thèse doit donc beaucoup à :

M. Jean-Claude Hermand, agriculteur et ancien maire de Vierzy, pour m'avoir facilité l'accès à des équipements et à des terres de la commune,
M. Laplace, adjoint au maire, qui m'a gentiment donné un accès permanent à sa cave pour y puiser un peu d'eau de source,
M. Hubert Moquet, agriculteur, qui m'a régulièrement consacré beaucoup de son temps et transmis un peu de sa passion pour cette terre,
M. Hervé Muzart, responsable de la formation permanente des agriculteurs à la Chambre d'Agriculture de Laon, agriculteur et maire de Vierzy, pour m'avoir fréquemment reçue, pour ses projets de lutte contre l'érosion,
M. Charles Rogier, contremaître à l'exploitation de M. Hervé Muzart, pour m'avoir tenu informée de toutes les nouveautés du monde agricole, et surtout pour avoir sorti d'une ornière boueuse ma voiture de terrain,
M. Jean-Charles Doncoeur, agriculteur et maire de Parcy-et-Tigny qui a consacré de longues heures à me parler du passé agricole de la région,

M. Hubert de Bussy et M. Gérard Moquet, agriculteurs à Vierzy, pour avoir régulièrement répondu à mes questions.

M. Pierre Legros, maire d'Erlon, décédé en 1994, pour le vif intérêt qu'il a porté aux problèmes d'érosion des sols et à nos expérimentations,

M. François Legros, actuel maire d'Erlon, pour avoir prolongé les activités de lutte anti-érosive entreprises par M. Pierre Legros,

MM. Gérard et Christophe Legros, agriculteurs à Erlon, pour leur apport permanent d'informations,
MM. Chartier, Demazure et Jacquère, agriculteurs à Erlon, pour leur souci marqué vis à vis de l'érosion.

Je remercie également :

MM. Dorioz et Blanc, respectivement chercheur et responsable du laboratoire d'analyse, de l'INRA de Thonon-les-Bains (Station de Limnologie Lacustre, spécialisée dans les analyses d'eau et de sédiments, et le transfert du phosphore), pour leur accueil et leur collaboration à la convention portant sur les analyses d'eau et l'interprétation des résultats,

M. Delouée, Responsable du Service Agriculture, de l'Agence de l'Eau Seine-Normandie, pour sa contribution à ce projet et le financement des analyses de produits phytosanitaires,

M. Bruchet, Directeur du laboratoire d'analyse du CIRSEE, Centre International de Recherche sur l'Eau et l'Environnement (Laboratoire de la Lyonnaise des Eaux au Pecq) pour les prix compétitifs accordés pour l'analyse des produits phytosanitaires,

M. Claude Bernard, Service des Sols du MAPAQ, Ministère de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Alimentation du Québec et M. Marc Laverdière, Université Laval, pour leur contribution à l'étude de l'érosion des sols à l'aide du Cs-137 et leur chaleureux accueil au Québec,

M. Maucorps, Service d'Etude des sols de l'INRA et M. Solau, Service conseil agronomique de la Chambre d'Agriculture de Laon, pour avoir partagé un peu de leur connaissance du terrain.

Je remercie encore :

MM. Marlet, Sarrazin, Ludwig, Le Bissonnais, Benkhadra de l'INRA de Laon et d'Orléans, pour la réalisation des cartes pédologiques des bassins versants, pour leurs conseils et pour m'avoir fait profiter de leur expérience de terrain,

M. Druon et Melle Cattalorda, de la Communauté de communes des Pays de Serre anciennement Syndicat des Pays de Serre, pour l'intérêt porté à nos travaux et leur rôle dans la transmission des informations aux agriculteurs,

MM. Damay, Carlotti, Quizy, du Service Conseil Agronomique de la Chambre d'Agriculture de Laon, pour leurs conseils et leur collaboration.

M. Karg, du Centre de Recherche sur l'Environnement Agricole et Forestier de Turew en Pologne, pour m'avoir tenu informée des résultats d'inventaire d'insectes sur le Plateau soissonnais.

Mme Tran et M. Giroud du MAPAQ, pour leurs discussions constructives à propos des matières organiques et du phosphore.

M. Burtin, du Service des sols du CNRS de Nancy, pour ses informations sur les transferts d'atrazine.

M. Bravard, Professeur à l'Université de Paris IV, pour ses renseignements sur les transferts solides et solubles.

Enfin, je remercie les personnes des organismes suivants pour les informations apportées ou le grand nombre de documents fournis, pour leurs réponses à mes questionnaires, pour les visites de leurs sites d'expérimentations, etc.

DDA de Laon :

- Service Calamités Agricoles, M. Rode,
- Service Equipement, M Chagnard,
- Service Remembrement, Mme Rousseau,
- Service Statistiques, MM. Bajien et Maufrois,
- Service Hydraulique, M. Vangueluwen.

Chambre d'Agriculture de Laon :

- Service Technique et Développement, M. François,
- Service Juridique, M. Bertin,
- Service Formation Permanente, M. Lefèvre.

DRA d'Amiens :

- Service Déchets Agricoles, Melle C. Dehaine.

Chambres d'Agriculture :

- de la Somme, M. Luce,
- des Ardennes, M. Decourcelle,
- de l'Eure, M. Parou.

DIREN (SREMA) :

- Melle Bazerque.

Station Agronomique de Laon :

- M. Marcovecchio, responsable du laboratoire des matières fertilisantes.

Service de la Navigation de Compiègne.

Météo France à Saint-Quentin :

- M. Laverdrine.

Sucrierie de Vauciennes :

- M. Jaquinet, responsable environnement et M. Brot, directeur industriel.

CETAS, Centres d'Etudes Techniques Agricoles,

- M. De Vriendt, Président de la Fédération Départementale des CETAS.

Coopératives agricoles :

- Rochette-Vénizel, M. le Querrec, responsable contrôle-qualité-environnement,
- GRAINOR, M. Dubreucq,
- Elan,
- Coopérative agricole du Soissonnais.

ITCF, Institut Technique des Céréales et des Fourrages :

- M. Laurent.

Ministère de l'Environnement :

- M. Lilin, Service Erosion des Sols,
- M. Laurent, Mission Eau-Nitrate.

Ministère de l'Agriculture :

MM. Baillon et Dabène, Service Hydraulique.

CEMAGREF :

- M. Grill à Lyon,

Une très chaleureuse reconnaissance va à ma famille qui a couvé avec moi ce long travail.

Enfin, mes derniers remerciements s'adressent aux membres du jury qui ont bien voulu répondre à l'appel de Melle Dacharry et M. Wicherek et devant qui je présente ce travail.

SOMMAIRE

II - RELIEFS VARIÉS ET PAYSAGES AGRAIRES DIFFÉRENTS : UNE INÉGALITÉ DES RISQUES ? 102

II - 1 - Un contraste physique	102
II - 1 - 1 - Des plateaux calcaires à la plaine de la craie	102
II - 1 - 2 - La variété des régions naturelles	121
II - 2 - Des paysages agraires variés	124
II - 2 - 1 - Des différences régionales marquées	124
II - 2 - 2 - L'omniprésence de la grande culture dans le Laonnois et le Soissonnais	131
II - 3 - La variété des pratiques culturelles	144
II - 3 - 1 - L'héritage agricole	144
II - 3 - 2 - La variété des assolements	148
II - 3 - 3 - La fertilisation, la fumure de fond et les traitements phytosanitaires, à chacun sa recette	151
II - 3 - 4 - Agriculteurs traditionnalistes ou innovateurs ?	158
II - 4 - Egalité des risques vis à vis de l'érosion ?	159
II - 4 - 1 - Des pentes et des sols contrastés	159
II - 4 - 2 - Une grande culture aux structures comparables	160
II - 4 - 3 - La grande stabilité du plateau et une évolution plus tardive des collines et des vallées	160
II - 5 - Conclusion	160

DEUXIEME PARTIE : BASSINS VERSANTS ET RUISSELLEMENTS **162**

Deux sites d'étude : présentation, conditions de formation

et formes des écoulements

I - SITES ET PROGRAMME D'ÉTUDE	163
I - 1 - Choix et présentation des sites	163
I - 1 - 1 - Choix des sites	163
I - 1 - 2 - Présentation des sites	172
I - 2 - L'échelle du bassin versant élémentaire	198
I - 2 - 1 - Définition	198
I - 2 - 2 - Intérêts	198
I - 2 - 3 - Identification d'un bassin versant élémentaire	199
I - 3 - Suivi et équipement à l'exutoire des BVEC	200
I - 3 - 1 - Un suivi global	200
I - 3 - 2 - Les mesures de débits	202
I - 3 - 3 - L'échantillonnage des eaux de ruissellement	206
I - 4 - Méthodologie de sélection des substances en vue du suivi analytique à l'échelle du bassin versant	210
I - 4 - 1 - L'enquête auprès des exploitations agricoles	210
I - 4 - 2 - Les matières fertilisantes	210
I - 4 - 3 - Le cas plus délicat des produits phytosanitaires	215

I - 5 - Suivi des parcelles	216
I - 5 - 1 - Occupation du sol	217
I - 5 - 2 - Etats de surface des parcelles : rugosité et battance	217
I - 5 - 3 - Végétation : stade de développement et taux de couverture	218
I - 5 - 4 - Traces de roue et d'érosion	219
I - 5 - 5 - Combinaison des facteurs	219
II - TROIS ANNÉES DE MESURE : DU RUISSELLEMENT, QUAND, COMMENT, POURQUOI ?	222
II - 1 - Fréquence des ruissellements et facteurs déclenchants	222
II - 1 - 1 - Des ruissellements plus fréquents à Erlon qu'à Vierzy	222
II - 1 - 2 - Des seuils de pluie nécessaires au déclenchement du ruissellement	232
II - 1 - 3 - Une différence qui peut aussi s'expliquer par les superficies et les pentes des BVEC	254
II - 2 - Amplitude et forme des ruissellements	260
II - 2 - 1 - Ordre de grandeur varié des ruissellements et des coefficients de ruissellement	264
II - 2 - 2 - Formes du ruissellement : les hydrogrammes	277
II - 3 - Conclusion	304
<u>TROISIEME PARTIE : EROSION ET DÉGRADATION</u>	
<u>DES SOLS ET DES EAUX DE SURFACE</u>	
	308
<u>Modalité de transferts et exportations de matériaux solides</u>	
<u>et solubles sur les bassins versants et propositions de gestion</u>	
I - LE RUISSELLEMENT ET L'ÉROSION, DES PERTES SOLIDES VARIABLES	310
I - 1 - MES dans les eaux de ruissellement	310
I - 1 - 1 - Ordre de grandeur des concentrations en MES	310
I - 1 - 2 - "Crue liquide" ou "crue boueuse" : vers une typologie basée sur la charge en MES	312
I - 2 - Variations temporelles des concentrations en MES : les turbidigrammes	315
I - 2 - 1 - Comportement de la charge en MES	315
I - 2 - 2 - Relation avec les débits et l'intensité des pluies	324
I - 3 - Origine des MES : versants ou talwegs	335
I - 3 - 1 - Description du système érosif d'Erlon et de Vierzy	335
I - 3 - 2 - Comparaison des flux et du volume des rigoles	338
I - 3 - 3 - Déplacements sur les versants : des quantités considérables	342
I - 3 - 4 - Surfaces d'alimentation en eau et surfaces d'érosion	348
I - 4 - Sorties du bassin : les flux solides annuels	358
I - 4 - 1 - Un bilan sur trois ans	358
I - 4 - 2 - Nature des MES : des pertes en matières organiques et en éléments très fins	359

I - 5 - Conclusion	364
II - LE RUISSELLEMENT ET L'ÉROSION, UNE MENACE POUR LA QUALITÉ DES EAUX DE SURFACE	368
II - 1 - Nature et concentrations des polluants dans les eaux de ruissellement	368
II - 1 - 1 - Nature des polluants recherchés, rappels	368
II - 1 - 2 - Apports négligeables en N et P des eaux de pluie	369
II - 1 - 3 - Ordre de grandeur des concentrations	371
II - 1 - 4 - Les produits phytosanitaires	377
II - 2 - Variations temporelles des concentrations en polluants : les chimiogrammes	384
II - 2 - 1 - Les ruissellements courts : des évolutions simples	384
II - 2 - 2 - Un ruissellement complexe : les 06-07 août 1995 à Erlon	389
II - 3 - Flux à l'exutoire et conséquences	396
II - 3 - 1 - Les sorties : des pertes spécifiques faibles	396
II - 3 - 2 - Entrées agricoles et sorties par ruissellement/érosion : une faible proportion	397
II - 4 - Pertes solubles par percolation	398
II - 4 - 1 - Perte d'azote par lessivage : exemple de l'hiver 1993	398
II - 4 - 2 - Les écoulements subsuperficiels	408
II - 6 - Conclusion	413
III - QUELLES MESURES POUR UNE AGRICULTURE DURABLE?	418
III - 1 - Les moyens disponibles pour limiter le ruissellement et l'érosion sur les BVEC : aménagements et pratiques plus favorables	418
III - 1 - 1 - Trois situations à gérer : les coulées de boue, les coulées liquides et l'érosion chronique	418
III - 1 - 2 - Des aménagements : nature, localisation et financement	428
III - 2 - Utilisation des résultats de terrain pour l'évaluation et la gestion des risques d'érosion et de dégradation des eaux sur des BVEC de la région	436
CONCLUSION	444
BIBLIOGRAPHIE	452
TABLES	480

INTRODUCTION

* * *

INTRODUCTION

* * *

1 - Erosion des sols cultivés et pollution diffuse

Le ruissellement et l'érosion observés sur les terres cultivées du nord du Bassin Parisien sont souvent dénoncés comme causes de dégradation des eaux de surface et de perte de sols fertiles. Ce double fait constitue un problème d'envergure dans cet espace où la production agricole est une des plus importantes de France et où la préservation et la restauration de la qualité des cours d'eau sont, comme dans le reste du pays, des questions d'actualité.

Le ruissellement entraîne des éléments considérés comme fertilisants (limons, matières organiques, azote, phosphore, etc.) ou traitants (produits phytosanitaires) dans le champ, mais qui deviennent des éléments polluants à leur arrivée dans le cours d'eau (fig. a). Cette pollution provenant des surfaces agricoles porte le nom de pollution diffuse d'origine agricole, "diffuse" en relation avec les espaces étendus dont elle provient. De nombreux problèmes sont à résoudre concernant la nature des "polluants", les quantités véhiculées, les facteurs déclenchant le ruissellement et l'érosion ou bien encore les modes de transfert. En particulier, on cherche à savoir s'ils ruissellent en surface sous forme dissoute dans l'eau ou fixée sur particules de sol ; s'ils s'écoulent en subsurface sur un horizon induré du sol comme la semelle de labour ou s'ils percolent directement vers les nappes phréatiques.

Les conséquences environnementales de ces départs au champ sont multiples. L'érosion est, à terme, préoccupante pour les agriculteurs en raison de la perte de sol fertile qu'elle entraîne. Cependant ces derniers sont encore peu sensibles aux appauvrissements subis par leurs terres. Beaucoup plus sensibilisés par les inondations boueuses résultantes, les particuliers, les collectivités et les acteurs sociaux attendent expressément des explications et des propositions pour remédier à ces dommages. Attendent aussi des remèdes, les organismes s'intéressant à la qualité des cours d'eau. La pollution diffuse d'origine agricole, responsable, entre autres, des situations d'eutrophisation ou de perturbation de la vie piscicole, constitue une nuisance contre laquelle il serait possible de lutter. Le travail du géographe, à l'interface de nombreuses disciplines comme la pédologie, l'agronomie, l'histoire, l'hydrologie, etc. s'insère ici pour intégrer les nombreuses informations historiques (évolution du parcellaire, des pratiques agraires), les données de terrains, les enquêtes auprès des agriculteurs, etc. De multiples nuances sont à mettre en évidence. D'une part, dans le temps puisque les "situations érosives" sont très différentes en hiver, où dominent les longues pluies, et au printemps, lors d'orages. D'autre part, elles varient dans l'espace en fonction de nombreux facteurs, comme notamment les conditions morphopédologiques. Il s'avère nécessaire de cerner et de quantifier tous ces paramètres. Actuellement des hypothèses, ébauchées dans quelques études éparses, demandent à être complétées.

2 - Le bassin versant élémentaire : une échelle de travail fonctionnelle et représentative

Le cadre du bassin versant, unité de base du fonctionnement hydrologique, permet d'étudier le ruissellement dans sa continuité, le long des versants et des talwegs. Mais cette échelle permet aussi de prendre en considération les effets des structures agraires, comme le parcellaire (taille, forme, répartition dans l'espace), échelle de gestion agricole, ou comme les haies, les fossés, les talus, les mares tampons, les chemins et les routes.

L'étude de deux Bassins Versants Elémentaires Cultivés (BVEC), l'un en région de plateaux - Vierzy (*) - , l'autre en région de collines - Erlon (**) - (fig. b), a pour objectifs d'évaluer les risques réels de pollution diffuse (fig. a) engendrés par les activités agricoles dites de culture intensive sur sols limoneux. On souhaite mettre en évidence la différence de comportement, vis à vis du ruissellement et de l'érosion, de régions aux caractéristiques morphopédologiques et culturelles différentes.

Les sites sélectionnés présentent des caractéristiques de pentes, de sols, d'occupation et de travail du sol bien définis. L'échelle du BVEC semble la plus apte à intégrer et à combiner tous ces paramètres. Elle permet ainsi de différencier les sites dans l'objectif d'aider à établir une typologie des BVEC soumis à une détérioration des sols et des eaux.

3 - Agriculteurs : pollueurs ou gestionnaires de l'espace

L'échelle du bassin versant élémentaire permet de mettre en évidence les rôles et l'importance respectifs des paramètres décisifs et immuables que sont la pente, la nature du sol, mais aussi les agents liées à l'activité humaine : structures agraires et pratiques agricoles (ou pratiques agraires). Les pratiques agricoles regroupent le choix des assolements (et donc du couvert végétal), du calendrier cultural, de la nature et du nombre de passages des machines agricoles, des amendements, des fertilisants et des traitements phytosanitaires.

Le facteur humain peut par son action favoriser ou limiter le ruissellement et l'érosion, ainsi que les pertes de fertilisants et de produits phytosanitaires. Son influence vers un effet positif ou négatif dépend d'éléments historiques, économiques ou conjoncturels qui doivent être pris en compte.

Un suivi des paramètres physiques et anthropiques par l'intermédiaire d'un SIG, Système d'Information Géographique, est donc utilisé pour l'évaluation, la prévention et la gestion des risques. On espère ainsi dégager les principaux facteurs de risques liés aux pratiques agricoles qui sont modulables.

(*) Vierzy se situe sur le Plateau soissonnais, à environ 10 km au sud de Soissons.

(**) Localisée à une vingtaine de kilomètres au nord de Laon, le site d'Erlon se situe dans la petite région naturelle du Saint-Quentinois-Marlois, zone de transition entre la Thiérache et le Laonnois. Cette petite entité étant peu connue, on y fera référence sous le terme de Laonnois, géographiquement plus évocateur en raison de la renommée de Laon. Dans le texte, Laonnois fait donc référence à la proximité de Laon et non à la petite région naturelle limitée à la plaine de Laon.

4 - Objectifs

Dans une première partie, deux aspects sont mis en valeur.

1 - Les caractéristiques agricoles des régions étudiées - afin de comprendre pourquoi les agriculteurs font ce qu'ils font - et la situation de l'érosion de ces sols cultivés.

D'une part, l'agriculture locale est orientée vers des productions à haut rendement et à large potentiel commercialisable, essentiellement agro-alimentaire. D'autre part, elle s'étend sur de grands espaces, avec d'importants systèmes de culture, de vastes parcelles et d'immenses exploitations. Cette agriculture dite intensive, hautement productive et spécialisée, dispose d'importants moyens. Pourtant, les sols cultivés posent des problèmes environnementaux. Victimes d'érosion hydrique, ils entraînent une pollution diffuse des eaux de surface. Un bilan des données existantes et des enquêtes permettent de faire le point sur la situation actuelle dans le nord du Bassin Parisien.

2 - Les contrastes naturels existant entre le plateau, la plaine et les collines et leurs conséquences sur l'exploitation agricole des sols et les risques érosifs.

Les différences géologiques, morphopédologiques mais aussi culturelles permettent d'établir une classification des terres en petites régions agricoles aux potentiels cultureux et érosifs différents. Ce chapitre détaille l'orientation ancienne de ces terres vers la grande culture et ses conséquences. Il s'intéresse aussi aux effets très contrastés du remembrement.

La plaine et les fonds de vallée non concernés par les problèmes d'érosion, en raison de l'absence de pente notable sont écartés de l'étude. De même, les régions agricoles à dominante herbagère, moins sensibles aux problèmes d'érosion, ne sont pas prises en considération.

Dans une seconde partie, les deux sites, ainsi que l'équipement dont ils font l'objet, sont présentés. Puis les différences de leur fonctionnement hydrologique sont soulignées.

1 - Les espaces d'étude.

Les BVEC, choisis en région de plateau et de collines, se différencient par leurs sols, leurs pentes et leurs caractéristiques agraires, mais ils souffrent de problèmes communs liés à l'érosion des sols cultivés et à des coulées boueuses. Un ensemble de pluviographes et de stations automatiques permet de quantifier les écoulements aux exutoires et les pluies qui en sont l'origine. Les stations automatiques qui assurent à la fois les mesures et les prélèvements forment un tout. Elles sont donc présentées globalement dans ce chapitre, bien que les résultats des prélèvements ne soient traités que dans la troisième partie.

2 - Les conditions de déclenchement et les formes des ruissellements.

Les sites présentent des talwegs secs. Caractérisés par un bon drainage naturel, ils sont pourtant le siège de ruissellements plus ou moins fréquents qui répondent à des conditions distinctes et spécifiques de déclenchement. Les débits peuvent prendre des formes variées. Ces différences de comportement sont mises en relation avec la morphologie, la pédologie et les caractéristiques agraires des BVEC.

Dans une troisième partie, les aspects quantitatifs et qualitatifs des pertes entraînées par les ruissellements sont abordés.

1 - Les transferts solides.

Plusieurs points sont traités : l'ordre de grandeur des concentrations dans les eaux de ruissellement, l'évolution de ces concentrations, la comparaison des exportations et des déplacements de sol sur les bassins à l'aide de l'outil Cs-137 ; les localisations des dépôts et les intensités des traces d'érosions observées en relation avec les caractéristiques morphopédologiques et agraires ; le bilan des sorties en MES (matières en suspension) et MO (matières organiques).

2 - Les transferts en azote, phosphore et en produits phytosanitaires.

Comme pour les MES, les questions de concentrations, d'évolution des teneurs dans le temps et l'origine des polluants sont évoqués. Les flux et les concentrations sont extrêmement variables en fonction de multiples paramètres, comme la charge en phosphore fortement en relation avec celle en MES. En particulier, les situations d'orages - à fortes concentrations - se démarquent de celles de crues - à flux notables.

3 - Des propositions d'utilisation des résultats.

La troisième partie présente aussi des propositions d'utilisation des résultats. D'une part sur le plan méthodologique, les principaux paramètres à prendre en compte à l'échelle du BVEC dans l'objectif d'une typologie régionale sont dégagés. Quelques défauts de la démarche adoptés sont mis en avant. D'autre part sur le plan pratique, certains types d'aménagements et leur localisation préférentielle, ainsi que quelques pratiques culturales observées favorables ou défavorables à la conservation des sols, sont avancés. Cette partie comporte aussi une brève présentation des conditions d'application et des mesures incitatives existantes et envisageables. L'objectif de ce travail étant de contribuer, modestement, à la gestion des espaces ruraux dans le cadre du développement d'une agriculture durable.

Dans cette étude, l'objectivité est le point de départ de toutes les analyses et interprétations afin de déterminer le plus justement le poids de chaque paramètre. En particulier en ce qui concerne le facteur humain, les héritages et les pratiques actuelles sont étudiés.

Nota bene : Pour des commodités de lecture et de rédaction, plusieurs abréviations sont adoptées au fur et à mesure de la progression du texte, en particulier BVEC, pour Bassin Versant Élémentaire Cultivé, mais aussi MES pour Matières En Suspension, MO pour Matières Organiques, N pour azote, P pour phosphore, etc. Ces abréviations sont répertoriées en fin de texte, page 469.

Figure a : Les pollutions diffuses d'origines agricoles : schéma récapitulatif

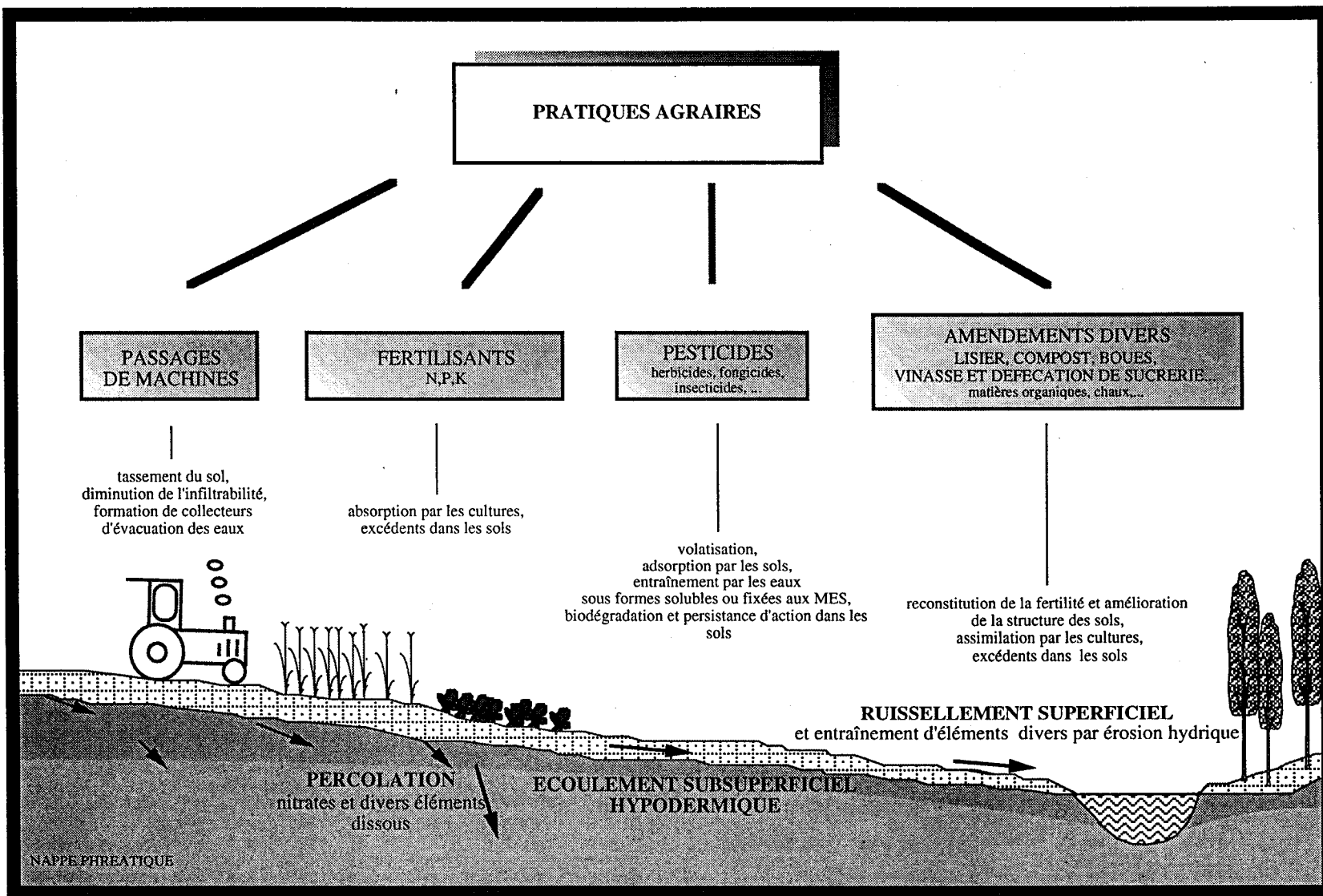
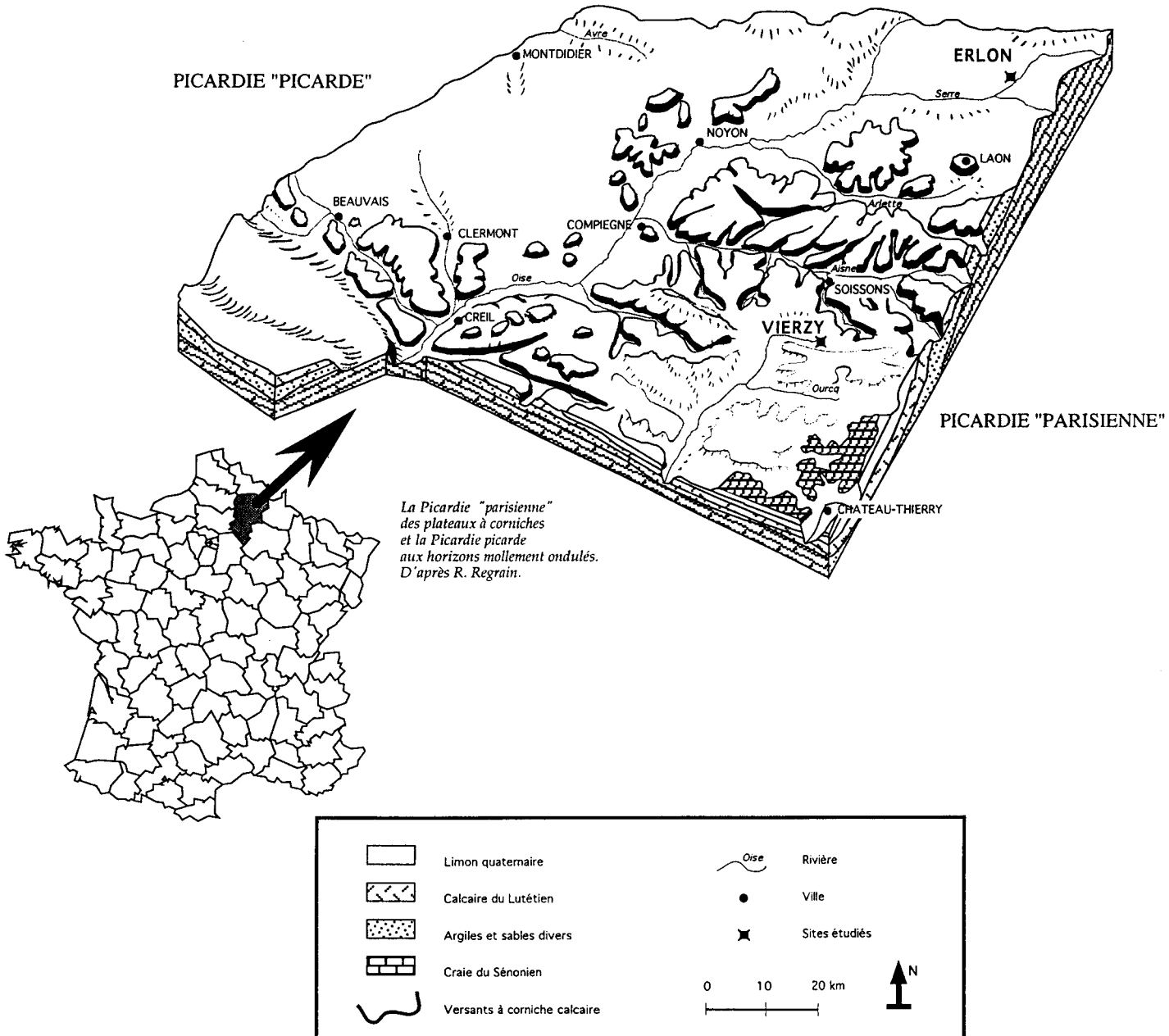


Figure b : Localisation d'ensemble et localisation géomorphologique : le nord du Bassin Parisien, les plateaux calcaires, la plaine et les collines de la craie



PREMIERE PARTIE

THÈME ET ESPACE D'ÉTUDE

Activités agricoles, diversités des paysages et risques d'érosion
dans le nord du Bassin Parisien

Thème et espace d'étude :

Activités agricoles, diversités des paysages et risques d'érosion

dans le nord du Bassin Parisien

Introduction

"Une contrée est un réservoir où dorment les énergies dont la nature a déposé les germes, mais dont l'emploi dépend de l'homme"

*Vidal de la Blache
d'après "l'identité de la France" de Fernand Braudel*

Le potentiel naturel de la Picardie est varié et riche : des sols limoneux fertiles, des reliefs modérés et un climat tempéré. Ce potentiel est largement valorisé par l'agriculture picarde qui est l'une des plus performante et productrice de France. Mais ce potentiel n'est-il pas utilisé de façon excessive et désordonné ? C'est la question qu'on peut se poser si l'on considère les problèmes croissants d'érosion des sols et de dégradation de la qualité des eaux. Dans ce cas, quel est le rôle exact des activités agricoles ?

L'érosion des sols cultivés semble s'aggraver considérablement depuis quelques décennies. Pourtant, il ne semble pas qu'il y ait de changement climatique pouvant expliquer cette recrudescence. On peut se demander s'il ne s'agit pas d'une réponse des sols à une mutation des activités agricoles. Mais où se trouve la rupture ? Lors de l'apparition de la culture de la betterave à sucre et de la disparition de l'assolement triennal avec jachère il y a deux siècles ? Lors de l'abandon de l'élevage de moutons et du retournement de pâtures au début du siècle ? Lors de la motorisation des exploitations agricoles et de la disparition des cultures destinées à l'alimentation des animaux de traits depuis l'entre-deux-guerres ? Lors des remembrements de ces dernières décennies ?

Une autre question se pose : les phénomènes d'érosion prennent-ils réellement de l'ampleur ou est-ce notre prise en considération qui a évolué dans une société où l'environnement prend une place croissante ?

Plus facile à cerner et à dater, la pollution de l'eau ne peut être contestée. L'eau est, malheureusement, un excellent révélateur des pratiques abusives, entre autres agricoles.

Cependant, le sol, n'est-il pas lui aussi un capital et un patrimoine ?

L'eau se dégrade et dégrade aussi les sols. L'eau est vecteur : l'eau de pluie provoque le ruissellement et l'érosion. Elle transporte sans grande différenciation substances solides et dissoutes vers les cours d'eau. Elle entraîne par percolation des substances dissoutes vers les nappes.

En quelques mots, on pourrait résumer ainsi les risques présents :

- l'eau et la terre : les risques d'érosion des sols par des excès climatiques,
- la terre et l'eau : les risques de pollution diffuse des eaux par le ruissellement,
- l'homme et la terre : les risques accrus par l'utilisation des sols par l'homme.

Les activités agricoles apparaissent à la fois facteurs de pollution et facteurs d'aggravation de la pollution. C'est pourquoi l'utilisation du sol demeure un point important à étudier.

Comprendre "pourquoi les agriculteurs font ce qu'ils font" (d'après Farming systems Support Project Newsletter, vol. 2, n°1, 1984, in MUNOZ, 1992) justifie l'existence du chapitre qui va suivre concernant l'agriculture du nord du Bassin Parisien. Car connaître le monde agricole, c'est mieux comprendre ses actions et ses motivations. En l'occurrence, les régions agricoles du nord du Bassin Parisien présentent des caractéristiques bien particulières comme cela pourra être constaté. Quant aux chapitres suivants concernant l'érosion des sols et la qualité des eaux, ils tentent de répondre à une autre question : "pourquoi les chercheurs font ce qu'ils font" (d'après Farming systems Support Project Newsletter, vol. 2, n°1, 1984 in MUNOZ, 1992).

I - Des activités agricoles aux problèmes d'érosion et de pollution diffuse

Les activités agricoles occupent depuis des temps très anciens une large place en région Picardie. Cette présence agricole ancienne a laissé de multiples traces dans les structures actuelles (DEMANGEON, 1905 ; BRUNET, 1960 ; FIETTE, 1960) comme la prédominance des productions céréalières ou le grand parcellaire en région de plateau (cet héritage sera évoqué dans un prochain chapitre). Au cours du siècle dernier, cette agriculture a pourtant subi une évolution spectaculaire qui la rend, d'après certains, méconnaissable (FIETTE, 1995). Aujourd'hui à orientation commerciale, les productions, essentiellement céréalières et industrielles, entraînent en effet une utilisation intensive des sols. Des structures de toutes sortes se sont développées assurant un encadrement permanent des agriculteurs. Et les moyens techniques et agronomiques mis en oeuvre sont de plus en plus considérables.

Connaître ces structures et ces moyens, c'est le premier pas qui permet de comprendre pourquoi les agriculteurs font ce qu'ils font. "Nulle part, plus que dans l'Aisne, l'agriculture n'exige d'être pensée dans sa modernité..." (FIETTE, 1995). A cette fin, le chapitre suivant dresse un tableau certainement incomplet mais illustratif des caractéristiques de l'agriculture de cette partie du nord du Bassin Parisien.

I - 1 - Une région fortement agricole

I - 1 - 1 - Une région de grande culture dominante

Cette réputation de région de grande culture, qui accompagne depuis très longtemps la Picardie, est largement justifiée : entre les forêts, les vallées boisées et vertes, les villages de pierres et de briques et les villes avec leurs cathédrales, de grands espaces cultivés s'offrent aux yeux de l'observateur. La Picardie est une région où l'activité agricole est largement prépondérante. De fait, la SAU, Surface Agricole Utilisée, couvre près de 71 % du territoire (AGRESTE, 1992). Cette région du nord de Bassin Parisien occupe une très bonne place dans l'agriculture française puisqu'elle réalise un chiffre d'affaire de 15 milliards de francs, et qu'elle est première productrice de pommes de terre, de betteraves sucrières et de petits pois, et seconde productrice de blé.

Ce terme de "grande culture" se réfère à une culture intensive, essentiellement céréalière, sur de grands espaces, aux moyens techniques et technologiques importants. Rappelons que la taille moyenne des exploitations est de 52 ha, presque 2 fois la moyenne nationale. De plus, il s'agit d'une moyenne qui est abaissée par les faibles surfaces des exploitations maraîchères, de fond vallées, ou animalières. En effet, les exploitations représentatives de la grande culture se caractérisent par des surfaces bien supérieures, comprises le plus souvent entre 200 et 400 ha ; le record étant détenu par une famille du Plateau soissonnais, avec une exploitation de 1 300 ha. Ces grandes exploitations sont caractéristiques de la région, tant au niveau national qu'Européen. Les exploitations qui couvrent plus de 50 ha représentent 45,5 % de l'ensemble des exploitations en Picardie, contre 36,5 % en région Centre (Beauce), 13,8 % en région Wallone en Belgique, 29,6 % pour la région South East au Royaume Uni, pour ne citer que les chiffres les plus élevés (par exemple, elles ne représentent que 5,6 % dans la grande région agricole de Nordrhein-Westfalen en RFA) (EUROSTAT, 1987).

Le terme de "grande culture" évoque, par ailleurs, des cultures "à vocation industrielle", c'est-à-dire destinées à l'industrie agro-alimentaire. Là encore quelques chiffres s'imposent : la Picardie occupe le premier rang national pour la conserverie des légumes, pour la congélation des légumes et, surtout, pour la fabrication du sucre et de ses dérivés. Les céréales demeurent pourtant la plus grande production avec 57,5 % de la superficie devant les betteraves sucrières, les légumes secs et protéagineux, les pommes de terre et les légumes frais (tab. ci-dessous)

Tableau I - 1 - 1 - a : Utilisation des terres arables en Picardie en 1991 (AGRESTE, 1992)

	Répartition de la SAU en %
Céréales	57,5 %
Betteraves sucrières	14,2 %
Légume secs et pois protéagineux	9,9 %
Pommes de terre et légumes frais	5,9 %
Fourrages annuels	4,5 %
Oléagineux	4,4 %
Autres cultures	3,6 %

Notons au passage que les rendements s'alignent sur les moyens mis en oeuvre pour produire. Depuis 1988, par exemple, le rendement du blé tendre n'est pas descendu au dessous de 80 q/ha. Il est même fréquemment au dessus de 100 q/ha.

A cela s'ajoute un parc imposant de machines agricoles. Après une forte progression dans les années 1970, le nombre des tracteurs est aujourd'hui en moyenne de 2,7 par exploitation. En 1988, 60 % des exploitants disposent au moins de deux tracteurs (environ 1 tracteur pour 28 ha de SAU). Il s'agit surtout d'engins plus puissants. De 1970 à 1988, le nombre de tracteurs de 80 cv et plus a doublé et celui de 110 cv et plus a triplé (AGRESTE, 1991).

Il faut souligner, par ailleurs, l'existence d'un encadrement technologique d'envergure, apporté par les chambres d'agriculture, les instituts spécialisés (l'ITCF, Institut Technique des Céréales et des Fourrages, l'ITB, Institut Technique de la Betterave), les coopératives, et autres (1ère Partie, I - 1 - 4).

C'est dire qu'on se trouve dans une région de haute performance et de haute technicité, qu'on pourrait presque qualifier d'exceptionnelle. De fait, cette région constitue, avec la Beauce, un pilier économique, le "grenier de la France" comme on a coutume de l'appeler. Il s'agit d'un exemple pour la petite exploitation traditionnelle française. Elle constitue aussi l'agriculture de demain, celle qui a le pouvoir de résister face à la concurrence européenne et étrangère. Cela elle le doit à la prédominance de la productivité et de la compétitivité. Ces "paysans de demain" (LEFEVRE, 1993) contribuent à l'émergence et à la vulgarisation de nouvelles technologies comme les plantes transgéniques ou les hormones de croissances. Mais que tout cela ne fasse pas oublier que cette région connaît aussi, comme beaucoup d'autres, des problèmes d'environnement. On y observe un souci de produire en préservant la santé et une meilleure qualité de vie, ainsi qu'un intérêt pour la redécouverte du terroir et la préservation des paysages. On y relève aussi, et malheureusement, des problèmes d'érosion des sols cultivés.

I - 1 - 2 - Le règne du blé et de la betterave

Le blé reste la première production (41,1 % en 1988). Il occupe cette place primordiale depuis des siècles. La betterave sucrière, culture plus récente, s'est implantée au siècle dernier. Et après des débuts difficiles, elle représente la seconde production. Ces plantations occupent l'essentiel des terres cultivées et relèvent d'une structure agricole très développée.

I - 1 - 2 - 1 - Le blé

La production de céréales, et surtout du blé "pilier de l'édifice" (LEFEVRE, 1993), a toujours été la base des productions régionales. Des textes de l'époque médiévale font déjà état de cette dominance (LUGUET, 1963).

Alors que partout ailleurs les surfaces en céréales diminuent, les surfaces consacrées au blé ne cessent d'augmenter, même si cet accroissement est ralenti depuis 1979 (tab. ci-dessous). Actuellement, ce ralentissement de l'augmentation des surfaces consacrées aux céréales s'accroît du fait de l'introduction de la jachère dans les assolements, mais le blé reste toujours largement en tête des productions.

Tableau I - 1 - 2 - 1 - a : Evolution des surfaces cultivées en céréales et en blé dans le département de l'Aisne (d'après RGA).

	Céréales en ha	Céréales en % de la SAU	Blé en ha	Blé en % de la SAU
1955	207 769	66,9	130 450	42,0
1970	230 663	65,0	133 656	37,7
1979	258 264	67,3	158 411	41,3
1988	234 087	55,7	166 641	41,1

I - 1 - 2 - 2 - La betterave sucrière

En 1993, la France était le premier producteur mondial de sucre de betteraves (Centre d'étude et de documentation du sucre). La large implantation de la betterave sucrière^(*) en Picardie s'impose au regard lorsque l'on passe près des grandes sucreries avec leurs immenses bassins de décantation, leurs grands tas de betteraves à l'automne et surtout leurs odeurs caractéristiques.

L'agriculture sucrière, "un monde à part" (LEFEVRE, 1993) représente une organisation colossale qui gère toutes les étapes : de la graine fournie à l'agriculteur au morceau de sucre, en passant par la date de semis, la date et la nature des traitements, la planification des récoltes. Elle occupe une place de premier plan dans la région qui nous intéresse, puisque sur 437 000 ha ensemencés en France, on en trouve 36 % en Picardie, dont 17 % dans l'Aisne (Chiffres 1993, Centre d'étude et de documentation du sucre). Sur 46 sucreries implantées en France, on en dénombre 6 dans l'Aisne, pour un total de 16 en Picardie.

Un apport important de main d'oeuvre, le plus souvent émigrée, a longtemps été nécessaire. Aujourd'hui, un matériel spécialisé et coûteux exécute les pénibles travaux manuels d'autrefois exigés par cette culture. Entre autres, le sarclage est aujourd'hui mécanisé, se substituant au binage manuel. La récolte, de fin septembre à fin novembre, est aussi effectuée mécaniquement par trois sortes de machines complémentaires : effeuilleuse ou décolleuse, arracheuse et ramasseuse. Elle doit être réalisée en très peu de temps, sous peine de perdre une partie du sucre. Ensuite, les betteraves sont transportées rapidement vers les sucreries qui se situent dans un périmètre de 20 à 30 km. Cette récolte est accompagnée d'un fort tassement des sols sous l'effet de ces lourdes et puissantes machines (1ère Partie, I - 2 - 2).

Cette culture, grâce à d'importants moyens scientifiques et techniques, a connu une évolution considérable au cours des vingt dernières années.

Par exemple, la graine monogerme (obtenue par croisement avec une variété sauvage monogerme) permet d'éviter le démariage manuel (élimination de trois ou quatre plantules d'une même graine pour n'en laisser qu'une).

Autre exemple à citer, les progrès concernant les traitements phytosanitaires. Les agriculteurs du Plateau Soissonnais ont été à ce niveau précurseurs (H. Moquet, comm. orales 1995). Il y a 20 ans, les produits, essentiellement des herbicides, étaient utilisés individuellement et à forte dose : on attendait que la betterave ait assez poussé pour traiter, les mauvaises herbes étaient alors bien développées d'où les doses élevées.

(*) Cette plante tient son nom de "betterave champêtre" de l'Abbé de Commelle qui le fit adopter en 1778 : " "bette" car ce légume tenait de la betterave, "rave" parce que la racine tenait de la rave et "champêtre" pour la distinguer de la betterave des jardins" (Archives Départementales, 4 ° 301, LUGUET, 1963). La betterave sucrière fut introduite en France suite aux guerres de l'Empire et au blocus continental imposé par Napoléon aux anglais. Face à la France privée de sucre, l'Empereur encouragea les recherches en vue d'extraire le sucre de cette plante métropolitaine. En 1811, 32 000 ha furent cultivés en France et, en janvier 1812, Benjamin Delessert réussit à en extraire industriellement le sucre (Du soleil au sucre, Centre d'étude et de documentation du sucre, 1987, 15 p.).

En 1972, le professeur Chabelet pratiqua dans le Soissonnais des essais sur un nouveau produit herbicide, le "VENZAR". Avec une double dose, aucune herbe et aucune betterave ne poussaient. Avec une simple dose, les betteraves se développaient mal. Avec de très petites doses, les effets étaient très variables. Ce sont les agriculteurs et un technicien de la CAS (Coopérative Agricole du Soissonnais), J. Borel, qui ont su tirer le meilleur parti de ce nouveau produit. En pratiquant des essais, ils ont constaté que son utilisation à très faible dose, mais additionnée aux produits classiques, donnait d'excellents résultats. Ces conclusions furent présentées à l'INRA Grignon et mises en application par l'ITB (Institut Technique de la Betterave). Aujourd'hui, les produits utilisés sont sensiblement les mêmes qu'à l'époque. On ne se préoccupe plus du stade de développement de la betterave, on traite très tôt mais à petites doses répétées (1ère Partie, II - 3).

Ces progrès techniques se sont accompagnés d'une nette évolution des rendements en betteraves et en sucre (Centre d'étude et de documentation du sucre, tab. ci-après). Bien que variable en fonction des conditions climatiques, les rendements continuent et devraient continuer d'augmenter (D. Brot, comm. orale 1995).

Autre caractéristique de la filière sucre : l'optimisation. La production du sucre ne laisse aucun déchet, tout est recyclé. Par exemple, une partie des feuilles est broyée lors de la récolte et laissée dans le champ comme fertilisant. Une fois l'extraction faite du sucre, les pulpes de betterave sont conditionnées en aliments pour bestiaux. Les vinasses (résidus des traitements de lavage : écorce, restes de feuilles décantés) et les défécations (résidus de deux précipitations successives : "chaulage" et "carbonatation" permettant l'élimination des impuretés du sucre) sont restituées aux champs au mois d'août (1ère Partie, II - 3), elles constituent un amendement très recherché (en matières organiques pour le premier et en carbonates pour le second) et largement utilisé bien qu'un peu cher (fig. I - 1- 2 - a , ci-après).

Tableau I - 1 - 2 - 2 - a : Evolution des rendements de la betterave en Picardie (Centre d'étude et de documentation du sucre)

Campagne sucrière	Rendements betteraves en t/ha	Richesse en sucre en %	Rendements en sucre en t/ha
1960-61	47,7	16,2	6,6
1970-71	42,8	17,4	6,7
1980-81	47,5	17,3	7,5
1986-87	50,5	17,7	8,1
1987-88	57,2	16,2	8,7
1988-89	59,0	17,7	9,7
1989-90	57,3	17,9	9,3
1990-91	55,6	18,7	9,5
1991-92	56,1	17,9	9,4
1992-93	60,5	17,7	9,9
1993-94	62,0	18,0	10,3

On signalera une très légère baisse des surfaces cultivées en betteraves lors de ces dernières années. Elle est consécutive à une baisse de la cotation du sucre depuis 1989. Mais cette tendance ne se confirme pas en raison des quotas de surface. La culture de la betterave sucrière reste depuis deux siècles très constante et très présente.

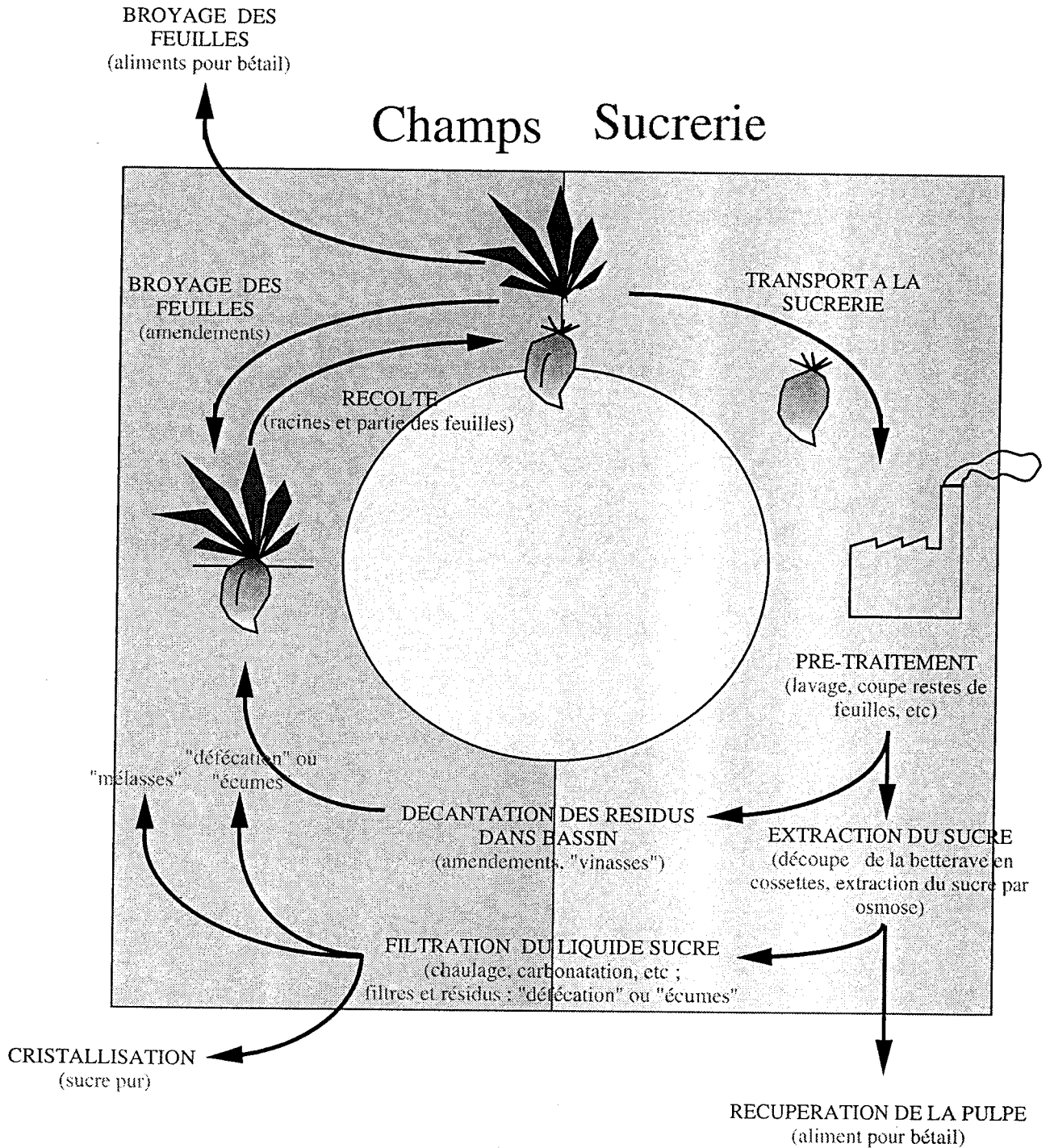
I - 1 - 2 - 3 - La pomme de terre et les légumes

Présente de longue date, la culture de la pomme de terre - à féculé et de consommation - s'est développée de façon spectaculaire dans les années 1950. Elle est entourée d'une structure comparable à celle de la betterave mais moins imposante. La production augmente progressivement, mais cette évolution est extrêmement aléatoire, car fortement dépendante des conditions climatologiques, cette plante ayant besoin d'une assez forte pluviométrie.

Un grand nombre d'agriculteurs la pratique. Ils ont fait ce choix dans les années cinquante. Aujourd'hui, il est presque impossible de se reconvertir dans cette production car l'investissement matériel est très onéreux (planteuse, butteuse, arracheuse, etc.) (J. C. Doncoeur, comm. orale 1994). Souvent, le matériel est acheté en copropriété pour pallier cet inconvénient.

Les agro-industries se sont largement développées localement (production de féculé, purée déshydratée, chips, frites surgelées, etc.). Elles concernent aussi d'autres productions légumières comme les protéagineux (petits pois, flageolets, etc.) et les oignons. On citera les plus connues : Vico (à Vic-sur-Aisne), D'Aucy, Bonduel, Findus, Saupiquet, Flodor, Unichips et Mc-Cain.

Figure I - 1 - 2 - 3 - a : La culture de la betterave : "Tout se transforme, rien ne se perd"



D'autres cultures sont aussi présentes. Traditionnellement on retrouve un peu de maïs fourrager, mais très localement, en liaison avec la nature des sols (essentiellement dans les vallées du Laonnois aux sols plus humides). On remarque une nouvelle culture, celle du lin oléagineux, en relation avec le développement des jachères cultivées (voir photo 1 - 1 - 2 - 3 - a, ci-après). Enfin, le colza, présent depuis plus longtemps, tend à se développer dans le cadre de la production de biocarburants (1ère Partie, I - 1 - 4).

I - 1 - 3 - Une agriculture encadrée par des "coopératives mastodontes" et des "organismes tentaculaires"

Les agriculteurs représentent la catégorie socioprofessionnelle qui a créé à sa périphérie le plus d'organismes et le plus d'emplois : chambres d'agriculture, syndicats, crédits agricoles, coopératives, assurances, centres d'études techniques, groupes de vulgarisation, etc. Le département de l'Aisne, plus que tout autre, est représentatif de ce développement lié au monde agricole (LEFEVRE, 1993).

I - 1 - 3 - 1 - Des coopératives agricoles nombreuses et polyvalentes

A titre d'exemples, pour ce seul département, on dénombre 44 coopératives agricoles s'étalant sur plus de 105 sites de vente. Une des plus renommées, la Coopérative Agricole du Soissonnais (CAS) possède trois points de vente. Elle dispose d'un laboratoire d'analyse très performant qui lui permet, entre autres, de réaliser des dosages d'azote dans les plantes en vue d'ajuster la fertilisation et de rechercher certaines maladies afin d'adapter les traitements phytosanitaires. La coopérative n'est pas seulement un lieu de vente d'engrais ou de produits phytosanitaires ; elle constitue un centre de conseils et d'expérimentation auquel les agriculteurs ont largement recours (voir photo 1 - 1 - 2 - 3 - b, ci-après). Sur ce plan, elle est à la fois une partenaire et une concurrente directe des chambres d'agriculture, qui conservent néanmoins de très gros atouts.

I - 1 - 3 - 2 - Les chambres d'agriculture départementale et régionale, du conseil agronomique à l'utilisation du SIG

La Chambre d'Agriculture départementale, une des plus développées de France, propose de multiples services traditionnels : conseils agronomiques, formation permanente, conseils de gestion des exploitations, aide à l'achat en commun de matériel (CUMA, Coopérative d'Utilisation de Matériel Agricole) etc., qui sont des services qu'on peut qualifier de classique. Mais elle assure aussi des services plus spécifiques et payants, tel le programme "HECTAR". Ce programme propose un bilan complet de l'exploitation - nature des sols, besoin en fertilisation, etc. - fondé sur des analyses de terrain et un traitement par SIG, Système d'Information Géographique (ARCINFO). Il faut compter 10 000 à 13 000 francs par exploitation. Elle participe, avec plusieurs partenaires comme l'Agence de l'Eau et l'INRA, à des recherches de "pratiques raisonnées" - tel que le programme A.QUA.E (Amélioration de la QUALité des Eaux). Elle est relayée par la Chambre d'Agriculture régionale, en particulier, pour la diffusion des informations (revue "Horizon 2001").

I - 1 - 3 - 3 - La station agronomique, largement sollicitée

Complément indispensable au système d'aide aux agriculteurs, la station agronomique est sollicitée par la Chambre d'Agriculture, les coopératives et les agriculteurs pour plus de 30 000 analyses de sols par an, mais aussi d'amendements et de fertilisants. Elle développe le programme "Azotbil" qui, comme son nom l'indique, permet d'ajuster les apports d'azote en fonction des besoins, parcelle par parcelle dans l'exploitation.

I - 1 - 3 - 4 - Les instituts techniques, très présents

L'intervention des chambres d'agriculture et des coopératives est fréquente pour les conseils de fertilisation ou traitements, mais on notera aussi l'intervention dans ce domaine d'instituts techniques spécialisés comme celui de la betterave, l'ITB (Institut Technique de la Betterave) et celui des céréales, l'ITCF (Institut Technique des Céréales et des Fourrages). Ils fournissent à la suite de nombreuses expérimentations des informations sur les variétés de graines, sur la fertilisation, sur les nouveaux traitements, sur les maladies présentes à certaines dates, etc. Les informations sont disponibles sous forme de publications ("Cultivar", par exemple) ou de renseignements téléphoniques.

I - 1 - 4 - Une agriculture qui se donne les moyens de réussir

Dans le domaine des innovations et des incitations, la Picardie fait preuve d'un dynamisme exemplaire, mais aussi d'originalité que ce soit au niveau de la technologie ou au niveau des productions. Les quelques exemples qui suivent en témoignent.

I - 1 - 4 - 1 - Un Conseil Régional qui s'investit pour l'agriculture : quelques exemples

* Le "FRAC"

Le "FRAC" agricole (Fonds Régional d'Aide au Conseil en agriculture) mis en place en 1991 par le Conseil Régional de Picardie est un outil d'aide à la décision. Le FRAC rembourse une partie des dépenses liées à un conseil extérieur. Le taux en vigueur est de 80 % du montant du devis avec un plafond d'aide à 25 000 francs par projet (plus 10 000 francs par exploitant lorsqu'il y a plus de trois demandeurs). Les études pouvant être financées par le FRAC concernent :

- la restructuration des exploitations agricoles par regroupement des moyens de production,
- la diversification des productions, etc.

Son but est de développer des activités complémentaires dans le cadre de la PAC, Politique Agricole Commune, et de spécialiser les productions. Les structures agricoles résultantes ont des tailles importantes, 400 à 500 ha, et s'orientent vers une culture de vente (Conseil Régional de Picardie, Janvier 1993).

* Les bio-carburants, un atout de la Picardie

La Picardie est une région en avance dans le domaine des bio-carburants, cette pratique étant fortement encouragée par le Conseil Régional depuis 1985 (Conseil Régional de Picardie, Janvier 1993). Amiens, "ville verte", fait rouler ses bus au bio-carburant.

A rendement équivalent, les surfaces en colza étaient de 40 400 ha en 1990 et 45 300 ha en 1991, la production augmente progressivement.

Cette production suscite un intérêt particulier puisque le colza est concerné par trois mesures importantes. Tout d'abord, dans le cadre de la PAC, le colza est la première culture à bénéficier d'une aide à l'hectare et non plus à la production. Ensuite, il fait partie des cultures concernées par le gel des terres. Et enfin, la détaxation peut lui ouvrir des perspectives intéressantes.

De plus, une unité pilote de production de diester a déjà été mise en place à Venette près de Compiègne. Et bien que les céréales et les betteraves soient aussi exploitables dans ce domaine, le colza reste la carte maîtresse des bio-carburants. Enfin, le colza est une plante d'hiver qui assure un couvert végétal au sol pendant les pluies et les protège ainsi de l'érosion. Sa culture est donc encouragée dans le cadre des mesures agri-environnementales.

Photo I - 1 - 2 - 3 - a : La culture du lin à Vierzy (A. Angélaume, juin 1994)

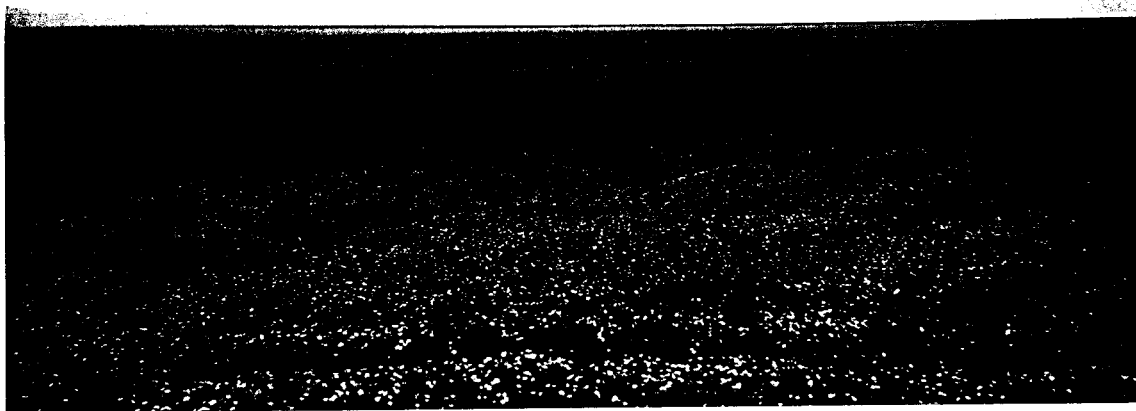


Photo I - 1 - 3 - 1 - a : Les expérimentations sur parcelles en conditions réelles : une coopération entre les chambres d'agriculture, les instituts techniques et les coopératives agricoles (A. Angélaume, mai 1994)

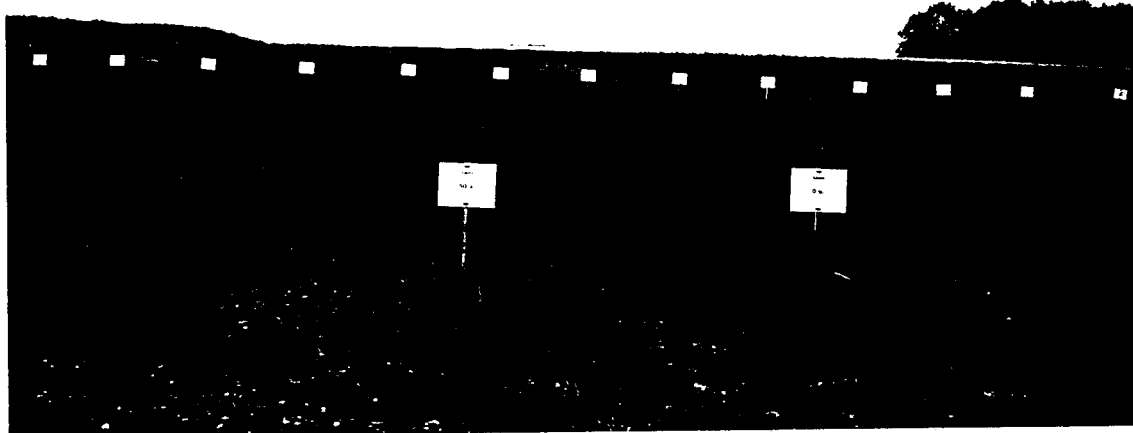
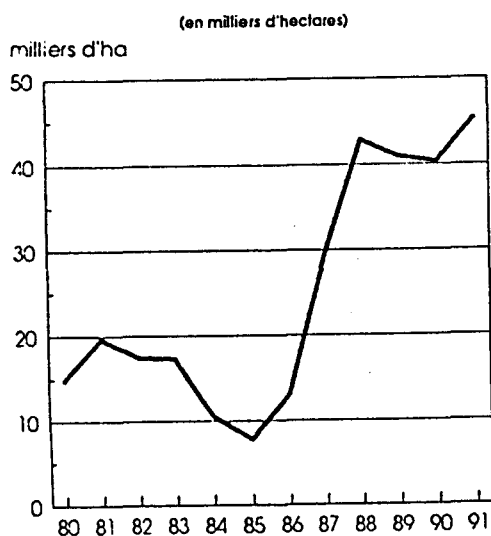


Figure I - 1 - 4 - 1 - a : Evolution des surfaces de colza en Picardie en milliers d'hectares au cours de la dernière décennie (AGRESTE, 1992)



I - 1 - 4 - 2 - On ne "lésine" pas sur les moyens

Amendements, fertilisants, passages de machines, machines elles-mêmes rien n'est laissé au hasard. Les champs sont largement pourvus en traitements de toutes sortes avec les produits et par les engins adéquates.

Economiquement le jeu en vaut la chandelle sur ces sols limoneux : "10 kg d'apport supplémentaire d'azote à l'hectare revient à 40 francs, mais peut rapporter dix fois plus si la récolte atteint son maximum" (LEFEVRE, 1993).

Tableau I - 1 - 4 - 2 - a : Comparaison de la fertilisation azotée moyenne observée dans des fermes à agriculture intensive et des fermes à chimisation réduite en Picardie (d'après agriculteurs et coopératives agricoles)

	Agriculture intensive en uN/ha	Chimisation réduite en uN/ha
blé	170-220	145-150
orge	120-140	90-100
betterave sucrière	120-150	45-100
pomme de terre	150-180	-
colza	-	155
pois protéagineux	0	0

- : information non communiquée

Tableau I - 1 - 4 - 2 - b : Comparaison des rendements objectifs dans des fermes à agriculture intensive et des fermes à chimisation réduite en Picardie en q/ha Picardie (d'après agriculteurs et coopératives agricoles)

	Agriculture intensive en q/ha	Chimisation réduite en q/ha
blé	100	70-80
orge	80	65-70
betterave sucrière	60-65	50
pomme de terre	-	-
colza	-	29
pois protéagineux	-	48

- : information non communiquée

De fait, les ventes d'engrais en Picardie et dans le département de l'Aisne sont importantes, même si depuis les années 1980, elles tendent à se stabiliser (N et K) ou à baisser (P) (1ère Partie, I - I - 5).

I - 1 - 4 - 3 - Des amendements agricoles locaux variés

Les amendements sont extrêmement variés : boues industrielles, boues urbaines, vinasses et défécation de sucreries, résidus de champignonnières, etc. (1ère Partie, II - 3). Il existe des facilités d'analyse, de transport et d'épandage. Rappelons la boucle établie avec les sucreries : elles fournissent de façon privilégiée des vinasses et des défécations aux producteurs de betteraves sucrières et peuvent livrer et réaliser les épandages. Des commodités similaires existent pour les boues industrielles provenant des industries de conditionnement de pommes de terre. Il en est de même pour des boues de papeterie, comme celles de la Rochette Venizel, qui sont livrées au bout du champ (M. Le Querrec, comm. orale 1995). Actuellement, la Chambre d'Industrie et de Commerce de l'Aisne travaille sur un vaste projet, dans le cadre de l'AEEP (Association Environnement-Entreprises de Picardie), de valorisation des déchets industriels en agriculture. Plus de 15 industries locales, en collaboration avec les chambres d'agriculture, ont financé une grande étude dans ce sens. De nouveaux amendements pourraient prochainement voir le jour (Chambre de Commerce et d'Industrie de Laon, comm. orale 1995).

I - 1 - 4 - 4 - Une technologie de pointe au service des cultures

Depuis quelques années, on assiste à une véritable révolution du monde agricole qui devient un domaine de recherche à part entière. On connaissait depuis longtemps les caractéristiques des différentes variétés de blé ou de maïs. Depuis les années 1960, les produits phytosanitaires se multiplient. Chaque année, il en apparaît de nouveaux sur le marché. Les graines de betteraves sont devenue monogermes, facilitant considérablement la culture de cette plante. Aujourd'hui, on utilise des plantes transgéniques ou des hormones de croissance. Ces dernières, en limitant la croissance de la tige du blé, réduisent les risques de verse, augmentent l'utilisation d'azote par le grain et donc accroissent les rendements. On modélise par exemple la consommation en azote des plantes, ce qui permet d'ajuster la fertilisation (Azotbil et Jubil), ou encore la propagation d'insectes nuisibles ou de maladies, etc. Les agriculteurs, par leur demande de nouveauté ou leur participation active aux expérimentations, contribuent à l'émergence et à la vulgarisation de nouvelles technologies. De plus en plus souvent, ils se portent volontaires pour tester, apprécier, témoigner et ainsi faire avancer l'état des connaissances. En particulier dans les programmes de fertilisation raisonnée, lancés par les Ministères de l'Agriculture et de l'Environnement, et les programmes de réduction des intrants des Mesures Agri-Environnementales, le nombre de fermes pilotes ne cesse de croître.

* L'ajustement de la fertilisation, l'exemple de "Jubil"

Suite à des analyses de reliquat d'azote dans les sols à la sortie de l'hiver, le laboratoire d'analyses propose aux agriculteurs une fertilisation azotée fonction de la culture implantée, du précédent cultural, de la fumure de fond et du sol. Réalisé par le logiciel "Azotbil", ce calcul repose sur la prévision des fournitures du sol en azote et sur les besoins des cultures en fonction d'un objectif de rendement. On estime aussi les effets et arrières effets des amendements organiques, la minéralisation de la matière organique, la profondeur de l'enracinement et l'objectif de rendement. Cette méthode dite des bilans permet d'évaluer les quantités à apporter lors des trois apports.

En effet, les apports sont fractionnés : deux équivalents (70-90 u) puis un troisième plus faible (40 u). L'apport tardif, le troisième, améliore le taux de protéines du grain. S'il reste dans les limites de dose optimum, il ne sensibilise pas à la verse et entraîne souvent une très légère augmentation des rendements. Pour ce troisième apport, les agriculteurs pratiquent souvent la fertilisation "à vue". Pourtant, une autre méthode permet d'ajuster ce dernier apport en fonction de l'azote déjà consommé par la plante : c'est le test Jubil.

Le principe est d'appliquer le résultat obtenu avec Azotbil pour le premier apport (au tallage) et pour le second apport (épis) soit 40 à 50 kg, puis de réaliser le test Jubil entre le premier noeud (sur la tige de blé) et la sortie de la dernière feuille. On prélève alors un échantillon d'une centaine de pieds de blé sur lequel sera dosé l'azote. Cela permet de dire si le troisième apport est indispensable et quelle quantité est nécessaire (DAMAY, 1994b).

Jubil constitue un moyen fiable et précis pour détecter la "faim" d'azote (VERHAEGHE, 1995a), et donc maîtriser les intrants. L'intérêt de la réduction des intrants n'est plus à démontrer, il est double si on considère l'aspect économique et l'aspect protection de l'environnement. La maîtrise de la fertilisation est considérée comme la clé de voûte des conduites raisonnées (1ère Partie, I - 4).

Actuellement, peu d'agriculteurs pratiquent les bilans et Jubil de façon systématique. Ils préfèrent la traditionnelle la fertilisation "à vue", environ 220 unités sur blé, en trois ou quatre apports. Les derniers apports sont fonction de l'état de la plante (1ère Partie, II - 3).

* Le dépistage de maladies ou de parasites, le "test Eliza" et les autres

Une bonne observation des cultures permet d'apporter le traitement adéquat, mais pas toujours en temps voulu. Lorsque le traitement intervient, la maladie ou les insectes se sont parfois largement étendus. Il faut alors beaucoup traiter. Les kits de dépistage précoce (tests de terrain) et les modèles de développement et de propagation permettent de traiter tôt et au plus juste.

Par exemple, le test de dépistage "Eliza" permet de détecter précocement le piétin verse, maladie redoutée sur les céréales. Comme pour le test Jubil, il faut prélever un échantillon de pieds de blé qui sera envoyé dans un laboratoire où on cherchera les traces de la maladie. En fonction des résultats, il y aura traitement ou non (C. Rogier, comm. orale 1994). En cas de traitement, les doses sont faibles puisqu'il s'agit d'une intervention préventive pour éviter le développement de la maladie. Comme pour la fertilisation, on gagne sur le plan économique et sur le plan de la protection de l'environnement, mais aussi sur le plan des rendements. En effet, le piétin est encore très nuisible. Il ne concerne pas toutes les parcelles et le kit se révèle être un outil d'avertissement utile (JEUFFRAULT, 1994).

D'autres kits permettent d'affiner les interventions contre la rouille brune, la septoriose, etc. et de traiter à bon escient. Ils sont complétés par des logiciels permettant de prévoir le développement de la maladie en fonction des conditions de la parcelle et des facteurs météorologiques, et ainsi de positionner le traitement contre la septoriose en fonction de l'évolution prévisible de la maladie (PARDOUX, 1995c).

Spirouil (rouille brune), Epure, Clean, Presept (septoriose) sont les logiciels les plus connus. Testés par l'ITCF, le SRPV, Service Régional de la Protection de Végétaux, les coopératives et les chambres d'agriculture, ils permettent un gain économique de plus de 200 francs/ha/an (FIGAROL, CHAMIGNON, 1992).

* La diffusion de l'information et la mise en application par les agriculteurs

Les expérimentations réalisées en collaboration par les coopératives, les chambres d'agriculture et d'autres partenaires sont variées (les variétés de semences, l'utilisation et l'entretien des pulvérisateurs, la fertilisation, les traitements phytosanitaires, etc.) et nombreuses (près de Laon, on peut observer trois sites d'expérimentation). La diffusion des résultats est essentielle pour une bonne mise en application par le monde agricole. A ce niveau la formation agricole, les nombreuses revues locales, les brochures des coopératives agricoles sont largement sollicitées.

Cependant, certains agriculteurs préfèrent avoir recours à leurs propres expérimentations et se regrouper au sein de CETAS, Centres d'Etudes Techniques Agricoles.

I - 1 - 4 - 5 - Les CETAS, une structure très développée localement

Les CETAS, Centres d'Etudes Techniques Agricoles sont des structures anciennes (le plus ancien, celui de Soissons fut créé en 1948) et caractéristiques du département de l'Aisne. Il s'agit d'un groupement d'agriculteurs qui auto-finance des expérimentations sur leurs exploitations. En 1994, on comptait 519 adhérents, soit 99 675 ha. Chaque CETA correspond à une région agricole et dispose d'un ingénieur agronome. En 1994, 342 essais ont été réalisés sur 16 458 parcelles. Les agriculteurs qui adhèrent à ce groupement représentent un type particulier d'exploitations, en général grandes et productives. A titre d'exemple, la taille moyenne des exploitations adhérentes au CETA de Soissons est de 297 ha (H. de Vriendt, comm. orale 1995).

Les résultats des expérimentations restent un atout des adhérents, contrairement à ceux des chambres d'agriculture qui sont largement diffusés dans les revues, mais aussi par des moyens de communication moderne comme le minitel.

I - 1 - 4 - 6 - Un nouvel outil pour cette armature d'ensemble : le Minitel

En plus des simples données météorologiques (3615 ARTEL, 3615 ORAGES qui donnent les prévisions, les pluies, l'ETP (Evapo-Transpiration Potentielle), les moyennes saisonnières, les vents, l'ensoleillement, les conseils de traitements de la quinzaine, ...), on peut trouver sur minitel des informations diffusées par les instituts et les chambres d'agriculture qui ont la particularité d'être à jour et de répondre à des demandes localisées. Par exemple, on peut accéder aux derniers résultats des essais, aux conseils de fertilisation en fonction d'analyses locales de reliquats d'azote, aux recommandations de semis (dates, densités), d'irrigation, aux préconisations de traitements en fonction du développement de la culture et des prévisions météorologiques, aux alertes parasites immédiates (localisation des maladies ou des insectes nuisibles se développant dans la région et les conseils d'interventions appropriés), etc. L'information est disponible immédiatement, plus besoin d'attendre la parution de la revue hebdomadaire. La Chambre d'Agriculture de Picardie a même mis en place le serveur Horizon 2001, du même nom que la revue. Grâce à celui-ci, l'agriculteur reçoit en quelques minutes les informations qui lui sont utiles par fax. Complétant efficacement les revues, le minitel et le fax sont largement utilisés par les agriculteurs qui trouvent là un outil rapide, facile d'accès et peu contraignant.

I - 1 - 4 - 7 - Le parc agricole

* Un parc important de machines agricoles, un outillage complet et performant

Une enquête réalisée auprès des agriculteurs cultivant la zone étudiée montre qu'une ferme type d'environ 200 ha utilise :

- 2 tracteurs à 4 roues motrices dont au moins un de plus de 110 cv, et souvent un ou deux vieux tracteurs de 80 cv ou moins. Rappelons les chiffres AGRESTE 1991 : la moyenne départementale est de 2,7 tracteurs par exploitation, soit environ 1 tracteur pour 28 ha. Le nombre de tracteur de 80 cv a doublé entre 1970 et 1998, et celui de 110 cv a triplé. On remarque que le nombre de tracteur et d'ouvrier agricole est proportionnel à la taille de la SAU de l'exploitation. On dénombre fréquemment, dans les grandes exploitations agricoles, un ouvrier agricole pour 100 ha et un tracteur de 110 cv par ouvrier agricole.

pour le travail du sol :

- une charrue de 4 à 6 socs,
- une herse alternative ou rotative, outil à dents
- un cover-crop, outil à disques
- un ou deux semoirs de largeur 8 m.

pour les traitements :

- un pulvérisateur, très souvent de largeur 24 m.
- un semoir pour les épandages solides

pour la récolte :

- une moissonneuse-batteuse
- une remorque.

L'outillage est parfois plus complet, lorsque l'exploitation produit des pommes de terre (planteuse, buteuse), lorsque l'exploitant travaille le sol différemment (sous-solage : France-Cribs, outil à grandes dents, ouverture du sol : Canadien, outil combinant dents, disques et rouleaux, etc.).

Il comprend aussi du matériel annexe, par exemple des roues cages (roues en fer s'adaptant sur les roues des tracteurs pour travailler sur sol humide en automne ou en hiver et permettant d'étaler le poids de l'engin et de limiter le tassement du sol).

Vers 1950, la motorisation était bien moins complète. Pour mémoire, une ferme type de 230 ha possédait : 14 chevaux, 2 tracteurs de 25 cv, 1 tracteur de 60 cv, 6 branlants, 6 déchaumeuses, 2 planteuses de pommes de terre, 4 semoirs, distributeurs d'engrais, 2 tonnes à purin, un pulvérisateur à roues, un poudreux, 8 herses, 4 extirpateurs, 2 bineuses, 5 rouleaux, 4 faucheuses, 1 faneuse, 1 râteau, 6 moissonneuses-lieuses, 1 moissonneuse-batteuse, arracheuse de pommes de terre, 2 arracheuses de betteraves, 10 tombereaux, remorque 10 tonnes, 5 charrettes, 4 chariots, 2 camions (BRUNET, 1960). L'équipement était très varié, mais moins puissant, performant et surtout volumineux. Depuis, il a été totalement renouvelé et simplifié.

Les machines combinent aujourd'hui plusieurs opérations : le déchaumage et la préparation du sol, la moisson et le battage, l'effeuillage et l'arrachage des betteraves, etc. La puissance et le poids de ces engins ont considérablement augmenté dans certains cas, en particulier pour les tracteurs et les moissonneuses-batteuses (H. Moquet, comm. orale 1994). C'est pourquoi on essaie d'adapter au mieux les pneumatiques pour limiter le tassement du sol. Cependant, une partie de l'outillage s'est allégé, comme par exemple pour certains semoirs dont le poids chargé excédait autrefois 800 kg (C. Rogier, comm. orale 1994).

Bien souvent, l'investissement étant considérable, le renouvellement des machines s'est fait par des achats en collectivité. En particulier, en ce qui concerne l'arracheuse de pommes de terre et l'effeuilleuse-arracheuse de betteraves. Parfois, les agriculteurs ont recours à la location de matériel. On s'éloigne de la ferme étroitement individualiste pour devenir plus associative, mais l'échange de matériel n'est pas pour autant très développé. De même, l'achat groupé ne connaît qu'un intérêt récent de la part des agriculteurs.

* Le développement des CUMA et une forte présence des entreprises de coopération agricole

Les CUMA, Coopératives d'Utilisation du Matériel Agricole, sont des structures anciennes. Elles sont apparues après la seconde Guerre Mondiale, dans le cadre du "Plan Marshall". Permettant aux agriculteurs d'acheter du matériel agricole à des conditions avantageuses, elles devaient permettre de relancer l'agriculture. Dans l'Aisne, département assez marqué par l'individualisme, elles sont encore peu nombreuses et se sont développées depuis 3 à 4 ans seulement. En 1994, on comptait 12 940 CUMA en France, dont 85 dans l'Aisne (soit 1 057 exploitations) ce qui est peu. 10 se sont créées en 1994, témoignant d'un regain d'intérêt pour cette pratique (*).

(*) Cette récente augmentation traduit une volonté de se développer et de se moderniser de la part des moyennes et petites exploitations, mais aussi de produire mieux (achat de matériel de qualité plus cher), notamment pour la récolte des pommes de terre de consommation (tubercules moins abîmés) et des légumes. En effet, l'achat de matériel concerne essentiellement le matériel de récolte (40 % de l'achat total de matériel), et, dans une moindre mesure, le travail du sol (22 %) et les traitements (25 %). Le Saint-Quentinois-Laonnois a dans ce domaine pris de l'avance, et contrairement à ce que l'on pourrait penser, "il n'a rien à envier au Soissonnais". Le Soissonnais, quant à lui, se détache de cette tendance générale. Plus individualistes, les agriculteurs sont moins nombreux à former des CUMA (M. Bertin, Service technique de la Chambre d'Agriculture de l'Aisne, comm. orale, 1995). Par ailleurs, les agriculteurs ont souvent recours à l'entraide (échange de matériel, par exemple pour le traitement des semences), ainsi qu'à des entreprises extérieures qui pour 1 000 à 1 300 francs/ha prennent en charge la récolte.

I - 1 - 5 - Une évolution "récente" des activités agricoles

I - 1 - 5 - 1 - Le XXème siècle : un siècle de changements vers une agriculture "à orientation commerciale" et de "capitalisme agraire" (FIETTE, 1995)

Si les archives départementales et les témoignages des agriculteurs montrent des fermes où, au début du siècle, se côtoyaient le travail familial et salarial, les animaux de trait et d'élevage, les cultures fourragères et industrielles, de toute évidence, la situation actuelle est bien différente (annexe 1). Tout d'abord, la fin de la seconde guerre apporte une mécanisation systématique avec les surplus de tracteurs américains (C. Doncoeur, comm. orale, 1994). Puis, la révolution agricole des années 1970 ne fait qu'accentuer la transformation entamée. Celui qui travaille la terre aujourd'hui est 4,5 fois plus productif que son père dans les années 1960, parallèlement le nombre d'actifs a été divisé par deux (ANONYME, 1993, La Picardie, verdure dans l'âme).

En conséquence, les productions agricoles ont évolué (RGA 1955-88) témoignant d'une volonté de compétitivité (disparition de l'élevage et de ses cultures annexes telles l'avoine) et de spécialisation agro-alimentaire (Vico, D'Aucy, etc.). La betterave reste très présente en raison de l'attribution des quotas et de la forte présence des industries du sucre (Beghin Say, Générale Sucrière et CFS).

Tableau I - 1 - 5 - 1 - a : Evolution en hectares des productions de deux régions agricoles - le Saint-Quentinois-Laonnois et le Soissonnais - et de deux de leurs communes (d'après RGA 1955-1988)

		Total	Avoine	Blé	Orge et esc.	Maïs grain	Pomme de t. de consom. (1)	Betterave indust.	Betterave fourrag.
S-Q-L (2)	1955	93 173	16 645	61 690	13 664	371	7 070	28 403	3 638
	1988	102 840	0	78 998	16 560	6 444	1 546	40 325	-
Erlon	1955	466	72	296	98	-	36	162	4
	1988	431	0	319	s	102	0	170	-
Soiss. (3)	1955	44 794	7 533	29 884	6 045	500	4 016	15 099	1 441
	1988	48 840	0	33 246	8 246	5 751	2 593	17 740	-
Vierzy	1955	526	90	382	58	-	51	231	1
	1988	506	0	410	64	0	5	234	-

(1) Les chiffres de 1950 comptabilisent l'ensemble de la production de pommes de terre, ceux de 1988, uniquement la production de pommes de terre de consommation.

(2) Saint-Quentinois-Laonnois

(3) Soissonnais

s : secret statistique

- : non communiqué

A l'échelle de la ferme, cette transition est encore plus sensible. Mais elle se fait à des dates différentes selon les exploitations (annexe 1). L'apparition de la pomme de terre industrielle est plus ou moins précoce, de même que la disparition du bétail.

De plus, cette mutation des productions, généralisée à la région, s'accompagne bien souvent de l'agrandissement des exploitations, comme le montrent les chiffres qui suivent (tab. I - 1 - 5 - 1 - b).

Tableau I - 1 - 5 - 1 - b : L'agrandissement des exploitations dans le département et dans les régions agricoles en hectares (RGA 1955, 1988).

	SAU 1955 en ha	Taille moyenne 1955 en ha	SAU 1988 en ha	Taille moyenne 1988 en ha
Champagne crayeuse	32 476	67,3	33 158	90,1
Soissonnais	94 791	50,8	94 615	84,5
St-Quentinois-Laonnois	189 347	52,5	195 393	81,1
Tardenois et Brie	65 672	33,15	65 793	43,8
Thiérache	91 348	19,3	89 460	35,3
Valois	24 015	93,4	25 379	118,6
Aisne	498 196	38,59	503 798	61,8

Si on regarde plus en détail les statistiques agricoles par année et par classe de taille (non reproduites ici), on constate que ce sont les exploitations de 2 à 10 hectares qui disparaissent le plus précocement, dès 1963, et le plus rapidement, au profit de celles de 50 hectares et plus. En 1970, ce phénomène touche les exploitations de 10 à 50 hectares.

Il s'agit là, entre autres, d'une des premières conséquences de la PAC, Politique Agricole Commune, mise en place en 1958. Parallèlement à l'intensification et la spécialisation des productions et à une mutation de la structure des exploitations, les toutes petites exploitations de fond de vallées disparaissent, alors que les grandes fermes des plateaux s'agrandissent davantage.

Les modifications de la PAC, comme l'introduction de la jachère obligatoire en 1992, apportent de nouveaux changements. En apparence, ils sont de petite ampleur puisque les surfaces concernées ne représentent que 10 % de la SAU de l'exploitation. Pourtant, de nouvelles cultures sont introduites dans les assolements (le lin oléagineux pour peinture et linoléum ou le colza, dans le cadre de la jachère courte) ou des parcelles sont retirées de l'exploitation (jachère longue). En fait, la monopolisation de surfaces par la jachère entraîne une concentration des rotations sur les parcelles cultivées : les pommes de terre et les betteraves reviennent plus fréquemment dans les plans d'assolement (1ère Partie, II - 3 - 2 -2).

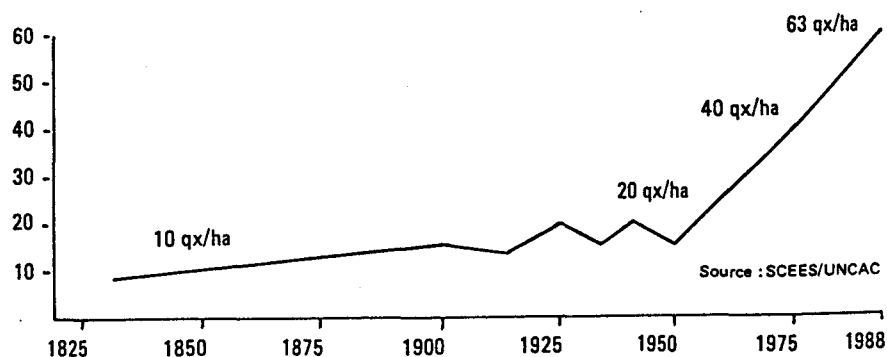
Globalement, les cultures-piliers du siècle dernier sont restées les mêmes - blé et betteraves -, en revanche, les cultures associées ont totalement été modifiées, parallèlement au renouvellement complet de l'outillage agricole ancien. Mais ce ne sont pas là les seules évolutions, les pratiques de fertilisation se sont elles aussi modernisées.

I - 1 - 5 - 2 - Une consommation d'engrais et de produits phytosanitaires croissante : la garantie d'une production régulière et de qualité

La fertilisation des sols par des apports d'engrais est une pratique très ancienne dans la région (BRUNET, 1960 et annexe 1). Suite à la crise grave de 1880, les prix du blé ne remontent pas, la seule solution est d'accroître les rendements, ce qui s'amorcera en 1900 (1ère Partie, II - 3).

La course vers de meilleurs rendements sera facilitée par l'apparition des premiers traitements herbicides. Dès 1926, la Société des Engrais de Soissons conseille des traitements contre les mauvaises herbes dans les blés et les avoines. Le nitrate de cuivre - relativement coûteux -, l'acide sulfurique - moins cher mais dangereux à l'utilisation -, la nitrocuprine, la cyanamide et bien d'autres se succèdent (J. C. Doncoeur, comm. orale, 1994). Mais il faudra attendre les années 1970 pour voir apparaître et se généraliser les produits phytosanitaires tels que nous les connaissons actuellement. Très rapidement adoptés, ces produits vont totalement révolutionner les pratiques culturales et les rendements. D'ailleurs, ces derniers évoluent parallèlement au progrès des traitements, en particulier pour le blé (fig. ci-dessous).

Figure I - 1 - 5 - 2 - a : Evolution du rendement du blé en France (SNIE)



A l'heure actuelle, le recours à des engrais et à des produits phytosanitaires est la garantie d'une production régulière, de qualité et abondante (MY, LORELLE, 1988). Partout en France, la consommation de ces produits a connu un accroissement spectaculaire dans les années 1970 et connaît depuis un tassement (tab. ci-dessous).

Tableau I - 1 - 5 - 2 - a : Evolution de la consommation d'engrais azotés en France depuis 1961 en kg/ha (Anonyme, 1986, Pollution des eaux par les engrais et les pesticides, OCDE)

	Consommation d'engrais azotés en kg/ha
1961	22,3
1966	29,3
1968	37,5
1971	46,7
1973	56,5
1976	56,6
1978	62,1
1979	67,1
1981	69,6

La France n'est pas le plus gros consommateur d'engrais NPK, mais elle n'est pas non plus le moindre. Quelques chiffres très globaux mais qui donnent un ordre de grandeur peuvent être cités. Loin derrière les Pays-Bas, le Japon et le Danemark qui sont les plus gros consommateurs d'engrais azotés (236,9 à 129,8 kg/ha) et loin devant l'Australie et le Canada (0,5 et 13,8 kg/ha), la France consomme 69,6 kg/ha d'engrais azotés (Anonyme, 1986, Pollution des eaux par les engrais et les pesticides, OCDE).

Si la consommation nationale a connu une croissance spectaculaire, ce n'est pas le cas de celle de l'Aisne qui a été relativement constante. Dans ce département, la consommation a été très tôt au dessus des moyennes nationales (tab. I - 1 - 5 - 2 - b, ci-après). Ainsi depuis les années 1970, la consommation moyenne de la France tend à rattraper celle de l'Aisne.

Tableau I - 1 - 5 - 2 - b : Evolution de la consommation en engrais simples N, P et K en France, en Picardie et dans l'Aisne (Thiollet, comm. écrite 1993).

	FRANCE				PICARDIE				AISNE			
	N	P	K	NPK	N	P	K	NPK	N	P	N	NPK
1972-73	57	72	56	185	97	101	94	292	108	107	93	308
1986-87	89	49	65	203	142	63	94	299	107	62	84	254
1987-88	89	49	65	202	142	54	91	287	112	50	79	241
1988-89	91	51	67	208	140	62	101	303	109	49	92	249
1989-90	95	53	70	218	160	72	102	334	128	53	99	280
1990-91	89	48	66	204	146	69	104	318	97	50	95	242
1991-92	92	45	63	200	149	62	96	308	106	45	91	241

Depuis les années 1980, on note une stabilisation générale des consommations (N et engrais composés NPK), voire une baisse pour P et K (tab. ci-dessus). Cette tendance s'applique aussi à l'Aisne où l'on observe un maintien des ventes en N et en K, une baisse de celles en NPK et une forte baisse de celles en P. Pour des facteurs économiques principalement (coût des engrais) et écologiques secondairement, les agriculteurs s'orientent plus vers une meilleure utilisation des produits. On joue sur la composition (choix sous formes solide ou liquide selon la date d'épandage) et sur le mode d'apport (fractionné dans le temps en fonction des besoins de la culture). Par exemple pour le blé, les 180 unités nécessaires, peuvent être apportées en 4 fois : successivement de février à mai 80, 40, 20 et 20 uN/ha. Le premier apport est le plus souvent solide, les suivants sont liquides.

Parallèlement à ces augmentations de consommation d'engrais minéraux, l'utilisation de fumier d'animaux a très fortement reculé en Picardie et, bien souvent, elle a disparu du fait de la séparation générale de la production animale et végétale. Cette disparition a eu essentiellement deux conséquences : d'une part un plus fort entraînement par ruissellement et lessivage des engrais azotés synthétiques qui sont plus solubles que les engrais azotés organiques (l'azote organique se transforme lentement en nitrates), et d'autre part, une baisse de la teneur en humus, et donc une diminution de la fertilité à long terme.

Cependant les apports organiques sont encore très présents, mais sous des formes plus variées. En Picardie, où la culture de la betterave est largement répandue, on utilise les vinasses de sucrerie ("Dans la betterave, tout se transforme, rien ne se perd"), mais aussi des apports de champignonnières, "les corps de meule" (la Picardie est la seconde productrice de champignon après la Touraine) et les boues provenant de différentes industries locales (1ère Partie, II - 3 - 3). Une expérimentation détaillée serait nécessaire pour comparer les valeurs agronomiques de chacun de ces amendements.

En ce qui concerne les produits phytosanitaires (terme préféré aujourd'hui à celui de pesticide^(*)), la France avait, en 1988, le troisième marché mondial en volume derrière les Etats-Unis et le Japon et le second en valeur derrière les Etats-Unis. En moyenne, on utilise 4 à 5 kg de pesticides à l'hectare en France (37,7 % de fongicides, 38,2 % d'herbicides, 15,6 % d'insecticides et 8,5 % de produits divers) (SILVY, 1992). Les cultivateurs de céréales et de grandes cultures sont les moins gros investisseurs (600 à 700 francs par ha) en comparaison aux maraîchers et arboriculteurs (plus de 1500 francs par ha) et aux viticulteurs 1 000 à 1 800 francs). Ce qui ne veut pas dire que ce sont les moins gros consommateurs puisque en volume d'achat, les consommations se répartissent ainsi :

	Volume d'achat de produits phytosanitaires
céréales	42 %
vigne	18 %
oléagineux	10 %
maïs	8 %
betterave	7 %
vergers	3 %
autres	12 %

(*) Pesticide : anglicisme apparu dans les années 1960, formé de "pest" (insecte ou plante nuisible en anglais) et du suffixe "-cide" (d'origine latine "coeder", tuer).

Cependant peu de chiffres existent sur ces consommations (SILVY, 1992 ; MY, LORELLE, 1988). De plus, les inventaires sont particulièrement complexes en raison de la variété des produits, de la diversité des fabricants et de la multitudes des utilisateurs. En France, on dénombre environ :

- 10 000 spécialités commercialisées,
- 700 à 800 matières actives différentes,
- 500 à 600 spécialités nouvelles par an,
- 15 à 20 matières actives nouvelles par an.

Sur les sites étudiés, soit environ 230 hectares cultivés par six exploitants, on a recensé sur 5 cinq ans 96 produits et 116 matières actives. On relève en fait peu de matières actives en proportion du nombre de produits cités, car fort heureusement pour une culture donnée les matières actives restent sensiblement les mêmes d'une année à l'autre. De plus, les agriculteurs demeurent assez fidèles aux produits qui ont fait leur preuve.

Comme pour la consommation d'engrais minéraux, l'utilisation de produits phytosanitaires a d'abord connu une forte augmentation. En céréaliculture, la part de la consommation en produits phytosanitaires a plus que doublé de 1970 à 1986. Mais le coût de ces produits reste relativement modéré car il ne représente que 9 % des frais des charges d'exploitation contre 15 % pour les engrais (SILVY, 1992). Puis en 1991, on note pour la première fois une baisse des achats en engrais et en produits phytosanitaires qui témoigne d'un changement de comportement dans l'agriculture. Le coût des produits limite les applications. En particulier, les nouveaux produits souvent plus efficaces et plus sélectifs sont aussi plus chers. L'agriculteur motivé par le coût de revient fait attention aux doses d'application et par là-même diminue les risques de pollution.

Aujourd'hui, la tendance est donc à la stabilisation des consommations, mais pas à la diminution. De fait, l'utilisation de ces produits a entraîné une augmentation spectaculaire des rendements, croissance qui a été encore plus prononcée sur les grandes exploitations du plateau (1ère Partie, II - 3 - 1 - 4). Une baisse de la consommation, assimilée à un retour en arrière, est difficile à faire accepter.

Les apports régionaux apparaissent considérables (tab. I - 1 - 5 - 2 - c, ci-après - bases des calculs en annexe 2) et une diminution reste difficilement envisageable sans revoir le système de production dans son ensemble.

Dans le meilleur des cas, les agriculteurs peuvent traiter avec pour objectif d'équilibrer au mieux le coût de production et le rendement. Ils pratiquent ce que l'on appelle le traitement "raisonné", c'est-à-dire prévention et traitement, mais juste ce qu'il faut et quand il faut (1ère Partie, II - 3 - 3 - 4). Il leur est difficile de réduire les traitements car le maintien du revenu de l'exploitation passe par le maintien de la productivité acquise au cours des décennies passées. Pourtant à l'heure actuelle, avec le gel des terres, la notion de rendement est souvent discutée.

Tableau I - 1 - 5 - 2 - c : Estimation des apports fertilisants et phytosanitaires au niveau régional d'après recoupement des données du RGA et des résultats d'enquêtes auprès des coopératives agricoles

	Département					
	Surface en ha (*)	N en t	P en t	K en t	Phyto en t P (**)	Phyto en t MA (***)
céréales	213682	38462	21368	21368	4274	1752
betteraves ind.	72700	9451	7270	13086	1090	363
maïs	30482	3658	3048	3658	640	73
pommes de terre	10068	1510	1007	2819	40	34
pois	35461	0	2128	4255	284	82

	Saint-Quentinois-Laonnois					
	Surface en ha (*)	N en t	P en t	K en t	Phyto en t P (**)	Phyto en t MA (***)
céréales	96396	17351	9640	9640	1928	790
betteraves ind.	40325	5242	4032	7259	605	202
maïs	8073	969	807	969	169	19
pommes de terre	3238	486	324	907	13	11
pois	17077	0	1025	2049	137	39

	Soissonnais					
	Surface en ha (*)	N en t	P en t	K en t	Phyto en t P (**)	Phyto en t MA (***)
céréales	43088	7756	4309	4309	862	353
betteraves ind.	17740	2306	1774	3193	266	89
maïs	6535	784	653	784	137	16
pommes de terre	4342	651	434	1215	17	15
pois	5944	0	357	713	48	14

(*) d'après AGRESTE, 1992

(**) P : produit commercialisé

(***) MA : matière active

I - 1 - 6 - Le bilan actuel de la situation agricole picarde

Malgré des exploitations de très grandes tailles, des rendements exceptionnels, une technologie de pointe, le tableau n'est pas si idyllique car il cache en fait de grandes disparités.

I - 1 - 6 - 1 - Un milieu en crise ?

Ces vingt dernières années ont été pour l'agriculture française une période de combat : 1975, la crise des trente glorieuses, puis la PAC, le GATT ("la grande désillusion"), le non à Maastricht, la réforme de la PAC, etc. Pourtant, des disparités importantes demeurent : le monde agricole est un système éclaté où les crises touchent beaucoup plus certaines régions agricoles que d'autres. Sur la base d'un indice moyen national de 100, le revenu agricole dans les différentes régions de France s'échelonne de 41 dans le Limousin à 240 en Champagne-Ardenne, en passant par 170 en Picardie. Ce chiffre très respectable de la Picardie cache en fait une situation très contrastée.

Pour illustrer les disparités, Denis Lefèvre (1993) évoque la cohabitation d'une petite exploitation de la vallée de l'Aisne avec ses quelques vaches, chacune portant le nom d'un créancier de la ferme, et les immenses exploitations sur le plateau proche du Chemin des Dames de plusieurs centaines d'hectares qui forment à elles seules un village. Au cours des dernières décennies, le nombre d'exploitations est passé de 43 000 (en 1955) à 24 000 (en 1988). "Depuis 20 ans, dit-on, une exploitation disparaît tous les trois jours" en Picardie (FIETTE, 1995). Plus de 60 % des agriculteurs de plus de 50 ans pensent ne pas avoir de successeur (ANONYME, 1993, La Picardie, verdure dans l'âme). La Picardie et l'Aisne souffrent aussi d'une diminution de la SAU, Surface Agricole Utilisée, (tab. I - 1 - 6 - a, ci-dessous), alors que l'ensemble des grandes productions reste inchangé. Ce sont surtout les STH, surfaces toujours en herbe) qui sont affectées par ces baisses. On estime à 105 000 ha leur superficie actuelle dans l'Aisne contre 120 000 ha lors du dernier recensement (DDAF de l'Aisne, Service Statistiques).

La grande culture, bien que touchée par les difficultés (baisse du prix des terres depuis 1980, "terres gelées", après les années de productivisme, difficultés d'accepter la jachère et les autres freins de production), est en grande partie épargnée par la crise qui remue le monde agricole.

I - 1 - 6 - 2 - Environnement et agriculture : une cohabitation difficile ?

Les années de productivisme ont été à l'origine de pratiques bien peu favorables à l'environnement. Et depuis quelques années, les agriculteurs sont attaqués de toutes parts : ils sont traités de pollueurs ou de rétrogrades, et très largement accusés d'avoir porté atteinte à l'environnement.

Tableau I - 1 - 6 - 2 - a : Diminutions généralisées de la SAU et du nombre d'exploitation (AGRESTE, 1994)

	Picardie		Aisne	
	SAU en milliers d'hectares	Nombre d'exploitations	SAU en milliers d'hectares	Nombre d'exploitations
1970	1 378,7	33 106	507,2	10 705
1979	1 370,0	28 139	507,4	9 326
1988	1 355,9	24 054	503,8	8 285

Il y a eu la "saga des nitrates", toujours d'actualité, avec la prise de conscience de la pollution des eaux par cet élément fertilisant ; la dénonciation "des années bulldozer", suite à la disparition des haies en Bretagne liée aux remembrements excessifs. On a largement parlé de la pollution par les déjections des "méga-élevages" bretons. On évoque aujourd'hui "le sol en poussière". L'agronome Claude Bourguignon dénonce l'utilisation excessive des terres qui a conduit à des sols fatigués et des sols biologiquement morts (LEFEVRE, 1993). "Surexploitée, dopée par des cocktails d'engrais et de produits chimiques, malmenée par des engins de plus en plus lourds, la terre agricole se dégrade en France". Les causes avancées inlassablement sont la "suppression des haies et des talus lors des remembrements, la monoculture intensive sur de trop grandes parcelles, le passage répété de trop lourds engins agricoles" (C. V., 1987, Nos terre en péril sous l'oeil de SPOT, *Le Figaro*, 25 novembre 1987).

Quelle est la part de réalité et celle de l'exagération ? Quels sont les sols réellement concernés ? Qui sont les agriculteurs accusés ? Comment les agriculteurs perçoivent-ils ces accusations ? Comment acceptent-ils les études et les mesures dont ils sont parfois l'objet ? Beaucoup de questions sont posées et demeurent sans réponse (1ère Partie, I - 4).

Les agriculteurs accusés manifestent néanmoins la volonté de se constituer ferme expérimentale ou ferme pilote ou ferme "bio". On assiste aujourd'hui à une évolution des mentalités, certes partielle et locale. Mais il y existe prise de conscience de l'existence d'un patrimoine fragile et d'un environnement à protéger. Prise de conscience qui provient parfois d'un besoin de reconversion économique, d'une volonté de changement de l'image d'agriculteur-pollueur. Cette évolution semble être réservée "aux nouveaux architectes du pays" (LEFEVRE, 1993) sorte d'élite paysanne qui laisse présager à un "retour des paysans" avec de nouveaux objectifs et de nouvelles techniques.

Alors, on peut se poser la question quels sont les risques réels encourus par les terres cultivées ? Quel sont les sites les plus vulnérables et les plus maltraités ? Faut-il s'alarmer ? Quelles pourraient être les solutions ?

En Picardie, l'érosion des sols relève d'un constat bien réel, de même que la dégradation des eaux de surface et des eaux souterraines de la nappe de craie. Alors on peut se demander quel a été le rôle de l'agriculteur, quand, comment, combien et pourquoi ? A partir de quand les activités agricoles ont-elles eu une incidence néfaste sur les sols et sur les eaux ? Quels sont les processus de dégradations ? En quoi ont-ils contribué à cette détérioration ?

I - 1 - 6 - 3 - Deux points appellent donc à une attention toute particulière : la dégradation des sols et la pollution des eaux de surface

* les sols cultivés souffrent du phénomène répété d'érosion hydrique (aussi d'érosion éolienne, plus localisée et spécifique). L'érosion chronique l'hiver ou occasionnelle le printemps provoque des dégâts aux cultures et aux sols et perturbe les travaux agricoles.

* les eaux de surface et les eaux souterraines affichent des teneurs de plus en plus élevées en nitrates ou contiennent parfois certaines substances phytosanitaires. Pour les premières, la pollution est rapide, concentrée et occasionnelle (à la suite d'orages par exemple). Pour les secondes, elle est lente, progressive et persistante. Dans les deux cas, la nuisance est importante que ce soit la contamination des eaux souterraines, source d'alimentation en eau potable ou la perturbation de la qualité des cours d'eau.

Ces deux points sont en relation par le vecteur eau. L'eau de pluie provoque le ruissellement et l'érosion, elle entraîne sans grande différenciation substances solides et dissoutes vers les cours d'eau. Par percolation, elle transporte également des substances dissoutes vers les nappes. Ces deux problèmes sont traités dans les chapitres suivants, le premier sur l'érosion, le second sur la qualité des eaux.

I - 2 - Les sols - victimes du phénomène d'érosion

"Le sol est révélateur. Il est révélateur parfois en accentuant certains effets, dans d'autres cas en les retardant, mais il est très certainement révélateur de notre système de gestion globale de l'écosystème."

Sahuc P.

d'après les actes du Colloque UNIMATE "Le sol... cet inconnu mal traité ?",
2 octobre 1993, Toulouse

L'érosion est un phénomène de tout temps. Si l'on considère l'érosion à l'échelle des temps géologiques, elle a modelé les reliefs actuels. L'érosion à l'échelle des temps historiques, quant à elle, a apporté et apporte encore d'importantes nuances dans la nature des sols. Ainsi les défrichements et les mises en culture anciennes ont permis des dépôts de colluvions dans les talwegs (MAUCORPS, 1986), modifiant ainsi les textures des sols sur des épaisseurs non-négligeables. Actuellement, l'érosion hydrique et, dans une moindre mesure, l'érosion éolienne affectent un grand nombre de sols cultivés, ce qui n'est pas sans conséquence sur le potentiel agronomique de ces sols et sur les travaux culturaux.

I - 2 - 1 - L'érosion hydrique des sols : bilan des connaissances disponibles

L'érosion des sols par l'eau résulte du détachement des particules du sol sous l'action des gouttes de pluie et/ou du ruissellement, et de leur transport sur des distances variables (LUDWIG, 1992)

I - 2 - 1 - 1 - Les premières études de l'érosion : sous forte pluie

Les premières recherches menées sur l'érosion des sols ont débuté aux Etats Unis au début des années 1930. L'ouest du pays était alors frappé par l'érosion hydrique et l'est par une forte érosion éolienne. On se souviendra du célèbre Dust Bowl en 1929, relaté par le roman, puis le film de J. Steinbeck "Les raisins de la colère". Cette crise érosive a abouti à la célèbre formule de Wischmeier, l' "USLE" (Universal Soil Loss Equation) établie à partir de données recueillies sur des parcelles et des petits bassins expérimentaux. Le but de cette formule empirique est de prévoir les pertes par érosion de terre que l'on met en culture en fonction des données naturelles (R, S, L et K) et des données liées à l'utilisation du sol (C et P). (WISCHEMEIER, 1959 ; NEBOIT, 1983).

Depuis les recherches se sont concentrées dans des régions aux pluies de fortes intensités, essentiellement en région tropicale et méditerranéenne, mais aussi continentale (FOURNIER, 1960 ; ROOSE, 1981 ; NEBOIT, 1983 ; VOGT et AUZET, 1989), ainsi que dans des régions de vignoble ou de fortes pentes (HENIN, GOBILLOT, 1950 ; AUZET, 1987a ; LILIN ET PAULET, 1978 ; LILIN, 1993a ; LILIN, 1993b). Les travaux sont aussi nombreux sur les sols cultivés des collines limoneuses de Belgique (BOLLINNE, 1982) et les sables limoneux d'Angleterre (MORGAN, 1980).

Dans le nord-ouest de l'Europe, c'est plus de 25 millions d'hectares qui sont touchés ou menacés par l'érosion (WICHEREK, 1994).

I - 2 - 1 - 2 - L'érosion dans le nord du Bassin Parisien : un phénomène ancien et une aggravation récente

L'érosion des sols cultivés est un phénomène ancien qui est probablement apparu dès la mise en culture de ces terres. D'ailleurs, dans tout le nord-ouest de l'Europe, plusieurs périodes érosives se sont succédées depuis le Moyen-Age (BORK, 1989 ; VOGT, 1957 ; POITRINEAU, 1965).

Pourtant, l'étude de cette érosion est récente. Suite aux premiers constats, à partir de la fin des années 1950 (LEFEVRE, 1958), la prise de conscience de la part du monde scientifique et la mise en place d'études ne se sont faites qu'à la fin des années 1970 (VOGT et VOGT, 1979).

Il semblerait que l'érosion ait pris de l'ampleur à la fin des années 1950, dans le Bassin Parisien (MORAND, 1979 ; MORAND et WICHEREK, 1987 ; MAUCORPS, 1982 ; MONNIER et al, 1986 ; LHENAFF, 1986 ; MASSON, 1987, WICHEREK, 1990), en Belgique (BOLLINNE, 1982 ; DE PLOEY, 1986) et en Grande Bretagne (BOARDMAN, 1983). Il faut pourtant souligner les conditions modérées de topographie et de climatologie de ces régions (PIHAN, 1979 ; LILIN, 1993a).

Toutefois, si l'on se réfère au seuil de tolérance de 11 t/ha/an (quantité maximale d'érosion tolérable) fixé par le Soil Conservation Service américain, le taux d'érosion en Europe semble modéré. De plus, Hénin (1979) estime à 10 % seulement la surface du territoire français souffrant d'érosion (ce chiffre paraît faible en proportion des références bibliographiques répertoriées). Dans le nord de la France, on observe des figures d'érosion sur toute la zone limoneuse du Nord et du Nord-Est : Nord-Pas-de-Calais, Picardie, Haute-Normandie, Champagne, nord de la Lorraine et de l'Alsace (LILIN et PAULET, 1987 ; AUZET, 1987a, 1987b). Cette érosion relève de plusieurs processus et correspond à différentes figures.

I - 2 - 1 - 3 - Les processus élémentaires de l'érosion hydrique

* l'érosion "directe"

Les particules de sol peuvent être arrachées directement sous l'impact des gouttes de pluie, c'est le "splash". Elles sont ensuite transportées vers le bas de la pente. Toutefois, ce processus est considéré comme négligeable sur les sols limoneux du nord-ouest de l'Europe (BOLLINNE et al, 1978 ; WICHEREK, 1989).

Les particules peuvent aussi subir une reptation lente sous l'effet conjugué de la pesanteur et des variations de volume du sol, c'est le "creep". Son action est négligeable sur ces mêmes sols (PISSART, BOLLINNE, 1978).

* l'érosion consécutive au ruissellement

L'eau non-infiltrée ruisselle, se concentre et atteint une force suffisante pour entraîner des particules de sol. L'apparition du ruissellement reste tributaire de seuils, particulièrement d'intensités de pluie, d'humidité initiale des sols et de taux de couverture végétale. "Le ruissellement n'obéit pas à des règles mathématiques simples, il relève [...] du jeu complexe de facteurs qui font varier, avec le temps, la capacité d'absorption du sol au gré des événements climatiques eux mêmes" (NEBOIT, 1983).

I - 2 - 1 - 4 - Deux situations particulièrement fréquentes de formation du ruissellement à évoquer.

* La saturation en eau de l'horizon de surface

Dès que l'intensité de la pluie dépasse l'infiltrabilité de l'horizon superficiel du sol, on parle de "saturation par le haut" (HORTON, 1933) qui entraîne un ruissellement. Les écoulements qui se forment sont diffus ("ruissellement en nappe") ou puis concentrés (canalisés).

Par contre, la saturation par le bas jusqu'à la surface du sol (CAPPUS, 1960 ; COSANDEY, 1990, 1993) est peu susceptible de se produire dans ces sols du Bassin Parisien qui sont, en général, bien drainés et où les pluies sont modérées.

Le ruissellement selon le modèle hortonnien est fortement favorisé par un état de surface dégradé tel que l'on peut en trouver dans des sols limoneux (BOIFFIN et al, 1988). Cet état dégradé du sol est appelé battance.

* La battance

Sous l'impact des gouttes de pluie, les particules du sol sont mobilisées et déplacées par le rejaillissement ("splash"). Elles se réorganisent et forment une surface lisse limitant l'infiltration et favorisant la formation du ruissellement (croûte dite de "battance", largement décrite par BOIFFIN, 1984 et 1989, LE BISSONNAIS, 1988, fig. I - 2 - 1 - 4 - a). Ce phénomène concerne plus spécifiquement les sols limoneux (fig. I - 2 - 1 - 4 - b, ci-après) et entraîne une imperméabilisation de la surface.

Figure I - 2 - 1 - 4 - a : Evolution de la surface du sol vers la croûte de battance sous l'effet de la pluie (BOIFFIN, 1984)

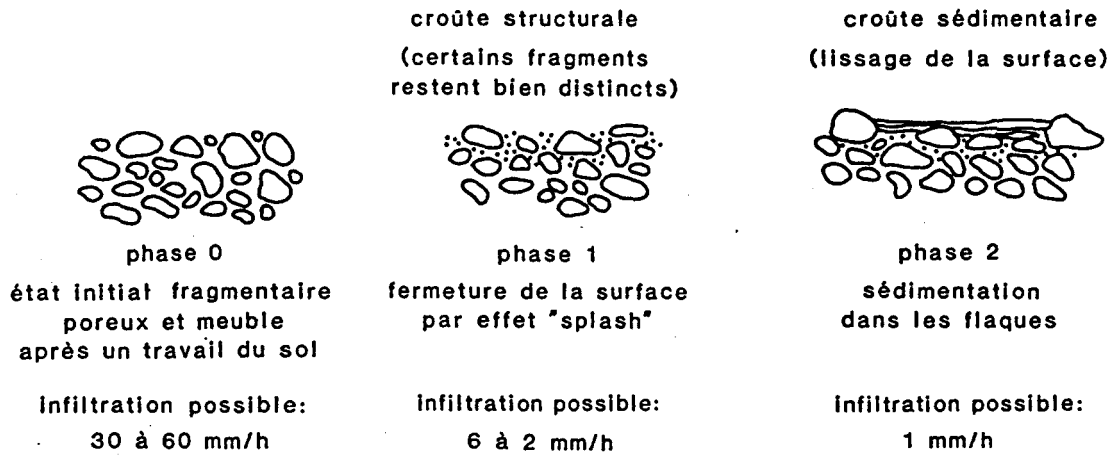
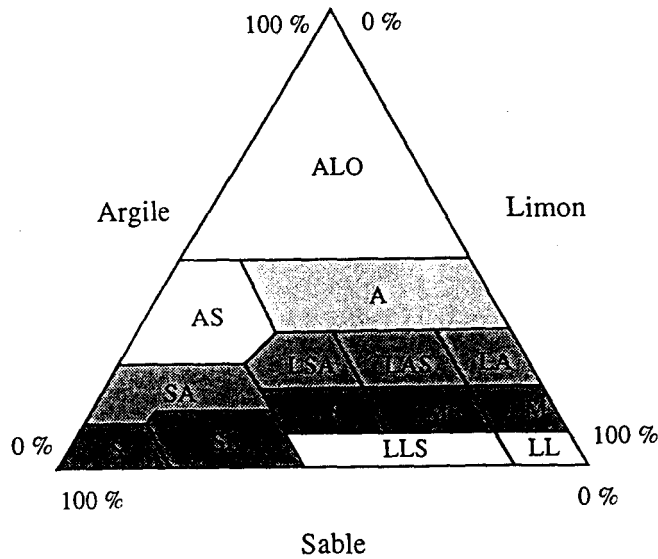





Figure I - 2 - 1 - 4 - b : Triangle des textures et sensibilité des sols à la battance (LUDWIG, 1992)

Classement des textures selon leur susceptibilité supposée à emmettre du ruissellement



-  susceptibilité faible
-  susceptibilité moyenne
-  susceptibilité forte

Le ruissellement ainsi favorisé peut, par sa force, arracher des éléments fins du sol ("érosion en nappe") et creuser des rigoles et des ravines ("érosion concentrée", BOIFFIN et al, 1988).

L'eau est guidée par les pentes, les dérayures, les lignes de culture, les "collecteurs" formés par les traces de roues des engins agricoles ou les fourrières (transferts élémentaires). Elle se concentre dans les talwegs et son pouvoir érosif peut s'accroître.

L'écoulement se propage jusqu'à l'exutoire. Le flux, plus ou moins puissant, peut éroder ou redéposer alternativement en fonction des "relais" rencontrés sur son parcours : rupture de pente, obstacles, etc. Les sédiments déposés peuvent être remis en suspension ultérieurement (transferts secondaires) et de nouveau être redéposés.

I - 2 - 1 - 5 - L'érosion hydrique dépend essentiellement de trois facteurs naturels

Il s'agit de l'agressivité des précipitations (érosivité), de la vigueur de la topographie et de la sensibilité du sol (érodibilité).

* L'intensité, la durée, la fréquence et la date des précipitations

Il semble que l'agressivité des pluies ne soit réelle qu'à partir d'un certain seuil - certains auteurs citent 25 mm/h (HUDSON, 1963) - et qu'à partir d'une durée suffisante pour permettre la dégradation préalable de la surface du sol par exemple le gonflement des argiles ou l'humectation des agrégats.

Mais l'état préalable du sol est aussi primordial. Les antécédents d'une averse (pluie, sécheresse, etc.), les changements d'état physique induits par ces antécédents (battance et humidité) modifient considérablement le degré de perméabilité du sol. Le ruissellement lui-même peut les modifier. Il faut insister sur le fait que l'intensité des pluies devient un facteur prépondérant en l'absence de couvert végétal ou en présence d'un couvert réduit. La date de la pluie, qui peut intervenir alors que le couvert végétal est absent, peu développé ou important, est un paramètre influent.

* La forme, la longueur et l'inclinaison des versants

Il existe une relation entre la pente, le débit et la vitesse d'écoulement. Plus la pente est forte, moins l'eau a le temps de s'infiltrer et plus elle s'écoule vite.

Le micro-relief du sol peut diminuer le ruissellement (effet frein de la rugosité). Cette capacité de rétention s'accroît alors que la pente s'allonge et que son inclinaison diminue (PEYRE et al, 1988, STEFANO, 1993).

Des traces d'érosion peuvent apparaître pour des pentes très modérées. A partir d'1 ou 2 % des incisions peuvent se former. Sur des pentes de 4 à 5 %, on peut observer soit une érosion en nappe, soit une érosion linéaire si l'eau se concentre (VEYRET, WICHEREK, 1992). "En région limoneuse, les pentes sont généralement comprises entre 5 et 7 %, mais la longueur des pentes supérieures à 2 % dépasse rarement 100 mètres. Des pentes de cet ordre (2%) ne sont pas particulièrement exposées à l'érosion" (WISCHMEIER, SMITH, 1965 in STEFANO, 1993).

Des pentes convexes, régulières, peu longues (quelques centaines de mètres), assez douces (3 à 5 °), sans rupture favorisent les écoulements et la prise de vitesse des eaux. A l'inverse, les pentes concaves ralentissent les écoulements en bas de versant. Quant aux replats, ils provoquent des atterrissements.

Très souvent, les larges surfaces planes, grands impluviums, sont reliées à de fortes pentes, notamment en bordure de plateau. La brusque rupture entraîne une prise de puissance de l'écoulement qui dévale le coteau vers le village (VEYRET, WICHEREK, 1992).

Si la longueur des pentes est souvent considérée comme un facteur aggravant de l'érosion, ce fait est pourtant controversé selon les auteurs. Wischmeier (1959) insiste dans sa formule sur la longueur de la pente : le débit liquide et la charge augmente avec la longueur de la pente. De Ploey (DE PLOEY et al, 1976) affirme que l'écoulement et sa charge n'augmentent pas régulièrement, ni même nécessairement avec la distance. Il faut donc nuancer : "L'érosion augmente avec la longueur et l'inclinaison de la pente" dans le cas de pente de 10 à 30 m et de 3 à 25 % (BOLLINNE, LAURANT, 1983).

En condition réelle, sur bassin versant, la pente est beaucoup plus longue ; son inclinaison varie. En conséquence, la charge est extrêmement fluctuante.

* La structure et la texture des sols : stabilité et capacité d'infiltration

La couverture pédologique intervient, d'une part, sur la formation du ruissellement (capacité d'infiltration et de rétention à la surface du sol) et, d'autre part, sur les processus d'arrachement (stabilité structurale, cohésion des particules).

Il faut donc considérer la nature du sol, mais aussi sa distribution dans l'espace (il est rare qu'un bassin versant ne possède qu'un seul type de sol).

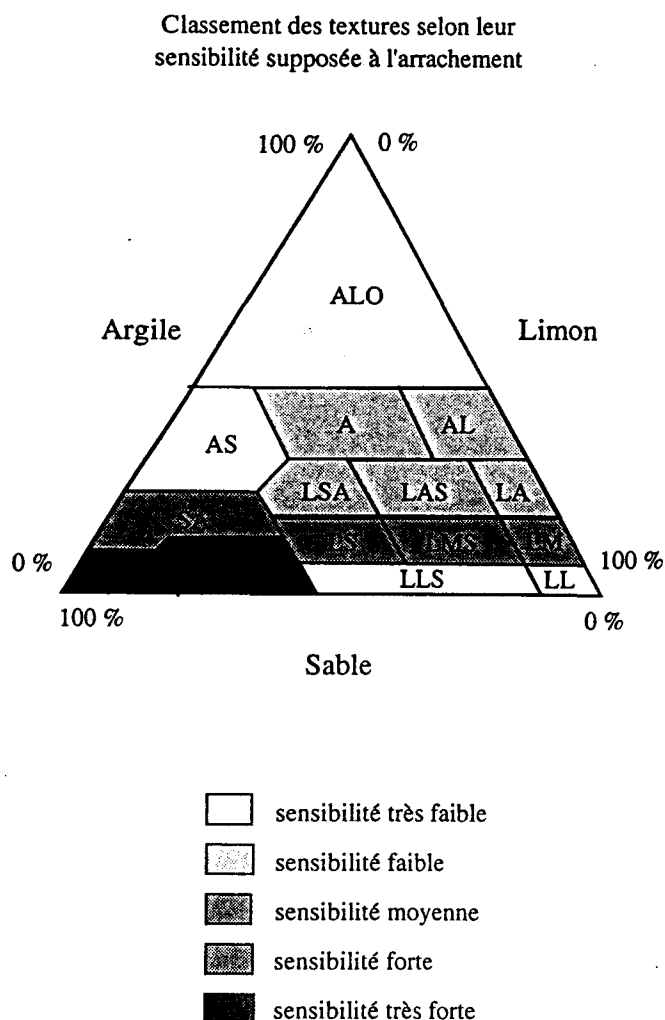
La résistance d'un sol dépend à la fois de sa texture, de sa structure, de sa richesse en matières organiques, de son humidité initiale (BOIFFIN, 1984 ; RAHELIARISOA, 1986) et de son activité biologique.

- La texture du sol

La texture, c'est-à-dire la proportion en sables, limons et argiles du sol, agit sur le ruissellement en influençant l'infiltration des eaux de pluie. Les sols de texture fine sont généralement favorables au ruissellement (faible infiltration liée aux déplacements rapides des particules très légères qui colmatent la surface et diminuent la perméabilité du sol : phénomène de battance décrit ci-dessus). Plus un sol est compact, plus l'infiltration diminue. C'est le cas des sols limoneux et argilo-limoneux, mais pas toujours celui des sols argileux. Ces derniers sont plus stables car les particules argileuses jouent un rôle de " ciment " que lie les agrégats.

La texture peut varier en profondeur, mais c'est uniquement la texture de surface (0-30 cm) qui intervient dans la formation du ruissellement, ainsi que sur la résistance des sols à l'incision (fig. I - 2 - 1 - 5 - a, ci-après).

Figure I - 2 - 1 - 5 - a : Triangle des textures et sensibilité des sols à l'incision



- La stabilité structurale

La stabilité structurale dépend essentiellement de la teneur en matières organiques (fig. I - 2 - 1 - 5 - b, ci-après).

Les sols riches en humus et en argile offrent la meilleure résistance à l'érosion en raison de leur forte stabilité structurale. En effet, de fortes teneurs assurent une bonne capacité de résistance des agrégats (BRYAN, 1968, 1974), l'humus jouant le rôle de "ciment". La mise en culture apparaît susceptible de sensibiliser les sols, car elle "consomme" de l'humus. Il revient à l'agriculteur de le renouveler.

Notons au passage que Monnier et Stengel parlent de "fertilité" physique du sol (1982) pour évoquer la capacité du sol à résister aux agressions. Ce terme n'est donc pas forcément réservé aux facteurs agronomiques.

Figure I - 2 - 1 - 5 - b : Interaction entre texture, matières organiques et stabilité structurale (d'après MONNIER et STENGEL, 1982)

SOL	Teneur en Argile (%)	Teneur seuil en MO (%)	Stabilité d'origine texturale	Stabilité en présence de MO (1%, 2%, 3%, 4%)			
SL	8	0,6	passable	stable	très stable	très stable	très stable
L	15	1,05	très instable	très instable	très instable	instable	passable
LA	25	1,75	instable	instable	instable	passable	passable
AA	50	3,5	stable	stable	stable	stable	très stable

Le potentiel érosif dépend largement de la teneur en matières organiques et de la granulométrie. Il croît avec le pourcentage d'argile et décroît avec le pourcentage de matières organiques (MAUCORPS, 1990).

Les sols à texture grossière comme les sables sont peu sensibles car leur perméabilité est élevée. Cependant en présence de fortes intensités, ils deviennent vulnérables car ils ne possèdent pas une cohésion suffisante.

Quant aux particules limoneuses, ce sont les plus sensibles, car facilement mobilisables, en particulier lorsque les teneurs en matières organiques et en argile sont faibles.

- L'état hydrique du sol

Au début d'un événement pluvieux, l'état hydrique du sol a une large importance. Par exemple, l'érodabilité du sol augmente avec son état de sécheresse (DELAHAYE, 1992). A l'inverse, dans un sol antérieurement humidifié et d'humidité continue, l'infiltration est favorisée. Parallèlement, dans un sol argileux, l'humidité entraîne le gonflement des argiles qui bouchent les canaux de circulation et ralentissent l'infiltration. Pourtant plus la teneur en eau du sol est importante, moins la résistance des agrégats est forte. Ces agrégats jouent un rôle important, car ils réduisent la vitesse de formation des croûtes de battance et ainsi le transfert d'éléments fins par ruissellement.

Ainsi, le précédent pluvieux (pluies cumulées sur plusieurs jours) permet souvent d'évaluer "l'histoire hydrique du sol", c'est-à-dire son niveau d'humidité et son état en surface.

On notera que dans le département de l'Aisne, la répartition des sols présente certaines caractéristiques récurrentes. Généralement sur les bassins versants, on observe une dissymétrie de la couverture pédologique liée à une érosion ancienne (MAUCORPS, 1986). Les versants exposés à l'Est ou au Sud-Est présentent des sols plus crayeux, moins riches en limons loessiques et donc moins sensibles à la battance. Toutefois, ces sols moins épais sont plus sensibles à l'érosion. Par exemple dans le bocage du Calvados, les surfaces les plus touchées par l'érosion sont celles où le sol est en pente et plus mince, car le sol est très facilement saturable en eau (DELAHAYE, 1992).

I - 2 - 1 - 6 - Le vent, facteur érosif et facteur aggravant de l'érosion hydrique

Le vent constitue à lui seul un facteur érosif, en l'absence de couverts protecteurs ou de boisements. La force du vent permet d'entraîner les particules situées à la surface du sol par "traînée" ou par "portance" ou de les déplacer par "saltation". Les particules les plus mobiles sont celles dont le diamètre est compris entre 0,1 et 0,5 mm. Celles de 0,5 à 2 mm de diamètre sont roulées. Grâce aux ascendances de l'air, les particules prises en charge peuvent s'élever très haut et être véhiculées très loin. On peut rappeler le célèbre exemple du Dust Bowl aux USA : le 12 mai 1934, une grande tempête de poussière s'étend sur New-York et Washington. Elle avait pris naissance dans les champs du Kansas, du Texas et de l'Oklahoma, à des milliers de kilomètres. Elle aurait enlevé 300 millions de tonnes de sol aux grandes plaines, soit un taux de dégradation de 350 t/km². Autre exemple, de 1962 à 1965, dans les terres vierges du Kazakhstan, l'érosion éolienne aurait dégradé 17 millions d'hectares (NEBOIT, 1983).

Le couvert végétal est un facteur décisif dans la limitation de cette érosion. Par exemple, un vent de 10 m/s à 30 cm du sol, passe à 7 m/s à 1 cm sur sol nu et à 3,5 m/s sur chaumes. Suivant l'état du sol, les pertes par déflation peuvent varier de 1 à 10 (GUYOT, 1969).

Qualitativement, les pertes par érosion éolienne sont graves car elles concernent les éléments minéraux fins et les matières organiques : les sols s'appauvrissent, privés de leurs éléments utiles.

Dans le nord du Bassin Parisien, les effets de l'érosion éolienne ne sont pas spectaculaires. Cependant, ils ne sont pas tout à fait négligeables, car ils sont évalués à environ 8 % de l'érosion totale (WICHEREK, 1989).

Le vent est aussi un facteur aggravant de l'érosion hydrique (essentiellement de l'érosion aréolaire). En accélérant l'assèchement de la surface, il favorise la constitution d'une croûte structurale qui facilite la formation du ruissellement et donc l'érosion, en limitant les infiltrations d'eau de pluie.

Le vent n'est pas le seul facteur climatique pouvant intervenir sur l'érosion hydrique. D'autres agents comme la neige et le gel (fissuration du sol et fragmentation des mottes facilitant les infiltrations), ou encore l'ensoleillement (assèchement de la croûte de battance et accentuation de sa dureté, fissuration, etc.) l'influencent.

I - 2 - 1 - 7 - Le facteur anthropique

Le facteur anthropique peut être un élément aggravant ou protégeant de l'érosion selon les cas. Certaines pratiques culturelles comme les passages de machines trop lourdes ou le travail du sol dans le sens de la pente favorisent l'érosion. Le ruissellement est souvent amorcé par des traces d'engins qui constituent des collecteurs : de la simple empreinte de roue aux ornières et aux fourrières.

Les chemins de terre, les routes ou les talus destinés à lutter contre l'érosion recueillent les eaux de ruissellement, mais ils peuvent aussi alimenter en eau des talwegs et creuser des rigoles et des ravines.

Les traitements que l'homme apporte au sol, comme les labours, améliorent temporairement la perméabilité, mais créent en parallèle une semelle de labour (induration du sol à 30-35 cm de profondeur conséquence d'un travail trop superficiel) qui gêne l'infiltration en profondeur.

La couverture du sol, liée à l'assolement, exerce en général une action protectrice (VEYRET, WICHEREK, 1992) sauf lorsqu'ils s'agit de certaines cultures de printemps et, particulièrement, de plantes sarclées (PISSART, BOLLINNE, 1978).

Les actions de l'homme peuvent donc être antagonistes : "l'homme devient facteur d'érosion parce qu'il favorise le ruissellement au dépend de l'infiltration" (NEBOIT, 1983). Mais il devient aussitôt après facteur limitant du ruissellement lorsqu'il facilite l'infiltration par travail du sol.

Dans tous les cas, l'homme est un agent modificateur des effets des facteurs directs de l'érosion (pentes et sols, facteurs figés) puisqu'on peut modifier les pratiques culturales, les assolements, la taille des parcelles, mais pas l'inclinaison d'un versant (excepté lors de la mise en place de rideaux) ou la texture d'un sol.

En général, il accélère les processus d'érosion des milieux naturels initialement plus stables, puisqu'il s'immisce tant au niveau de l'érosion aréolaire (occupation du sol, mise en culture : augmentation des surfaces soumise à la pluie) que de l'érosion concentrée (les aménagements de surface).

Tous ces facteurs d'érosion évoqués - sol, topographie, homme - interviennent de façon plus ou moins prononcée sur les processus érosifs et induisent différentes formes d'érosion. Ils sont tantôt associés, tantôt concurrents.

* La présence d'un couvert végétal

Les mécanismes de transport sur les versants sont étroitement dépendant de la végétation. Tout d'abord, la densité du tapis végétal intervient sur l'interception et l'infiltration des eaux pluviales, et donc sur le volume du ruissellement. Ensuite, les plantes, en introduisant une certaine rugosité, provoquent une déperdition d'énergie considérable. En effet, le déclenchement de l'érosion résulte d'une dominance des forces de tractions (de l'eau) sur celles de résistances (des particules du sol). Les forces de tractions sont liées à l'écoulement de l'eau, les forces de résistances dépendent de la cohésion des particules du sol (structure du sol). La végétation contrôle conjointement ces deux forces. Enfin, un tapis végétal dense augmente la stabilité du sol et des parois ravines en formation (DE PLOEY, 1991).

Le rôle du couvert végétal n'est pas toujours évident. En effet, la couverture des sols par les plantes cultivées est très variable dans le temps et la sensibilité à l'érosion évolue en parallèle. Par exemple, l'efficacité d'une protection hivernale par les engrais verts est fonction des dates et des conditions de mise en place (MAUCORPS, 1990).

* Les caractéristiques du système agraire

- L'organisation du territoire

Plusieurs éléments liés aux systèmes agraires vont intervenir sur l'écoulement des eaux tant dans la parcelle que d'une parcelle à la suivante.

La taille, la forme et le sens de culture d'une parcelle conditionnent le volume et la rapidité du ruissellement (rapport longueur/largeur, superficie, comparaison de l'orientation, de la plus forte pente et du sens de culture). De plus, l'agencement des espaces cultivés (position par rapport à des bois, friches, jachères, prairies) est important, puisque l'existence d'une prairie ralentit le flux d'eau et limite l'érosion. De même, la répartition des parcelles sur un versant et surtout l'alternance des cultures dans l'espace peuvent ralentir le ruissellement (betteraves/blé/pois/maïs contre betteraves/pomme de terre). Les voies de communications (chemins goudronnés et donc imperméables) constituent d'excellents collecteurs. Les espaces imperméabilisés (fourrières, parking de stockage de betteraves ou de pommes de terre, tassés ou goudronnés...) favorisent la formation du ruissellement. A l'inverse, les séparations entre les parcelles comme les fossés, les haies, les bandes enherbées ou les talus augmentent les infiltrations.

- Les pratiques agraires

Les systèmes d'exploitation (choix des rotations des cultures) et les itinéraires techniques (ramassage des pailles ou non, déchaumage ou non, labour d'un chantier de récolte, passages d'engins sur sol gorgé d'eau qui se tasse, etc.) sont décisifs. De même, le sens de culture des parcelles et le couvert végétal (VEYRET, WICHEREK, 1992) qui résultent en partie du choix de l'agriculteur peuvent être défavorables. La croûte de battance et la semelle de labour (à 20-30 cm de profondeur) peuvent être favorisées par certaines pratiques qui diminuent la capacité d'infiltration de l'eau dans les sols et réduisent le temps précédant le ruissellement, comme un travail du sol trop fin ou l'utilisation de machines trop lourdes. Les traces de passages d'outils dans le sens de la pente favorisent le ruissellement et l'érosion (BOLLINNE, 1982).

Le couvert végétal, la présence de résidus (mulch), l'incorporation des résidus et les façons culturales constituent les principales variables qui entrent en interaction. Par exemple, les résidus enfouis par des labours profonds ont peu d'effets mécaniques favorables (sauf après les déchaumages). Par contre, l'effet existe à long terme puisqu'il se traduit par des changements dans la structure, la détachabilité, la densité et la teneur en matière organique, facteurs qui peuvent influencer l'érodibilité du sol (BOLLINNE, LAURANT, 1983).

Les traces de roues des engins agricoles façonnent des "collecteurs" qui deviennent rapidement des passages préférentiels lors de la concentration du ruissellement. Ceux-ci favorisent le ruissellement concentré plus érosif que le ruissellement diffus (BOLLINNE, LAURANT, 1983). D'un autre côté, si la compactation des différentes couches de sol facilite la genèse du ruissellement, elle constitue aussi un facteur de résistance à l'incision et au ruissellement (MAUCORPS, 1990). En effet, le creusement de ravine profonde est souvent stoppé par la semelle de labour trop compact pour être incisée. Des horizons durcis peuvent, en effet, entraver l'érosion verticale, mais cet effet est souvent compensé par une érosion latérale plus prononcée (DE PLOEY, 1991). Il existent aussi des conditions particulières de culture ou des changements de pratiques qui favorisent le ruissellement. Les parcelles en plasticulture, par exemple, ont une très forte capacité à ruisseler (environ 68 % de la surface est rendu imperméable par ce procédé, DELAHAYE, 1992). Dans le bocage du Calvados, après le remembrement, les parcelles sont restées petites, mais on a observé un fort débocagement et une augmentation des plantes annuelles peu couvrantes au dépens des STH (DELAHAYE, 1992).

Un calendrier présentant schématiquement l'occupation du sol, les états de surface, les passages de machine pour fertilisation, pour traitements phytosanitaires ou pour travail du sol est indispensable pour visualiser l'évolution des risques d'apparition d'érosion. En effet, la chronologie des opérations culturales, superposée à celle des événements climatiques, détermine dans des conditions

morphopédologiques données des états de surface plus ou moins propices au ruissellement et à l'érosion.

Dans des semis de betteraves et de céréales de printemps, le risque érosif est pendant plusieurs mois bien supérieur à celui d'une jachère nue (BOLLINNE, LAURANT, 1993).

Un couvert efficace apparaît dès avril pour les céréales d'hiver, en mai pour celles de printemps et seulement en août pour les betteraves. De ce fait, de juillet à août (période du maximum d'érosivité des pluies), les sols emblavés en céréales sont bien protégés, alors qu'en betteraves le risque d'érosion est important en juin et juillet (BOLLINNE, LAURANT, 1983).

La formation du ruissellement et l'apparition de traces d'érosion dépendent d'interactions complexes dans le temps et l'espace entre divers paramètres. Par exemple, la fermeture d'un sol (croûte de battance) à un moment donné résulte d'une culture donnée, suite à certaines pratiques, sur un certain type de sol conjointement à une pluie d'une certaine intensité. Autre exemple, les volumes ruisselés et les localisations des incisions sont fonction de la configuration (forme et taille) et de la localisation des parcelles aptes à ruisseler, ainsi que de la morphologie du bassin versant. Ces interactions, qui sont impossible à quantifier, donnent naissance à différentes formes d'érosion.

I - 2 - 1 - 8 - Les formes de l'érosion

Les processus élémentaires de détachement et de déplacement des particules solides se combinent de façons variées et se traduisent par différentes formes d'érosion qui sont décrites ci-dessous.

* L'érosion diffuse

L'érosion diffuse résulte d'un détachement des particules consécutif à l'action des gouttes de pluie sur le sol (ELLISON, 1945). Ces particules sont prises en charge par un ruissellement à caractère diffus qui n'est pas assez puissant pour inciser le sol.

Toutefois, cette érosion dite "en nappe" se traduit par le départ d'éléments fins, les plus mobiles, et en parallèle par la mise en saillie d'éléments grossiers (sables, graviers). Il faut souligner que le terme "en nappe" ne signifie pas que le décapage soit uniforme et régulier sur toute la surface érodée.

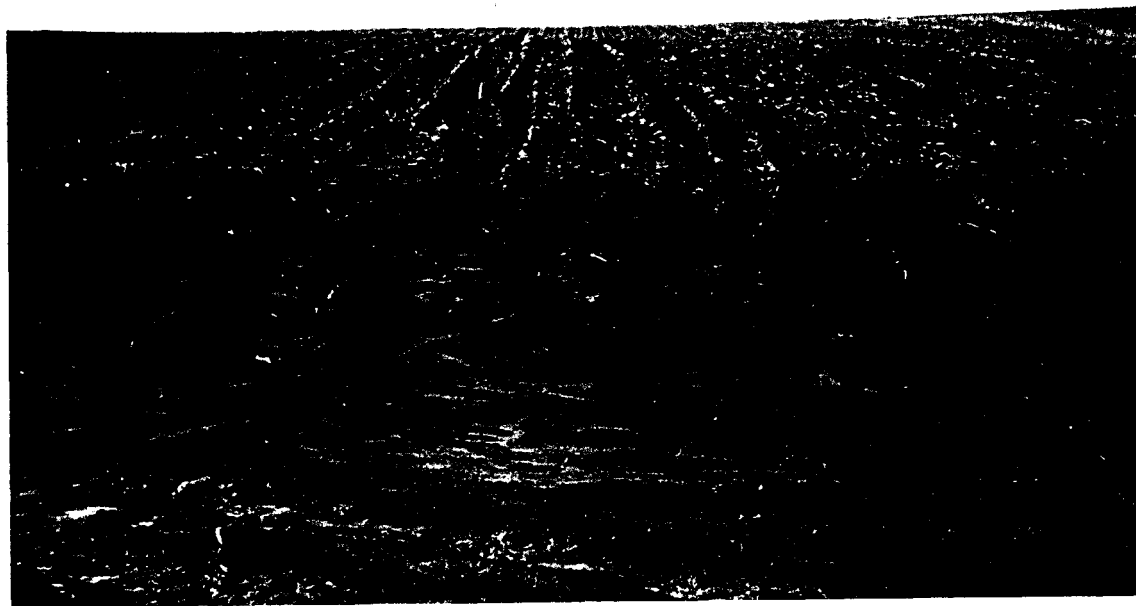
On distingue le ruissellement diffus en films (minces lames d'eau qui s'associent), en filés (écoulements canalisés mais qui se divisent et se rencontrent à l'infini) et le ruissellement hypodermique (terme impropre selon A. Godard, écoulement subsuperficiel serait plus adéquat) où l'eau s'infiltré temporairement et superficiellement, puis réapparaît en surface en micro-sources qui alimentent des coulées boueuses.

Le ruissellement diffus est néfaste au sol car il concerne les éléments les plus fins : fractions argileuses, limoneuses et matières organiques. Là où il se manifeste avec vigueur, on peut observer la formation d'un pavage de cailloux ou l'apparition de la roche mère (NEBOIT, 1983).

* L'érosion en rigole-interrigole

L'érosion en rigole-interrigole résulte d'un ruissellement dont la force tractrice est assez puissante pour arracher les sédiments sur la ligne d'écoulement (THORNES, 1980 ; BOARDMAN, 1983 ; GOVERS, 1987 ; DE PLOEY, 1988). Elle apparaît essentiellement pour des sols dont les pentes dépassent 4 à 5 % (SAVAT, DE PLOEY, 1982). De ce fait, elle est plus rare (mais pas inexistante) dans nos régions que l'érosion concentrée (NEBOIT, 1983). De plus, elle s'accompagne souvent d'une érosion de type diffus au niveau des interrigoles.

Photo I - 2 - 1 - 8 - a : Rigoles en chevelu après récolte de pommes de terre à Erlon (A. Angéliaume, octobre 1993)



* L'érosion par ruissellement concentré

L'érosion par ruissellement concentré se produit lorsque le ruissellement a acquis une force tractrice suffisante, ce qui est le cas lorsque l'écoulement est concentré dans les lignes de dépression en particulier les talwegs. Une fois formées, les incisions évoluent du fait des mouvements de masse qui affectent leurs parois (FOSTER et al, 1985 ; SPOMER, HJELMFELT, 1986).

Il s'organise alors des chenaux hiérarchisés : les griffures d'érosion (rigoles, ravines). Ces formes, que les façons culturales effacent, disparaissent et apparaissent périodiquement. Leurs effets se confondent avec ceux du ruissellement diffus. Mais les rigoles peuvent s'étendre et s'incruster donnant naissance aux ravines aux conséquences beaucoup plus négatives (NEBOIT, 1983).

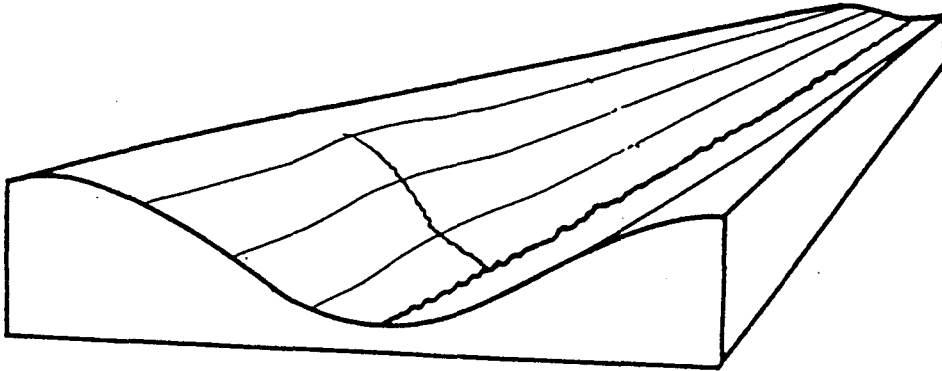
L'érosion concentrée exprime l'effet bien connu de l'action de l'eau. Elle atteint son maximum surtout lorsque la charge solide issue des versants est minime (DE PLOEY, 1991). Elle est parfois accentuée par des mouvements de masse qui contribuent à l'élargissement des formes linéaires (effritement des parois des rigoles ou ravines, combinaison d'érosion hydraulique et de mouvements en masse).

La formation de ravines de versant est assez limitée. On observe essentiellement des ravines de talweg formées sur une pente longitudinale plutôt faible (DE PLOEY, 1991).

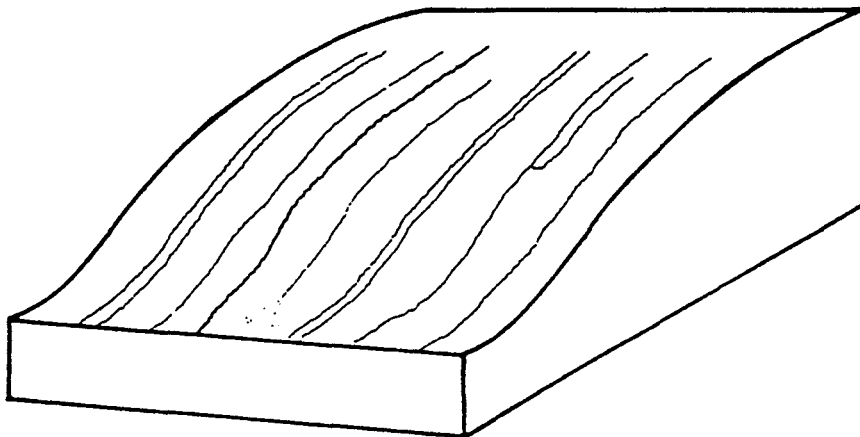
D'une façon générale, l'érosion par ruissellement concentré dépend de trois facteurs : la pente (valeur et forme), les formations superficielles et la présence d'une couverture végétale plus ou moins dense.

Figure I - 2 - 1 - 8 - a : Les différents type de rigoles (LUDWIG, 1992)

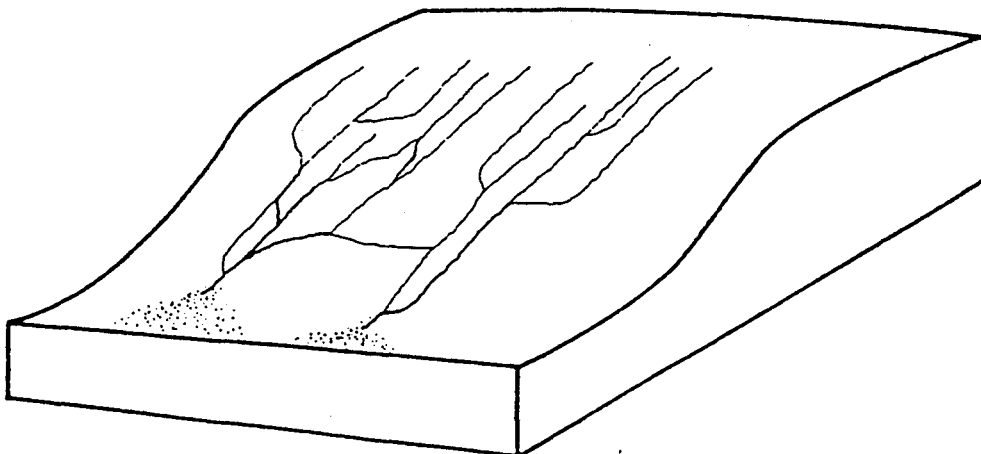
FORME LINEAIRE



FORME EN PARALLELE



FORME EN CHEVELU



- La déclivité est le premier facteur. Selon Roose (1981), l'eau ne creuse pas en de-çà de 7° (apparition de l'érosion en nappe), 20° marque le seuil de formation d'un réseau dense de rigoles, mais ce sont des valeurs citées pour les pays d'Afrique du Nord.

Sous nos climats, une pente inférieure à 4 ou 5 % favorise l'érosion en nappe.

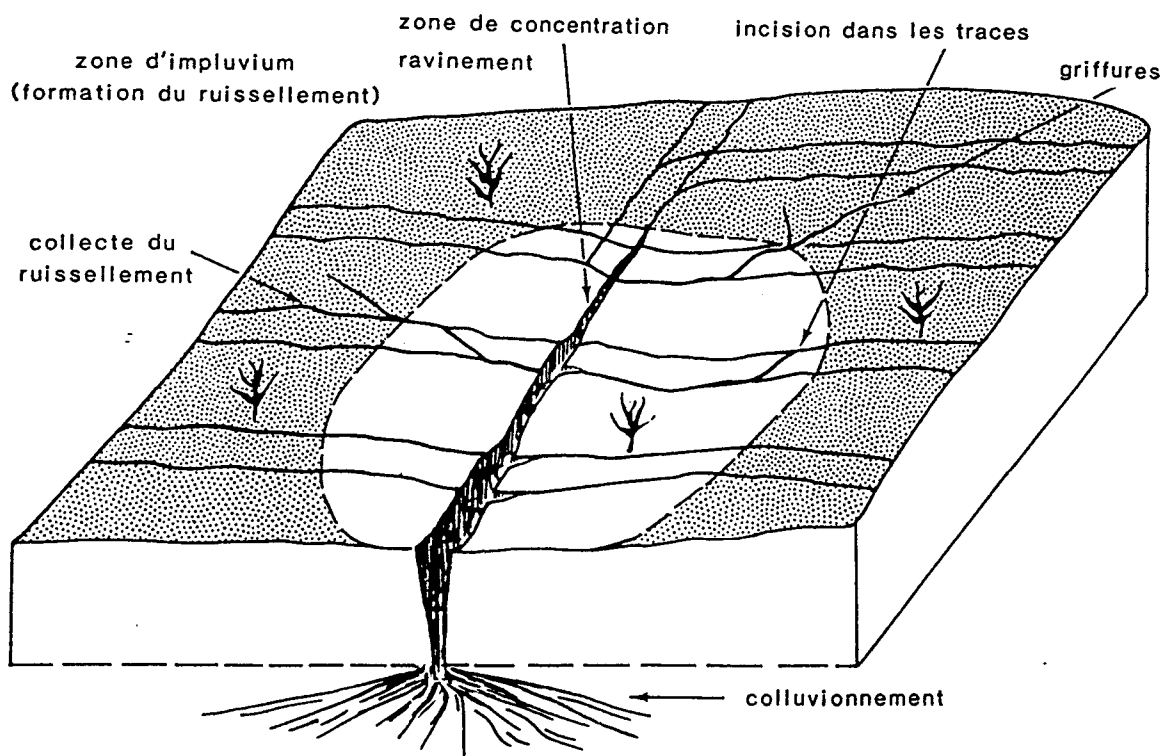
La pente constitue le facteur déterminant pour deux raisons. D'une part, l'abondance du ruissellement croît avec la pente. Plus la pente est forte moins l'eau a le temps de s'infiltrer. D'autre part, la capacité de détachement des particules fines et la capacité de transport croissent avec la vitesse de l'eau (courbe d'érosion de Hjulström). Cependant, le débit et la charge solide n'augmentent pas nécessairement et régulièrement avec la distance (DE PLOEY et al, 1976).

- Les caractéristiques des formations superficielles, ainsi que la nature de la roche en place interviennent par leur perméabilité (granites poreux, schistes imperméables) et leur granulométrie. Pour certains (POUQUET, 1951), l'abondance de cailloux multiplie les turbulences et favorise le creusement des rigoles. Par contre, pour d'autres (BEAUDET, 1964), elle divise les filets d'eau et limite les incisions. Par ailleurs, on notera la sensibilité des limons au creusement linéaire (NEBOIT, 1983).

I - 2 - 1 - 9 - Les domaines fonctionnels d'un bassin versant

On distingue deux domaines fonctionnels dans le bassin versant : un qui produit le ruissellement (impluvium) et un où le ruissellement incise le sol (talweg, fourrières) (OUVRY, 1989).

Figure I - 2 - 1 - 9 - a : Les domaines fonctionnels et les zones d'érosion d'un bassin versant (AUZET, 1987b)



Les risques d'érosion sont fonctions :

* Des paramètres favorisant la formation du ruissellement au niveau de l'impluvium

La surface plane qui constitue l'impluvium joue un rôle majeur en tant que collecteur d'eau. Melle Dachary (1988), lors de son étude sur la crue du Petit Morin, souligne la forte contribution d'un ruisseau affluent (la Fonderie), dont le bassin versant est composé à 75 % par un plateau à très faible pente.

L'aptitude à produire du ruissellement est influencée par l'état des surfaces de l'impluvium. Cet état évolue progressivement sous l'effet de l'action dégradante des pluies et brutalement du fait des opérations culturales. Elle est aussi influencée par la texture des sols. Par exemple, la dominance de sols limoneux sur l'impluvium augmente le ruissellement.

Par ailleurs, l'estimation de la surface de l'impluvium est capitale, car le pourcentage des surfaces susceptibles de ruisseler au sein des bassins versants élémentaires est statistiquement lié au volume de terre exportée (estimée par mesure des traces d'érosion linéaires) (LUDWIG, 1989).

* Des paramètres liés à la sensibilité des sols à l'arrachement par l'eau dans de la zone de concentration (BOIFFIN et al, 1986)

Les zones de concentration, c'est-à-dire les talwegs, collecte des ruissellements plus ou moins puissants. La texture des sols de ces zones de concentration est donc décisive puisqu'elle conditionne la cohésion du sol et la sensibilité à l'arrachement. Or les talwegs sont le plus souvent occupés par des colluvions particulièrement sensibles à l'incision.

La délimitation de l'impluvium et des zones sensibles à l'incision se fait selon une méthode développée par l'INRA (LUDWIG, 1989) et dont la technique sera développée et mise en application par la suite (3ème Partie, I - 3 - 4 - 2).

Ainsi, les formes d'érosion se distinguent selon le caractère diffus ou concentré des départs de terre - formes qui traduisent les processus élémentaires mis en jeu - , mais aussi selon leur date d'apparition (AUZET et al, 1990). Dans le nord du Bassin Parisien, on distingue deux périodes principales, l'une en fin d'automne-début d'hiver, l'autre au cours du printemps (OUVRY, 1982 ; BOIFFIN et al; 1988 ; PAPY et DOUYER, 1991), pendant lesquelles certains auteurs distinguent une prédominance de l'érosion en nappe ou de l'érosion concentrée.

Cependant, l'érosion concentrée est souvent liée à l'érosion diffuse : une faible érosion diffuse entraîne une faible charge en sédiments du flot qui possède une force d'incision d'autant plus élevée. De ce fait, l'érosion diffuse peut être associée à des orages, phénomènes aléatoires dans l'espace et dans le temps, dont l'intensité des gouttes d'eau favorise le détachement des particules de sol. L'érosion concentrée est davantage consécutive aux précipitations hivernales dont les pluies essentiellement volumineuses provoquent un ruissellement concentré assez puissant pour creuser le sol.

I - 2 - 1 - 10 - Le ruissellement concentré en hiver

Dans le nord du Bassin Parisien, en automne-hiver, plusieurs auteurs ont mis en évidence un certain nombre de faits en relation avec l'érosion concentrée (OUVRY, 1982 ; MONNIER et al, 1986 ; AUZET, 1987b ; BOIFFIN et al, 1988 ; LUDWIG, 1989 ; AUZET et al, 1993).

- Les formes d'érosion liées à la concentration du ruissellement occupent une place dominante (LUDWIG, 1992), soit en relation avec la morphologie (ligne de dépression), soit en relation avec des motifs linéaires liés au système de culture (traces de roues, dérayures).

- Ces incisions apparaissent pour des pentes modérées, de 4 à 5 % (SAVAT, DE PLOEY, 1982 ; GOVERS, 1985), voire 2 % (LUDWIG, 1992).

- Cette érosion est liée soit à une surface d'alimentation importante, soit à une surface d'alimentation dont l'état de surface est susceptible de générer du ruissellement même pour des pluies de faibles intensités (BOIFFIN et al, 1988).

Ainsi, l'érosion par ruissellement concentré prédomine l'hiver, lors de pluies longues et peu intenses. Les rigoles et les ravines se forment là où le ruissellement concentré a été le plus favorisé c'est-à-dire dans les fonds de vallon où les écoulements ne sont pas permanents (OUVRY, 1982 ; BOIFFIN et al, 1988). Cette forme d'érosion est plus spectaculaire que l'érosion en nappe, car elle provoque les dégâts les plus importants, dans les bas de versants, les vallées et les pieds de côtes (MAUCORPS, 1990). De plus son caractère chronique a des conséquences préoccupantes à terme (MONNIER et al, 1986 ; BOIFFIN et al, 1988), puisque les pertes de sol sont répétées. Occasionnellement, les conséquences sont particulièrement importantes, notamment lorsque le ruissellement et les coulées de boues contribuent aux inondations et aux crues (OUVRY, 1986 ; PAPY, DOUYER, 1991 ; ANGELIAUME, WICHEREK, 1995 ; WICHEREK, 1995).

I - 2 - 1 - 11 - Les ruissellements diffus, en rigole et en interrigole : le printemps et l'été

Les érosions diffuses, en rigole et en interrigole se manifestent principalement lors des orages de printemps (LUDWIG et al, 1992). Mais elles n'interviennent pas seule. Elles sont souvent relayées dans les fonds de vallon par une érosion concentrée. Ce fait s'explique simplement par une concentration rapide des eaux dans des rigoles perpendiculaires au talweg principal. L'eau rapidement concentrée entaille aisément le talweg. De plus, ces formes d'érosion peuvent prendre un caractère catastrophique en entraînant des dégâts aux cultures et des coulées de boue.

I - 2 - 1 - 12 - Conséquences et nuisances

* Morphologiques et pédologiques

Schématiquement, De Ploey (1991) distinguait deux situations. D'une part, une augmentation du relief du bassin versant liée à un creusement du talweg par une forte érosion en ravine et une faible érosion des versants. D'autre part, une atténuation du relief consécutive à une dénudation en nappe, accompagnée d'un dépôt de colluvion. Sur le terrain, ces deux tendances ne sont pas si nettement différenciées, car bien souvent le travail du sol tend à atténuer le relief en comblant les ravines. C'est ce même travail du sol, associé à l'activité de l'érosion, qui est à l'origine de la formation des rideaux (en Picardie), aussi appelés termes (dans le Limousin), lorsque la charrue entraîne la terre vers le bas de la parcelle. Le déplacement de terre par l'érosion entraîne aussi des troncatures à différents degrés des sols des versants et des talwegs. Si certains profils sur versant sont diminués, un colluvionnement massif et rapide peut être observé en fond de vallon. en général, ce phénomène s'observe très bien sur les cartes des sols (BOLLINNE et al, 1978 ; MAUCORPS, 1991, 1993).

Là où l'érosion par ruissellement concentré a creusé, là où les colluvions se sont déposées, la structure du sol reste marquée. Elle est moins stable et plus sensible à une nouvelle incision.

D'ailleurs les agriculteurs eux-mêmes ont constaté que là où l'eau a creusé, elle recreusera : elle a tracé son chemin.

Et de fait, les transferts de matières solides peuvent s'accompagner de modifications perceptibles du sol : la comparaison de parcelles cultivées et non-cultivées révèle des différences notables. Soumis à une érosion plus forte, les sols cultivés présentent souvent une teinte plus claire qui dénote un appauvrissement en humus. Parfois, cet éclaircissement s'accompagne de changements granulométriques : le sol devient plus pierreux. Les cailloux semblent "pousser", suite à l'exportation des particules fines du sol.

On peut alors se demander si cette dégradation des sols est irréversible et si le sol est une ressource renouvelable. Lorsque l'érosion ne concerne que les formations superficielles (le profil pédologique), le sol se régénère, mais à long terme, plusieurs dizaines, voire centaines d'années sont nécessaires. Les sols ne sont donc pas des ressources renouvelables à court terme. Toutefois, la menace de dégradation irréversible est réelle, lorsque les processus d'ablation deviennent beaucoup plus rapides que l'évolution des sols et des formations superficielles. Prenant conscience que l'on ne doit pas user le sol plus vite qu'il ne se renouvelle, le Soil Service Conservation américain a défini (dans les années 1970) "le taux d'érosion maximum compatible" (Soil loss tolérance). Il s'agit de la perte limite que l'on peut accepter (4,5 à 11,2 t/ha/an selon les sols). Si une culture engendre une érosion supérieure, elle doit être modifiée (NEBOIT, 1983) sous peine de dégrader le sol de façon irréversible. Ces valeurs nous permettent de définir à partir de quand l'érosion devient critique.

Si l'érosion est modérée, elle apporte des retouches au modelé mais sans hypothéquer l'avenir des sols. En fait, une érosion lente et ménagée profite au sol. En effet, elle assure un abaissement lent de la surface qui facilite la pédogénèse au dépend de la roche mère et permet une meilleure incorporation de matériel "frais". Néanmoins dès que l'érosion dépasse un certain seuil, l'horizon humifère s'amincit, voire disparaît, la fertilité diminue, les rendements baissent.

* Economiques

Les conséquences de l'érosion sont souvent appréciées en fonction des critères économiques, tels les pertes de cultures. Les évaluations sont dans ce cas assez objectives. Par contre, il n'en est pas de même pour l'évaluation de la diminution de productivité des sols qui est difficile à estimer. Par ailleurs, cette incidence n'est pas prise en compte dans nos pays, lors des dédommagements consécutifs à des dégâts d'érosion (NEBOIT, 1983).

Mais, la principale nuisance résulte des dégâts provoqués en aval : les coulées de boue inondant les routes, envasant les fossés, les étangs, les retenues, les cours d'eau ou les habitations et les collectivités occasionnant de lourdes charges aux collectivités locales (AUZET, 1987b ; LILIN, PAULET, 1987b).

- Les dégâts aux cultures

Les cultures peuvent subir des dégâts de deux ordres : consécutifs à l'érosion (arrachement de pieds, pousse gênée par des ravines et des rigoles), consécutifs aux dépôts de boue en bas de versants (recouvrement des plants) (PAPY, BOIFFIN, 1988). Les plantes sarclées sont plus particulièrement sensibles, mais les céréales peuvent aussi être touchées. Des réensemencements, possibles en fonction de la date des phénomènes d'érosion, entraînent des coûts d'exploitation supplémentaires. Et bien souvent, les rendements sont moins bons. D'après une enquête en Belgique, les pertes moyennes liées à l'érosion seraient de l'ordre de 3 à 5 % de la valeur de la récolte (BOLLINNE et al, 1978).

- Les dégâts matériels

Dans le vignoble alsacien, vers le milieu des années 1970, les frais de remise en état des parcelles (remontée de la terre entraînée par les ravinelements, réparation des murettes de soutènement, curage et réfection des fossés de drainage, etc.) s'élevaient de 2 500 à 10 000 francs/ha selon les cas. Les préjudices totaux (répétition de certains travaux, pertes de fertilisants, etc.) étaient estimés à 15 000 francs/ha en moyenne par exploitant (VOGT et VOGT, 1979).

Le travail du sol est aussi perturbé par le ravinement. Bien souvent, un travail supplémentaire est nécessaire (sarclage des betteraves, retraitement, etc.).

Enfin, il y a aussi les problèmes posés aux collectivités et aux particuliers : engrèvement et salissement des chaussées, comblement des fossés, boue dans les habitations (AUZET, 1987b), les caves, les écoles ou même les églises (photo I - 2 - 1 - 12 - b, ci-après).

- Les pertes de terre et, à terme, de rendement

Quelques expérimentations, essentiellement américaines, permettent de quantifier les effets de perte de terres. En effet, aux Etats-Unis, l'érosion provoquerait une baisse des rendements en monoculture intensive de 30 % (*Le Figaro*, 1987). Dans l'Indiana et le Missouri, on a observé une diminution de la production de maïs de 5,3 à 8,8 % par pouce de sol enlevé. Les rendements obtenus sur l'horizon B du sol sont inférieurs de 77 % à ceux obtenus sur l'horizon A (NEBOIT, 1983). Le constat général est une baisse de rendement et une moindre réserve utile des sols qu'il faut irriguer.

En France, *le Figaro* évoque en 1987 l'érosion qui de l'Artois jusqu'à la Bretagne et dans les coteaux de Gascogne, ainsi que dans le Pas-de-Calais autour de Montreuil-sur-Mer provoque des ravines, parfois des tranchées profondes et larges de plusieurs mètres. Les pertes de terre par ruissellement sont estimées entre 10 et 100 tonnes par hectare et par an. Quant aux baisses de récoltes les agriculteurs les évaluent entre 5 et 7 %. Enfin, les conditions de travail sont souvent plus difficiles et on observe de plus en plus de problèmes d'inondations et d'envasement dans les communes voisines.

* Environnementales

La terre érodée finit par atteindre les cours d'eau. La charge solide des rivières en est accrue, ce qui n'est pas sans conséquence pour la faune et la flore aquatiques (turbidité plus forte, voir photo I - 2 - 1 - 12 - c, moins de luminosité, moins d'oxygène dissous, colmatage des branchies des poissons, etc.). Mais, il faut aussi considérer l'entraînement de matières nutritives, qui peut nuire aux cours d'eau en raison de leur caractère eutrophe (BOLLINNE et al, 1978). Il en est de même pour la charge en produits phytosanitaires, tant sous forme soluble que dans les particules en suspension. Ces éléments, ainsi que leurs produits de dégradation - qui sont très peu connus et difficilement identifiables - sont toxiques (BOLLINNE et al, 1978). Par ailleurs, les pertes en terre arrivées aux cours d'eau contribuent à l'envasement des canaux et des retenues, ce qui présente en particulier des inconvénients pour l'exploitation des ouvrages hydrauliques (GAFREJ, LEVIANDIER, 1992).

Ce contexte global nous permet de situer l'érosion, ses processus et ses conséquences. En Picardie, région de climat tempéré, ce qui ne veut pas dire modéré, les problèmes d'érosion sont bien réels.

Photo I - 2 - 1 - 12 - a : Exemples de dégâts aux cultures : recouvrement de jeunes plants et déracinement

(a) Recouvrement à Chacrise après les orages du 1er et du 8 mai (A. Angélieaume, mai 1993)



(b) Déracinement des betteraves à Vierzy après l'orage du 11 juillet (A. Angélieaume, juillet 1995)



Photo I - 2 - 1 - 12 - b : L'église de Soucy envahie par 60 cm de boue, un nouvel orage est redouté
(A. Angélaume, juin 1994)

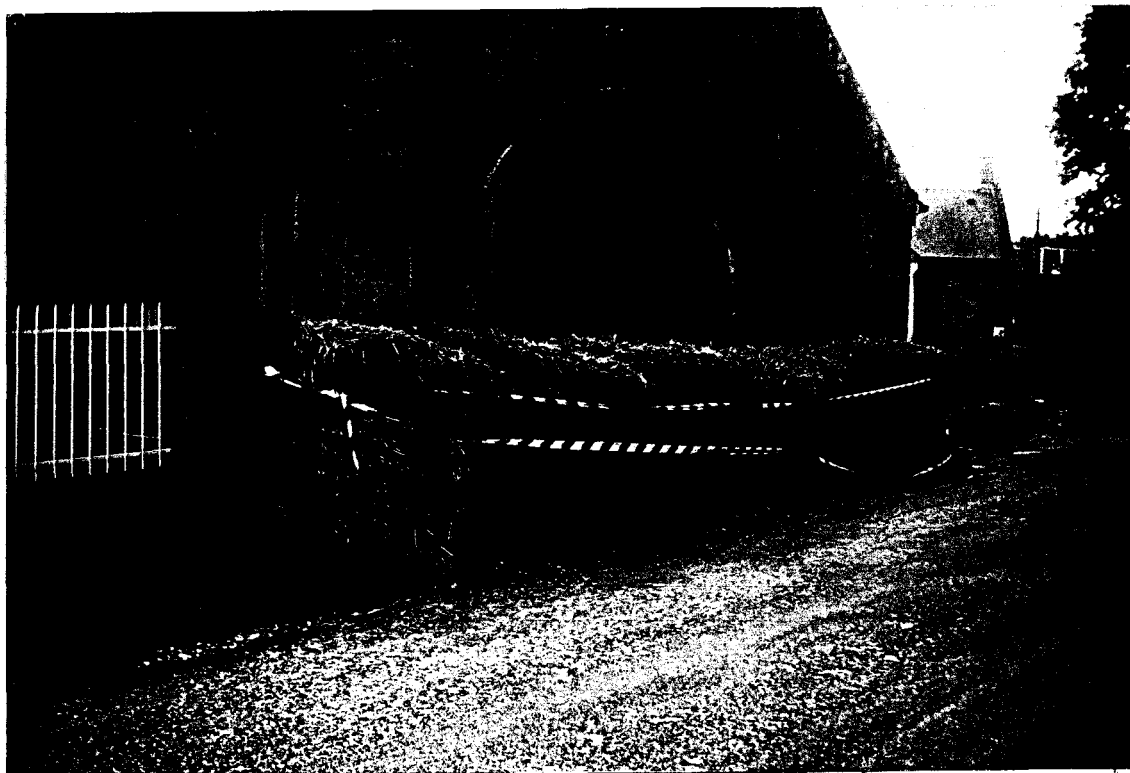


Photo I - 2 - 1 - 12 - c : Augmentation
de la turbidité dans un ruisseau
après l'orage (A. Angélaume,
Soucy, juin 1994)



I - 2 - 2 - L'érosion hydrique des sols cultivés : étude de la situation en Picardie

L'érosion est très présente en Picardie où les sols limoneux sont largement représentés (les sols limoneux s'étendent sur tout le nord du Bassin Parisien). Mais ceux-ci ne sont pas les seuls concernés. Dans les services agronomiques des chambres d'agriculture, on enregistre de plus en plus de cas de dégradation, aussi bien sur sol sableux, limoneux que calcaire. Des études sont réalisées, des mesures sont proposées, mais elles concernent presque uniquement des aménagements anti-érosifs. Bien souvent, les aménagements sont proposés après des orages aux conséquences catastrophiques. Les agriculteurs, pour leur part sont encore peu sensibilisés. Ils s'intéressent peu aux pratiques culturales limitant l'érosion, ce qui se manifeste, entre autres, par l'absence de formation permanente sur ce thème dans les chambres d'agriculture, car il n'y a pas de demande de la part des agriculteurs.

Pourtant, l'érosion concerne des surfaces étendues et variées, comme le montre un recensement réalisé auprès des chambres d'agriculture du nord du Bassin.

I - 2 - 2 - 1 - Quelques situations d'après enquêtes

Une petite enquête (courriers de février 1994) auprès de sept chambres d'agriculture du nord de la France (seulement 4 réponses malgré une relance en septembre 1994) permet de dire qu'on se préoccupe désormais du problème d'érosion en plus des autres questions agronomiques (le détail du questionnaire et des réponses a été reporté en annexe 3). Les cas observés sont d'une façon générale plus nombreux. Mais il faut prendre en compte le fait que ce problème relativement nouveau a suscité de l'intérêt. Ainsi une situation qui, il y a quelques dizaines d'années, aurait été considérée comme une fatalité, est aujourd'hui enregistrée comme dégât. D'ailleurs aujourd'hui encore certains agriculteurs considèrent ces dégâts comme un risque naturel lié à leur activité (J. C. Hermand, comm. orale 1993). Toutefois dès que la situation devient plus importante, chronique au cours de l'hiver, accidentelle après des orages, qu'elle se répète, et surtout qu'elle engendre des dégâts coûteux au niveau de la collectivité et des habitations, on envisage des études et des remèdes. Actuellement, c'est donc moins le souci de protéger les terres que celui de préserver les biens communaux qui motive les initiatives. De plus, celles-ci restent très limitées dans l'espace, peu de communes peuvent s'engager financièrement dans des aménagements trop coûteux...

Géographiquement parlant, au nord de la France, aucune région, pour peu qu'elle présente un relief suffisant, n'est épargnée : des sables gréseux des Ardennes aux limons du Pays de Caux, en passant par les limons sableux et les sols crayeux picards.

En Picardie, sont mises en causes les cultures de printemps qui n'assurent pas un couvert suffisamment développé pendant les périodes hivernales et printanières, les assolements intensifs et les effets indirects de la jachère (en cherchant des hectares à placer en jachère, on pratique le "tout labour").

Dans le Pays de Caux, on cite la battance, le compactage des sols et l'évolution des structures agraires.

Outre le départ de colluvions, on redoute l'entraînement de produits herbicides comme l'atrazine appliquée sur maïs. Ces problèmes pourraient être combattus par la mise en place de jachères couvertes annuelles disposées en bandes perpendiculaires au sens des ravines. Des études et des aménagements hydrauliques sont déjà entrepris avec l'action conjointe des agriculteurs, des maires, des chambres d'agriculture, du Conseil Général et des Syndicats.

Ainsi toutes les chambres d'agriculture se préoccupent de ce fait. Cependant, la motivation des agriculteurs et des élus locaux est très inégale selon les régions. Des brochures exposant des conseils d'aménagements paraissent régulièrement, mais la meilleure perspective semble être celle des Mesures Agri-Environnementales qui devraient permettre la mise en place de bandes enherbées (1ère Partie, I - 4).

I - 2 - 2 - 2 - Les fortes pluies hivernales : une érosion chronique et une forte contribution aux crues

Dans des sols non-labourés, sur des semis d'hiver ou sur des labours tassés par les précipitations, les pluies hivernales laissent rapidement des traces d'érosion, et ceci quelle que soit la lame d'eau tombée. Chaque année, on peut observer dans les mêmes parcelles ces traces, tout au plus des rigoles de 10 à 15 cm (photo I - 2 - 2 - 2 - a, ci-après). On peut citer l'exemple d'une parcelle située sur la route de Faucoucourt à Cessières, mais ce n'est qu'un site parmi beaucoup d'autres. Un constat s'impose : il s'agit fréquemment de sols sableux.

Des figures d'érosion plus notables sont observées après des averses importantes (20 à 30 mm journalier). Il est alors fréquent d'observer des ravines dans les fonds de talweg, ravines qui peuvent s'étendre sur plusieurs dizaines ou centaines de mètres. Lors de certains hivers pluvieux, comme ceux 1993-94 (203,1 mm à Pouilly-sur-Serre en décembre) et 1994-95 (174,2 mm à Pouilly-sur-Serre en janvier), ces figures sont fréquentes dans la région. On a pu en observer, en particulier, sur la commune de Vierzy (photo I - 2 - 2 - 2 - b, ci-après).

Bien souvent ces ruissellements boueux s'accompagnent d'une montée des eaux dans les rivières réceptrices. Ce fut le cas au cours des hivers 1993-94 et 1994-95 sur les vallées de l'Oise et de l'Ourcq. Les écoulements contribuent alors à l'envasement des cours d'eau et parfois à la formation de crue (ANGELIAUME, WICHEREK, 1995).

Le cas le plus spectaculaire est celui de la crue de décembre 1993, dans la Vallée de l'Oise. Liée à des pluies exceptionnelles, cette inondation reste une des plus spectaculaires de ces dernières années, voire de ce siècle d'après la presse locale (ANGELIAUME, WICHEREK, 1995). La hauteur maximale atteinte à la station d'Hirson fut de 4,14 m (moyenne 2,30 m. Les dégâts à Guise ont été estimés à 51 210 000 francs.). D'après le maire actuel, la fréquence des crues catastrophiques s'accroît : janvier 1965, décembre 1966, décembre 1967, janvier 1968, juillet 1979, juillet 1980, novembre 1984, décembre 1988, février 1990, janvier 1991, décembre 1993 (Maire de Guise, comm. écrite, 1995). Le rôle des surfaces non cultivées à ces dates dans la formation des écoulements a d'ailleurs été mis en évidence.

Photo I - 2 - 2 - 2 - a : L'érosion hivernale, une érosion annuelle, en général de faible ampleur (petite rigole, sur la D1 au sud de Soissons, A. Angéliaume, janvier 1994)



Photo I - 2 - 2 - 2 - b : L'érosion hivernale, une érosion toutefois non-négligeable (début de la ravine, BVEC de Vierzy, A. Angéliaume, janvier 1994)



I - 2 - 2 - 3 - Une situation extrême : les orages

Lors de violents orages printaniers ou estivaux, les conséquences de l'érosion peuvent prendre une ampleur considérable. Les exemples sont multiples : le 8 mai 1988 à Vierzy, le 8 mai 1993 à Chacrise, le 29 avril à Guise, le 17 mai 1994 à Soucy, etc. Dans chacun de ces cas, les coulées de boue ont provoqué des dégâts exceptionnels : usines, habitations et caves inondées par la boue, routes et fossés enfouis, cours d'eau coupé (La Crise, à Chacrise, le 8 mai 1993), églises envahies par la boue (le 17 mai 1994 l'église de Soucy a été envahie par 45 à 60 cm de boue, les soubassements de cet édifice situé sur le flanc du plateau se seraient affaissés sous le poids), etc.

Liés à des situations météorologiques exceptionnelles, ces accidents relèvent des déclarations de catastrophes naturelles. Il est à noter, toutefois, que ces incidents sont assez fréquents. Presque chaque année dans le département, 15 à 20 communes sont déclarées sinistrées suite à des coulées de boue, comme le montrent les archives du service "Calamités Agricoles" de la DDAF. La localisation de ces communes indique très nettement le trajet de la perturbation orageuse, certains couloirs semblent même privilégiés (1ère Partie, II - 1 - 2). Il faut signaler aussi que les orages ne frappent pas toujours les mêmes communes. Elles sont touchées tout au plus tous les 5 ou 6 ans. Par contre, il est fréquent qu'une commune soit atteinte deux fois de suite par des orages à une semaine d'intervalle (Soucy, 17 et 23 mai 1993, Chacrise, 1 et 8 mai 1994, etc.)

Suite à une enquête menée auprès d'une quinzaine de maires (janvier 1995^(*) et août 1995^(**)) dont les communes ont été concernées par des coulées de boue au cours de ces dernières années, certains points ont été dégagés (le détail des questionnaires et des réponses a été reporté en annexe 4). Les orages entraînant des coulées de boue sont toujours violents et accompagnés d'une forte lame d'eau (80 - 100 mm en quelques heures). Des orages aussi violents sont rares, mais il arrive, paradoxalement, que deux se succèdent à quelques jours d'intervalle. Les coulées de boues proviennent essentiellement des terres agricoles amont. On y observe en général beaucoup de cultures de printemps, mais aussi des cultures d'hiver. Les dégâts sont toujours les mêmes : cultures, routes, bâtiments agricoles, habitations, caves, etc. Les coûts estimés de remise en état sont élevés.

Au regard de ces témoignages, on constate que les orages suivent parfois des trajectoires, que certaines communes ne sont touchées qu'occasionnellement par ces excès météorologiques alors que d'autres le sont plus fréquemment. Qu'en est-il réellement ?

(*) Puisseux-en-Retz, Soucy, Mongobert, Saint-Pierre-Aigle (Plateau soissonnais, sud-ouest de Soissons).
orage de grêle du 28 avril 1994 : Guise, Maquigny, Proix, Vadencourt (nord de Laon).
orages des 1 et 8 mai 1993 : Chacrise, Ambrief, Nampteuil-sous-Muret (sud de Soissons).

(**) orage du 28 mai 1995 : Monceau-le-Waast (nord-est de Laon).
orage du 11 juillet : Vierzy (sud de Soissons).
orage du 7 août : Erlon (nord de Laon).

I - 2 - 2 - 4 - Des localisations géographiques privilégiées ?

L'érosion des sols cultivés touche indifféremment les régions de collines et de plateau.

Toutefois, l'érosion hivernale est plus importante et plus fréquente sur le littoral (bande de 30 à 50 km) de la Flandre Maritime au Pays de Caux inclus (Maucorps, 1990) ; elle perd de la puissance vers l'Est (LUDWIG, 1989).

S'il semble que les orages estivaux concernent tout autant les collines et le plateau, c'est la localisation des vallées qui influent sur la fréquence et l'intensité des événements.

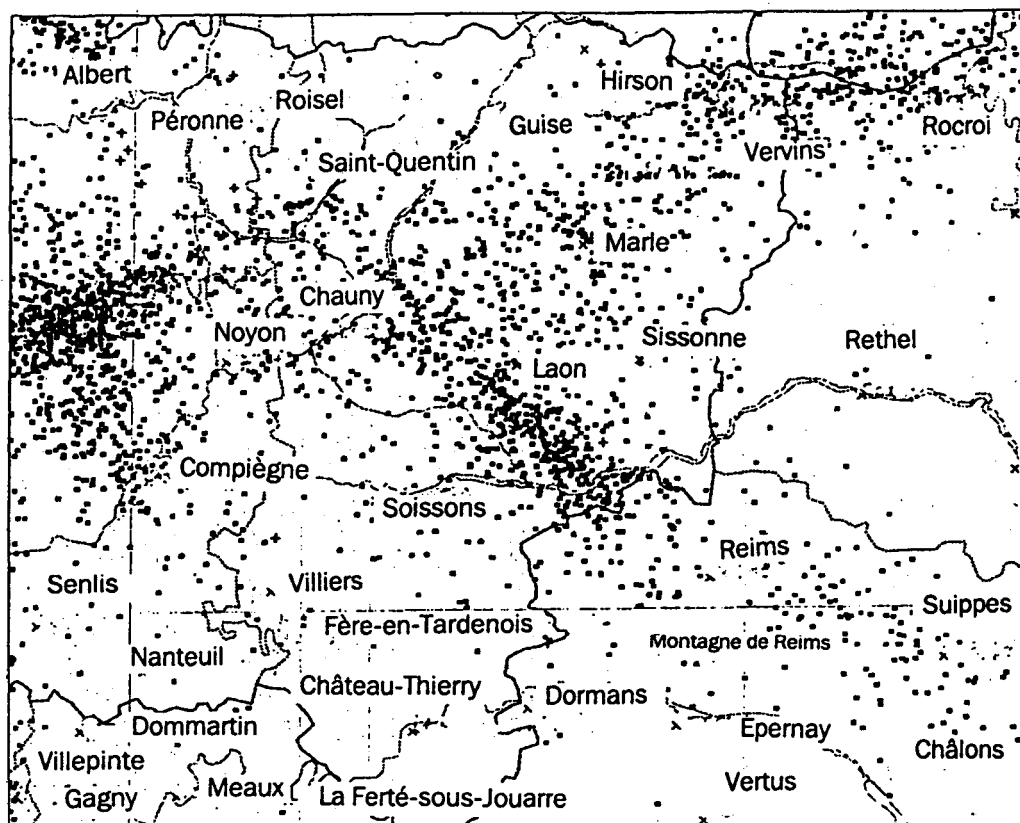
Sur le Plateau soissonnais, les orages sont souvent canalisés par la forêt à l'Est et par l'Aisne à l'Ouest (maire de Coeuvres-et-Valsery, comm. écrite 1995). Ils suivent de façon préférentielle les grandes vallées. De fait, le long de la petite vallée de la Crise, (Nampteil-sous-Muret, Chacrise, Ambrief, etc...) "il est vrai que nous voyons souvent arriver la masse nuageuse de l'orage, puis plus rien. Celle-ci prend la direction de la vallée de l'Aisne, ou de l'Ourcq et de la Marne. Dans ce cas, les anciens disent "nous n'aurons qu'une queue d'orage" " (maire de Nampteil-sous-Muret, comm. écrite 1995). Ce fait a aussi été rapporté par Hubert Moquet, agriculteur à Vierzy, qui ajoute "les orages que nous redoutons sont ceux qui viennent de l'Est. Lorsque l'on voit les nuages à l'horizon, il faut rentrer le grain au plus vite. Ce sont ces orages de retour qui sont les plus à craindre".

Près de Guise, les orages qui arrivent du Nord-Ouest sont les plus redoutés, alors que ceux du Sud-Ouest remontant par la vallée sont moins violents (maire de Vadencourt, comm. écrite 1995) parce qu'ils ont perdu de la puissance en remontant canalisés dans la vallée. On dit que la rivière protège des orages (maire de Maquigny, comm. écrite 1995).

Ainsi les plateaux longeant les grandes vallées sont plus touchés, puisque les vallées orientent la trajectoire des orages, mais en contrepartie, les orages perdent de leur puissance en remontant la vallée.

Il s'agit là d'une tendance générale, car la trajectoire et les points d'impacts des orages restent aléatoires dans le temps et dans l'espace. Pourtant, des couloirs semblent effectivement privilégiés (1ère Partie, II - 1 - 1 - 3).

Figure I - 2 - 2 - 4 - a : Les impacts d'orage les 7 et 8 août 1995 (presse locale)



Une autre question se pose, celle de la fréquence des agressions climatiques (fortes pluies hivernales ou orages) car il semble que l'érosion gagne du terrain et on ne sait pas avec certitude à l'heure actuelle à quoi l'attribuer.

I - 2 - 2 - 5 - Une aggravation de la situation érosive ou une évolution de la perception ?

Pour plusieurs auteurs, on assiste à une augmentation en fréquence et en intensité des phénomènes d'érosion depuis une vingtaine d'années dans le nord du Bassin Parisien (MORAND, WICHEREK, 1987 ; MAUCORPS, 1982, 1990 ; WICHEREK, 1991, 1994, etc.). Ce regain d'intérêt, de la part des agronomes, des pédologues et des géographes, est-il lié à la mode concernant les questions d'écologie ou l'érosion des sols s'est-elle réellement renforcée ? (NEBOIT, 1983).

Cette aggravation serait liée à une rupture d'équilibre consécutive à l'évolution des structures et des techniques agraires depuis la seconde guerre mondiale. Entre autres :

1 - L'uniformisation des parcelles dans certains secteurs (remembrement, disparition des haies et talus, "les rideaux") comme cela a été le cas en Bretagne où on a supprimé des kilomètres de talus et où les grands espaces ont remplacé les champs enclos (MAUCORPS, 1990).

L'augmentation de la taille des parcelles s'est faite parallèlement à celle des exploitations (voir tab. I - 2 - 2 - 5 - a, ci-après) (l'utilisation de machine facilite le travail du sol et réduit le temps de travail, les parcelles peuvent donc s'agrandir), s'accompagnant de la disparition de haies (peu sur le plateau), et surtout de talus et de fossés très présents dans la région.

Ces augmentations sont très variables selon l'endroit considéré. Mais attention, le remembrement officiel, entamé dans les années 1970, a eu des effets très contrastés (Mme Rousseau, Service remembrement, Chambre d'Agriculture de Laon, comm. orale 1993). Il a été peu remarquable dans les régions où l'on trouvait quelques vastes parcelles héritées des grandes fermes prémontrées ou cisterciennes (DEMANGEON, 1905). Il faut signaler que la mise en culture des terres est parfois ancienne ; dès l'époque gallo-romaine, le plateau a connu d'importants défrichements (HIGOUNET, 1993). C'est le cas à Vierzzy. Il semble que le remembrement officiel ait davantage joué dans le Laonnois que dans le Soissonnais, comme en témoigne les photographies aériennes (Erlon dans le Marlois 1929/1949/1957/1991 et Vierzzy dans le Soissonnais 1936/1958/1991, 1ère Partie, II - 2 - 2 - 4).

Tableau I - 2 - 2 - 5 - a : Augmentation de la taille moyenne des SAU en hectare pour les deux régions agricoles de l'Aisne (RGA 1950 et 1970)

	1970	1950
Saint-Quentinois-Laonnois	56,26	69,92
Soissonnais	55,36	71,34

2 - La spécialisation des productions, la simplification des assolements (1ère Partie, II - 3 - 1 - 3) (l'assolement maïs/maïs/blé provoque 7 fois plus de perte de terre par érosion que les prairies artificielles, PIHAN, 1976), la disparition des pâtures et des plantations herbagères (par exemple en Champagne sèche et en Thiérache).

L'évolution des productions se traduit essentiellement par une disparition des pâtures, des cultures d'avoine, de seigle, de méteil, de choux fourrager, mais aussi lin textile, topinambour, en relation avec la disparition des animaux de trait et le changement de vie. Parallèlement d'autres productions se développent, comme la pomme de terre à destination agro-alimentaire (Vico, d'Aucy, féculé), la betterave industrielle, le maïs grain etc. Bien souvent, on note une orientation précoce des productions vers les cultures industrielles (1ère Partie, Tab. I - 1 - 5 - a).

3 - La mécanisation. Les machines agricoles sont plus lourdes, le travail du sol est plus profond (LILIN, PAULET, 1987) et les passages sont plus fréquents. En Picardie, la transition a été rapide dans les régions de cultures céréalières et industrielles (Valois, Soissonnais, Laonnois, etc.). C'est vers les années 1950 qu'apparaissent les très gros engins, comme les moissonneuses batteuses. (C. Doncoeur, comm. orale). Les années 1960 constituent un virage pour la culture de la pomme de terre : la mécanisation est devenue indispensable pour poursuivre cette culture, cependant cela sous-entend un investissement considérable. Les agriculteurs qui ont fait ce choix se sont alors intégrés à des filiales telles Vico pour les pommes de terres conditionnées en purée, chips, ... ou à des filiales de production de féculé. La multiplication des passages des engins agricoles est aussi liée à la généralisation de la fertilisation azotée (utilisation qui d'ailleurs structure moins bien le sol que les engrais organiques) et des traitements phytosanitaires. Le poids et les passages répétés des engins peuvent accentuer la dureté de la semelle de labour ou encore créer des ornières facilitant le ruissellement. Les parcelles plus grandes freinent moins les eaux du fait d'une moins grande hétérogénéité des surfaces anciennement favorables au ralentissement du ruissellement.

Les récentes mutations de l'agriculture sont bien réelles mais sont-elles seules responsables de l'aggravation de l'érosion des sols ? Pour certains cet accroissement de l'érosion pourrait aussi être lié à une augmentation des précipitations. C'est ce qu'a affirmé Sylvia Dautrebande de la Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux, en Belgique, aux journées de l'AIDEC (Association Internationale des Entretiens Ecologiques) en mars 1994. Parmi plusieurs causes pour expliquer l'érosion dans la région de Hesbaye, elle a évoqué le climat particulièrement pluvieux des dernières années. Cette affirmation demande à être étayée pour la région du Bassin Parisien où peu d'études se sont penchées sur la question depuis celle de Pedelaborde (1955).

* Une évolution des perceptions

Le problème de l'érosion n'est pas nouveau. Déjà on en trouve des traces dans les Cahiers des Doléances établis à l'occasion des Etats généraux de 1789 (Fleury, 1872, cité par MAUCORPS, 1990). Les agriculteurs témoignent que l'érosion a, de tout temps, provoqué des catastrophes. On se souvient des coulées de boue qui ont envahi et dévasté le village. A Erlon, dans les collines du Saint-Quentinois-Marlois, en 1956 et en 1983 ; à Vierzy, sur le Plateau soissonnais en 1941, en 1968, en 1988 et d'autres plus anciennes dont on ne se rappelle pas les dates. On se souviendra des citations de Demangeon dès 1906, qui évoque entre autres "des vallons secs transformés en torrents par les orages". On constate qu'il s'agit d'un phénomène de tout temps relativement fréquent et accepté par la population comme une fatalité (J. C. Hermand, maire de Vierzy, évoque cette fatalité liée au métier de paysan). Mais si autrefois on se contentait de subir, aujourd'hui on souhaite agir pour se protéger et préserver ses biens et on en a plus les moyens qu'au début du siècle. Aujourd'hui, on relève même l'existence de coulées de boue moins spectaculaires ayant provoquées des dégâts aux routes, aux fossés, aux jardins... Ce sont surtout les maires qui les évoquent, car ce sont eux les plus concernés : ils doivent faire remettre en état les routes et les fossés encombrés par les colluvionnements. On ne trouve pas trace de ces petites coulées boueuses dans les anciens registres ou dans les mémoires. Il faut dire que l'on s'en souciait moins. Il y a quelques dizaines d'années, il y avait peu de fossés et on circulait sur des chemins de pierres ou de terre. Les coulées de boue ne provoquaient pas la même gêne que de nos jours. Pourtant la boue était bien présente. Pour preuve, à Vierzy, la rue principale, qui traverse le village de part en part en suivant le tracé du fond de vallée, portait autrefois le nom de "Rue boueuse", car elle était fréquemment envahie par les écoulements provenant des terres du plateau (LUGUET, 1963).

* Un réel constat d'aggravation

A la fin des années 1970, la fréquence et la gravité des situations d'érosion incitent de nombreux élus et chercheurs à s'intéresser à la question. Localement, une très nette aggravation de la situation érosive se manifeste par des coulées boueuses plus nombreuses à l'aval. Elle semble en relation avec l'extension des zones remembrées. Les parcelles sont souvent passées de moins de 1 ha à plus de 20 ha, du début du siècle à nos jours. Avec l'intensification des cultures, on observe fréquemment une centaine d'hectares en plantes sarclées d'un seul tenant où la terre est nue pendant les périodes critiques (MAUCORPS, 1990). Cette intensification entraîne aussi une aggravation du ruissellement diffus, mais qui n'est pas généralisée selon Neboit. Elle s'observe, certes, à l'échelle de la parcelle ou du versant, mais pas sur des bassins versants (NEBOIT, 1983).

Une chose est certaine, les constats d'érosion se multiplient de la part des agriculteurs, des chambres d'agriculture, de l'INRA, de la presse locale qui informe des grosses érosions consécutives à des orages printaniers ou estivaux.

Dans le département, chaque année 15 à 20 communes sont déclarées sinistrées suite à des coulées de boues, suivant la législation sur les catastrophes naturelles. Les divers observateurs répertorient aussi des sites où l'érosion n'est pas forcément spectaculaire, mais répétée (érosion hivernale annuelle).

En conclusion, il est difficile de trancher en toute impartialité. Une augmentation de la fréquence des coulées boueuses, qui envahissent les routes et les villages, qui dévastent les champs, est probable. Mais on assiste aussi à une évolution de mentalité. La prise en considération est nouvelle depuis quelques dizaines d'années. Au delà du vécu, il y a le constat enregistré, les traces à la DDAF pour la réfection des routes, les déclarations de catastrophes naturelles, etc. qui nous font apparaître les coulées de boue comme bien actuelles. La prise en considération est bien réelle. La façon de penser évolue très lentement, on s'éloigne de la pensée des agriculteurs traditionnels "ce sont les risques du métier, la mère Nature donne généreusement mais reprend de temps en temps" (H. Moquet, comm. orale 1994) pour s'orienter vers une volonté de comprendre et d'agir. Mais elle n'est pas encore assez sensible pour entraîner des changements de pratiques (on enregistre par exemple peu de demande de la part des agriculteurs auprès de la Chambre d'Agriculture, M. Lefèvre, responsable de la formation permanente, Chambre d'Agriculture de Laon, comm. orale 1995). Peu de projets d'aménagements anti-érosifs aboutissent, la volonté est rapidement étouffée par les difficultés de financement.

I - 2 - 2 - 6 - Les sols, considérés comme support de culture ?

Un sol est un support de culture lorsque ses différents horizons ont été à plusieurs reprises remaniés, lorsque l'on ne peut plus le considérer comme un milieu vivant en tant que tel, lorsqu'un grand nombre d'éléments doivent lui être apportés pour produire (eau, azote, phosphore, oligoéléments). C'est le cas de certains sols du Lauragais où l'on laboure sur des versants des régosols cultivés depuis le Néolithique et dont les profils n'ont plus rien à voir avec le sol initial (REVEL, 1993).

On ne peut pas considérer que l'on en est arrivé à cet extrême sur les sols picards où les limons plus ou moins épais sont encore bien présents. Certes, à certains endroits, en rebord de plateau ou sur les versants du Laonnois ("rond de craie"), les sols ne sont plus très épais (30 cm) et le labour remonte des fragments du substrat, craie ou calcaire, mais il s'agit de sites ponctuels que les agriculteurs cultivent comme le reste de la parcelle (G. Legros, comm. orale, 1994).

On peut toutefois considérer que le sol est devenu un support de culture, dans le sens où il est actuellement exclusivement consacré à la culture et que le seul objectif est de produire. "Hier le paysan triturait la terre comme le boulanger pétrit la pâte" (Jean Keilling), aujourd'hui les sols sont loin de recevoir le même d'entretien et les mêmes soins (LEFEVRE, 1993). Le sol est en quelque sorte l'usine de fabrication à laquelle on apporte la matière première indispensable : azote, phosphore, etc., et à laquelle on impose de grandes parcelles et des assolements pas toujours judicieux (le rendement primant), car ils n'assurent pas forcément sa protection.

On favorise dans les assolements les cultures dites "à risques" tels le maïs ou les betteraves. Par contre, le fumier (ou les autres apports de matières organiques stables, C/N > 25), du fait de la rareté des bestiaux, devient un élément oublié par les cultivateurs. Pourtant cet amendement (parfois pollueur, s'il est mal utilisé) est extrêmement utile. Par exemple, dans les régions céréalières comme la Beauce symbole de fertilité et de richesse, la disparition des apports de fumier a réduit de moitié la teneur en matière organique des sols, ce qui est considérable surtout lorsque l'on connaît l'intérêt de cet élément sur la stabilité structurale et la fertilité des sols (LEFEVRE, 1993).

Dans certaines régions agricoles, comme le Plateau soissonnais, le fumier a disparu depuis très longtemps des amendements. Dès le début du siècle, l'élevage, en particulier ovin, s'est raréfié. Il ne reste que quelques fermes qui produisent des bovins et, donc, utilisent du fumier (exemple de G. Moquet, agriculteur à Villemontoire). Un sol cultivé quel qu'il soit "consomme" de la matière organique. Il est fort possible que les lacunes d'apports remontent à plusieurs dizaines d'années. Ainsi, chez Jean-Charles Doncoeur, agriculteur du Plateau soissonnais, des analyses de sol réalisées en 1955 font état d'un faible niveau de la teneur en matières organiques. A l'époque, l'agriculteur apportait du fumier tous les 10 ans. Aujourd'hui, l'élevage ayant disparu de l'exploitation, il entretient le niveau de matières organiques par des apports de vinasse de sucrerie tous les 3 ans. Le taux en matières organiques est maintenu à un niveau correct, mais la qualité du produit utilisé est-elle la même ? Les vinasses apportent essentiellement de la matière organique rapidement décomposée ($C/N < 25$), alors que les fumiers apportaient une matière organique stable.

Un autre type d'atteinte est apporté au sol, lors des récoltes, en particulier celles des betteraves : le tassement des sols est considérable. Deux ou trois machines se partagent les opérations nécessaires : l'effeuillage, le décolage et l'arrachage. Toutes sont très lourdes. De plus en plus, on utilise une machine qui réalise les trois opérations, ce qui permet de limiter les passages et donc le tassement du sol. Quoi qu'il en soit les chantiers de récoltes sont toujours très tassés.

I - 2 - 2 - 7 - Une compensation des pertes de sol par des apports accrus d'amendement

Dans certains cas les agriculteurs ayant constaté un appauvrissement de leur sol en limons et en matières organiques tendent à augmenter les apports en fertilisants minéraux et organiques. Le maintien de la fertilité des sols devient pour ces cultivateurs un objectif de plus en plus pressant. Ils espèrent compenser les pertes par ruissellement et par prélèvement de la plante par des apports variés mais aussi fréquents.

Les premiers excès remontent surtout à 20 ou 30 ans (MM. C. Rogier et J. C. Doncoeur, comm. orales 1995). A cette époque, les fertilisants coûtaient peu chers, on en mettait de fortes doses. Aujourd'hui, le coût est devenu un facteur important et on recherche la meilleure marge brute. Les agriculteurs évoquent aussi les "mesures incitatives"... et bientôt "les obligations" (de la "Nouvelle PAC" et de la "Directives Nitrates"). "Tout cela aurait dû se faire il y a quelques dizaines d'années, car ce sont les "saloperies" comme les nitrates qui ont été mis alors, qui arrivent aujourd'hui aux nappes. En faisant attention aujourd'hui, on prépare demain" (M. C. Rogier, comm. orale 1995).

I - 2 - 2 - 8 - Une "usure" plus rapide que la reconstitution ?

Le Soil Conservation Service américain, partant du principe que le sol est un capital très lentement renouvelable, a établi le seuil de tolérance de 11 t/ha/an (quantité maximale d'érosion tolérable) au-delà duquel des mesures anti-érosives doivent être adoptées. Ce seuil montre nettement une volonté de limiter et stopper les effets de l'érosion sur "l'héritage sol".

Dans nos régions, on estime qu'un sol de 1,30 m peut se former en 12 000 ans. Ce qui est relativement rapide car les minéraux constituant la roche mère sont déjà des minéraux secondaires. "Les sols mettent des milliers d'années à se constituer, mais lorsque l'homme travaille le sol, il peut le détruire complètement en quelques générations" (REVEL, 1993). N'est-ce pas ce qu'on risque si l'on en croit certaines mesures d'érosion réalisées dans le Bassin Parisien (quelques tonnes à quelques dizaines de tonnes selon les auteurs) ?

- Perte de sol, perte de capital

L'érosion est avant tout une perte de terre, une perte d'éléments indispensables au maintien d'une bonne structure et d'une bonne fertilité (matières organiques, limons, azote et autres matières fertilisantes). Certains n'hésiteront pas à dire qu' "en permettant l'homme, la nature a commis beaucoup plus qu'une erreur de calcul, un attentat contre elle-même" (Cioran dans LEFEVRE, 1993). L'homme, initialement prédateur, puis chasseur-cueilleur, aujourd'hui agriculteur, dispose d'autant de moyens techniques pour transformer l'équilibre écologique du territoire. Ces dernières années de graves erreurs ont été commises. C'est en particulier la PAC qui est accusée en ayant poussé au productivisme (LEFEVRE, 1993). Si ce n'est plus le cas aujourd'hui, elle a incité, dans un premier temps, à l'intensification, à l'augmentation des productions et, à cette fin, à l'utilisation de tous les procédés disponibles (modification parcellaire : agrandissement des parcelles et suppression des haies, fertilisation et traitements à outrance...). Il a fallu beaucoup d'années pour évaluer les conséquences négatives (WICHEREK, 1993a, 1994) et les risques pour l'avenir.

I - 2 - 2 - 9 - Deux patrimoines fragiles : les sols et les eaux

Le sol constitue une interface entre les eaux de surface et les eaux souterraines. Ces trois compartiments étroitement liés et imbriqués sont touchés par des dégradations multiples.

I - 3 - Les eaux souterraines et les eaux de surface : les atteintes d'origine agricole

"L'eau ainsi est le regard de la terre,
son appareil à regarder le temps"

Paul Claudel
"L'oiseau noir dans le ciel levant"

Vers les années 1970, on assiste à une prise de conscience générale en France : les nappes d'eau souterraine et les eaux superficielles subissent des dégradations croissantes. Deux inventaires permettent d'illustrer ces faits : en 1971 pour les eaux de surface et en 1976 (année de la grande sécheresse) pour les eaux souterraines (SEBILLOTTE, 1994). Dans les deux cas, c'est essentiellement une augmentation des teneurs en nitrates qui est observée. Ces pollutions azotées, mais aussi phosphorées, bactériologiques ou liées à des produits phytosanitaires sont dans plusieurs cas en relation avec les activités agricoles. Entre autres, on met en cause, selon les régions, d'une part l'élevage intensif, et plus particulièrement l'élevage porcin avec le problème de l'élimination du lisier, et d'autre part, l'emploi excessif d'engrais. Une première loi permet d'enrayer une partie de ces problèmes en 1976, puis vient la loi sur l'eau de 1992 et enfin la création de groupements interministériels comme la Mission Eau-Nitrates-Phyto, menée conjointement par les Ministères de l'Environnement et de l'Agriculture. Les Mesures Agri-Environnementales (MAE), mesures d'accompagnement de la PAC, interviennent aussi en incitant à la limitation des intrants, à la mise en jachère et à l'extensification. Pourtant aujourd'hui encore le problème est aigu, des pollutions ponctuelles des eaux de surface par l'azote, le phosphore, des sédiments riches en métaux lourds ou des pesticides sont encore observées (POMMARET, 1994).

Dans le cas de la pollution des eaux de surface, comme celle des eaux souterraines, le sol apparaît comme un lieu de transit des polluants : les atteintes au sol entraînent des atteintes aux eaux.

I - 3 - 1 - Le sol "boîte noire"

Comme le souligne la Charte des sols promulguée en 1972, "le sol est un des biens les plus précieux de l'humanité et un élément fondamental de la biosphère qui contribue avec la végétation à régler le cycle hydrologique et la qualité des eaux". Les interactions sont étroites entre les sols, les ressources en eau, la vie végétale et la vie animale. Ainsi, "les relations et les incidences eau/sol apparaissent en tout point dans le cycle de l'eau et forment un système écologique interactif que de nombreuses interventions humaines peuvent modifier aussi bien positivement que négativement" (allocution de G. Tendron aux journées de l'AIDEC en mars 1994). De fait, toutes les actions menées sur le sol se répercuteront sur les flux ou la composition des eaux par des processus qui sont encore mal maîtrisés, car extrêmement complexes. En effet, le sol "est sûrement l'une des "boîtes noires" qui nous reste la plus hermétique" (SAHUC, 1993).

Le sol, interface avec l'atmosphère, joue un rôle sur la circulation de l'eau atmosphérique. Il est aussi le support du couvert végétal qui va aussi influencer les écoulements (1ère partie, I - 2). Il est le site de déroulement du cycle particulièrement important de l'azote (pertes d'azote, transformations de matière organique).

Il est le lieu d'habitat d'une microfaune abondante qui joue un rôle primordial :

- un rôle mécanique (fragmentation très poussée et enfouissement naturel des débris végétaux, formation de galerie et augmentation de la porosité structurale).
- un rôle chimique et biologique (les vers de terre, par la circulation de la terre dans leurs intestin, permettent une augmentation du pH et de la matière organique ; les protozoaires les algues, les champignons, les actinomycètes et les bactéries interviennent dans la formation de l'humus ou dans les processus de dégradation de composés constitués de carbone, azote et soufre, comme un pesticide).

Le sol est un milieu complexe où l'équilibre est fragile. Parfois en voulant l'améliorer, l'homme peut entraîner un déséquilibre. Un apport de litière ou de compost, par exemple, augmentera le taux de matière organique et donc la fertilité, mais en même temps cela provoquera un développement déséquilibré de micro-organismes. Ainsi, il y a, à court terme, disparition de la réserve de carbone apportée et, à long terme, dégradation de la matière organique qui se trouvait à l'origine dans le sol. Si dans un premier temps, on provoque une amélioration, dans un second temps, on provoque une dégradation.

"A partir du moment où un sol a été modifié par des actions anthropiques depuis plusieurs années, voire depuis plusieurs générations, on ne peut pas avoir de bon équilibre biologique" (KAEMMERER, 1993). Toute dégradation du sol par l'érosion ou modification du pH peut modifier les conditions de solubilisation de certaines substances humiques qui sont solubilisées et entraînées plus rapidement vers les eaux souterraines.

Par ailleurs, la plupart des produits issus de l'industrie peuvent être décomposés par des micro-organismes, c'est une question de temps. Dans toutes les synthèses, il y a du carbone, de l'azote et du soufre, il y aura dégradation, même s'il faut plusieurs siècles pour cela.

Pourtant, "l'emploi abusif de ces produits phytosanitaires peut conduire, dans le domaine agricole, à l'altération de la composante biologique du sol et donc à l'appauvrissement de celui-ci. Ce qui signifie une baisse de sa fertilité et donc un coût supplémentaire pour l'agriculteur en matière d'engrais et d'amendements" (BAURENS, 1993). Tout ceci peut aussi entraîner un affaiblissement des plantes et leur moins bonne résistance aux parasites. C'est donc un cercle vicieux, car les plantes sensibilisées nécessiteront des traitements phytosanitaires plus fréquents. L'utilisation des produits phytosanitaires constitue une obligation pour obtenir des rendements en adéquation avec la demande du marché.

"L'agriculture n'est pas une activité naturelle. Quand on pratique l'agriculture, il faut savoir compenser la manipulation qui est faite" (HAZELIP, 1993). Mais en respectant autant que possible le sol par des apports équilibrés d'amendements, de fertilisants ou de produits phytosanitaires, le problème étant pour l'agriculteur de définir cet "apport équilibré".

I - 3 - 2 - Les eaux "réceptacle"

I - 3 - 2 - 1 - Evolution globale : un constat de détérioration

*** Les eaux de surface**

Actuellement, on assiste à une amélioration de la qualité des grands cours d'eau (essentiellement liée à l'amélioration des rejets industriels et urbains) mais aussi à une dégradation continue des petits cours d'eau en relation avec des apports diffus (POMMARET, 1994).

Les études du SREMA (Service Régional d'Etude des Milieux Aquatiques) d'Amiens montrent une perturbation de la qualité des petits cours d'eau de Picardie essentiellement chronique (matières en suspension MES, matières organiques MO, turbidité et autres...). La pollution observée peut quelquefois être mise en relation avec les activités agricoles. Par temps pluvieux, période de ruissellement, la présence d'éléments polluants d'origine agricole est plus sensible.

Ainsi, sur la vallée de l'Ourcq^(*), par temps pluvieux, les MES totales (environ 60 mg/l) peuvent dépasser la directive CEE relative aux eaux aptes à la vie piscicole, en raison du ruissellement et de l'érosion des sols, "d'autant plus que la nature des sols essentiellement sableux sur les zones amont prédispose à ces érosions" (BAZERQUE, 1991). En octobre 1988, sur le Vilpion^(*), affluent de la Serre, on note aussi une augmentation des teneurs en MES totales consécutive à des pluies, augmentation qui s'accroît d'amont en aval parallèlement aux apports diffus (30 à 88 mg/l contre 14 à 24 mg/l en juin) (BAZERQUE, 1990).

Pour chaque campagne, c'est sur ces zones amont qu'on mesure les plus fortes concentrations en nitrates (22,8 mg/l sur la Savières, affluent de l'Ourcq) en relation avec l'occupation du sol, d'autant que le faible débit ne permet pas de diluer les flux polluants (ruissellements et rejets d'élevage).

Pour l'ensemble des bassins de l'Ourcq et du Vilpion, ces concentrations en azote sont plus élevées en juin et plus faibles en octobre par temps pluvieux, peut-être en raison de la dilution.

^(*) L'Ourcq et le Vilpion sont les cours d'eau qui reçoivent les eaux de ruissellement des deux BVEC étudiés par la suite.

Quant aux formes du phosphore, elles constituent, au printemps comme à l'automne, un facteur pénalisant pour la qualité de l'Ourcq et du Vilpion, mais on ne peut définir son origine, urbaine ou agricole (BAZERQUE, 1988 à 1991).

Si on repère bien les zones amont polluées par l'élevage (comme sur la partie amont du Vilpion, en Thiérache, région d'élevage), sur certains rus, la grande culture intensive a aussi un fort impact. Ce sont essentiellement les fortes teneurs en nitrates qui en sont la preuve (apports excessifs et non-fractionnés dans le temps). Mais le rapport signale aussi que les plus gros problèmes de qualité recensés ne sont pas associés aux activités agricoles, mais aux rejets domestiques non-traités, ainsi qu'aux eaux dites pluviales. Sur le Vilpion, les rejets industriels sont aussi très néfastes. Enfin, le rapport signale aussi les pollutions accidentelles industrielles ou agricoles (renversement de cuve, vidange accidentelle de citerne) qui, bien qu'occasionnelles, peuvent compromettre l'équilibre du cours d'eau. Le risque de présence de produits phytosanitaires n'est qu'évoqué et avec beaucoup de questions en suspens car aucune analyse n'est réalisée dans ce domaine.

Pour limiter les pollutions observées par les nitrates et celles présumées par les produits phytosanitaires du département, le Schéma des vocations piscicoles et halieutiques du département de l'Aisne suggère, parmi de nombreuses propositions d'action, la préservation des bandes rivulaires et la maîtrise des eaux de ruissellement (érosion, produits de traitement), et ceci à court et moyen terme (Anonyme, 1993, DDAF de l'Aisne et H. Vangueluwén, comm. orale 1993).

Les analyses réalisées par le SRPV (Service Régional de la Protection des Végétaux) montrent, quant à elles, la présence de polluants phytosanitaires dans le bassin de la rivière Somme et de ses affluents. Mais le SRPV signale que la présence de ces produits n'est pas uniquement liée aux activités agricoles. D'autres utilisateurs peuvent être mis en cause. Par exemple, la métamitronne (triazines) et l'isoproturon (urées substituées) sont uniquement à usage agricole. Par contre, l'enquête montre que certains produits comme l'atrazine (triazines) et le diuron (urées substituées), aussi utilisés à des fins non-agricoles (comme le désherbage des voies ferrées), sont retrouvés lors des campagnes d'analyses (MATHON, DEGREG, 1993 et MATHON, SRPV de Verdilly - 02, comm. orale 1993).

- Les accidents

Les renversements de cuve de stockage, les fuites, les erreurs de manipulation, comme le rinçage d'un conteneur et le rejet du lixiviat au cours d'eau, etc. sont des accidents rares heureusement, mais existants. Ponctuels et concentrés en polluants, ces accidents sont, en général, très nuisibles pour le cours d'eau, en particulier pour la vie piscicole.

Un inventaire des procès verbaux dressés à l'occasion d'un constat de pollution des cours d'eaux a montré que les agriculteurs étaient parfois responsables de pollutions importantes.

En 1991, sur 41 procès verbaux dressés, 4 agriculteurs ont été reconnus responsables et 4 responsables sont demeurés inconnus. En 1992, sur 34 procès verbaux dressés, 8 ont été attribués à des agriculteurs et 6 à des inconnus. Début 1993, sur 9 procès verbaux dressés, 3 ont été attribués à des agriculteurs et 1 à des inconnus. Le nombre d'incidents est faible, mais les conséquences sont souvent désastreuses.

Quelques exemples sont utiles pour comprendre de quel type d'incidents il s'agit et quelles en sont les conséquences. Par exemple, le 5 avril 1991, un agriculteur a vidangé un tank de lait impropre à la consommation contaminé par des champignons et des bactéries. Le 10 février 1993, un autre agriculteur déversait 3 citernes de 5 000 litres de purin en bordure du cours d'eau. Plus proche de nos préoccupations, le 18 avril 1991, un agriculteur a déversé un excédent de traitement dans un ru.

Le produit en question, un herbicide le TAZASTOM 300, contenait du phendiméthaline et de l'atrazine. Une amende de 120 000 francs a été réclamée. Le 26 septembre 1991, un agriculteur a nettoyé une machine à traiter les semences (quinolate, oxyquinolate de cuivre, lindane, endosulfane) à coté d'un regard pluvial : plus de 130 kg de poissons morts ont été repêchés sur 5 km.

Autre type d'incident, le 27 août 1992, le muret de soutien d'une cuve à engrais s'effondre. 36 000 litres d'engrais liquide concentré se déversent dans le regard de la cours et rejoignent directement le Vilpion et la Serre : 320 kg de poissons morts sur 4,2 km du Vilpion et 250 kg sur 6 km de la Serre.

Le plus souvent, ce sont les nettoyages de pulvérisateurs ou de machines de traitement qui sont responsables de pollutions. A plusieurs reprises, dans le cas de responsables inconnus, on a suspecté des activités agricoles. Ces quelques exemples montrent l'existence de manipulations indelicates. Il s'agit dans presque tous les cas de produits extrêmement dangereux, en quantité notable et surtout concentrés (archives obtenues auprès de M. Rode, DDAF de Laon, Service Déclaration des sinistres, mai 1993). Bien que peu nombreux, ces incidents sont encore trop fréquents.

* Les nappes phréatiques

"Cette eau qu'un long voyage a rassemblé...
c'est de l'eau pour les hommes."

Introduction
d'après Compte Rendu de l'Académie d'Agriculture, 1992

Dans le Bassin Seine-Normandie, l'Aisne apparaît comme le huitième département touché en ce qui concerne les nitrates dans la nappe phréatique (DELOUVEE, 1990).

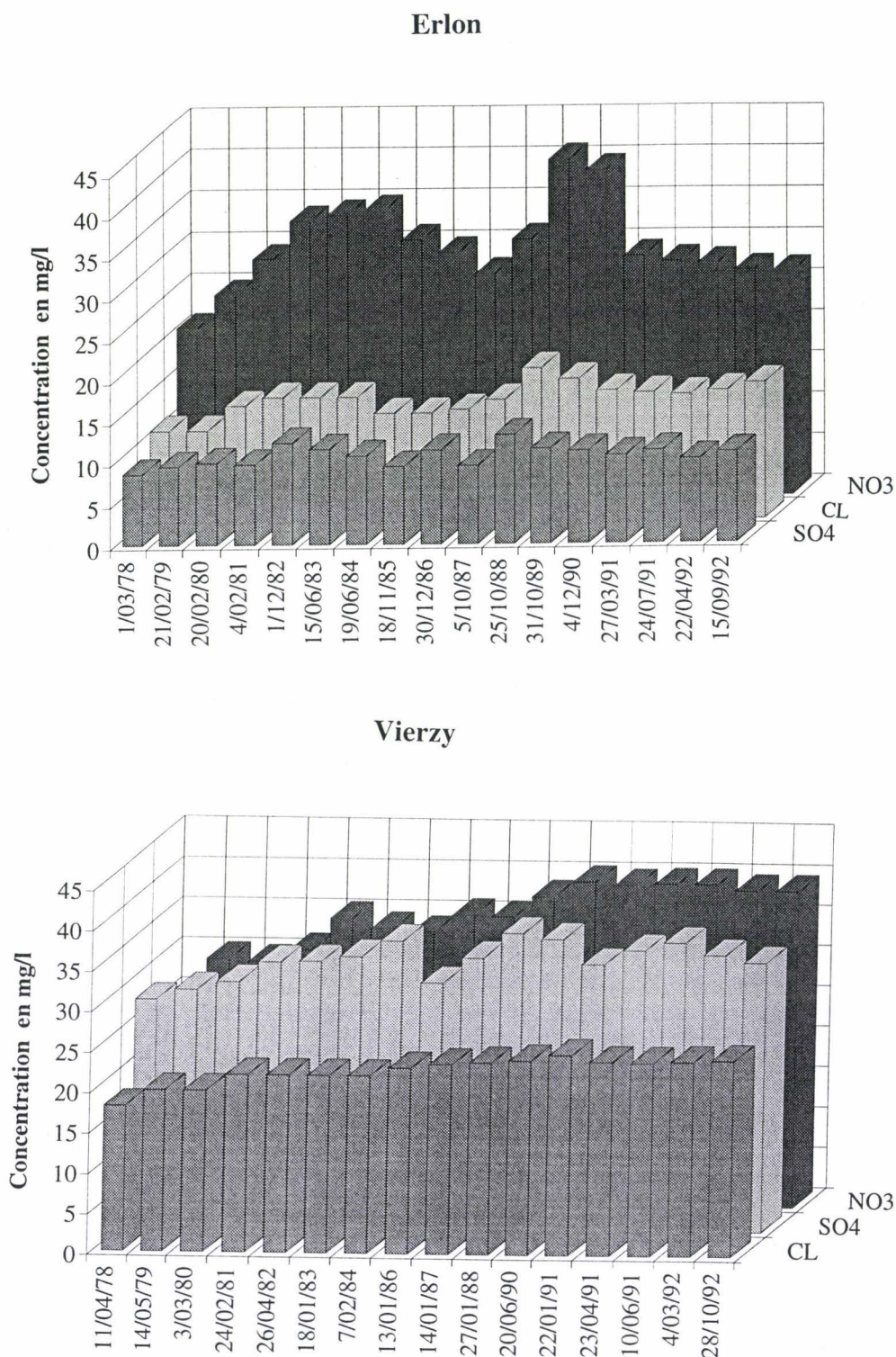
De 1966 à 1982, les teneurs moyennes en nitrates dans les différentes nappes du département de l'Aisne ont globalement augmenté (CAOUS et al, 1963 et CAOUS et al, 1984). Comprises entre 7 et 27 mg/l, elles avoisinent, moins de 20 ans après, 17 à 46 mg/l selon les nappes. La nappe du calcaire du Lutétien présente des concentrations supérieures à celles de la nappe libre de la craie.

Cette tendance à l'augmentation des teneurs en nitrates dans les eaux de nappes se confirme encore aujourd'hui, comme le montre les résultats des analyses dans des AEP (Adduction en Eau Potable) du département (fig. I - 3 - 2 - 1 - a, ci-après).

Ce problème préoccupe de plus en plus. A tel point que des municipalités du département touchées par cet accroissement excessif de nitrates participent à des études. C'est le cas de la commune de Bruyères-et-Montbérault, où les agriculteurs qui exploitent le plateau se prêtent à des expérimentations comme la gestion de l'interculture. L'objectif est d'étudier l'impact sur les eaux de sources utilisées pour la consommation (DAMAY, QUIZY, 1993).

Ces expérimentations se déroulent dans le cadre du programme A.QUA.E (Amélioration de la Qualité des Eaux) menée par la Chambre d'Agriculture. Un réseau de 150 parcelles est ainsi suivi sur la plan agronomique (bilan d'azote) et trois communes font l'objet d'un suivi particulier (Anonyme, 1992, A.QUA.E, Chambre d'Agriculture).

Figure I - 3 - 2 - 1 - a : Evolution des teneurs en nitrates aux AEP (Adductions en Eau Potable) des communes d'Erlon (craie libre) et de Vierzy (calcaire du Lutétien) (DASS)



I - 3 - 2 - 2 - Les processus et les conséquences des pollutions par des fertilisants et des produits phytosanitaires

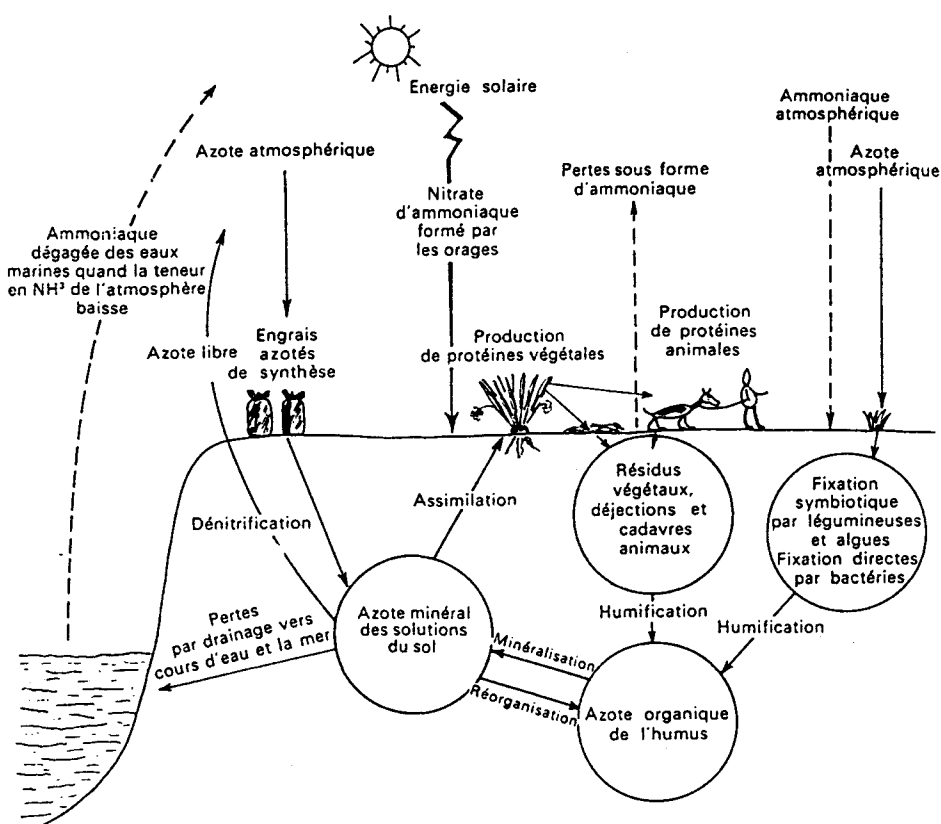
* L'azote : un cycle avec des formes très solubles

- L'azote dans le système sol-plante

Le sol contient naturellement de l'azote qui est à 95-98 % sous forme organique (humus, racines...). L'azote organique représente généralement 0,1 à 0,2 % de la terre fine. Cet azote n'est pas directement disponible pour les plantes, il doit être au préalable minéralisé, c'est le cycle de l'azote, extrêmement bien connu (nitrification/minéralisation). Les nitrates (NO_3^{2-}), forme résultante dominante, consommable par les plantes, sont très solubles contrairement à l'ammonium (NH_4^+), forme cationique.

Ces nitrates sont très peu retenus par le complexe argilo-humique du sol, ce qui explique qu'ils soient "lessivables". Ils pourront ainsi percoler et rejoindre la nappe phréatique ou bien subir d'autres transformations (fig. I - 3 - 2 - 2 - a, ci-dessous).

Figure I - 3 - 2 - 2 - a : L'azote dans le sol (GAUCHER, 1968)



Les nitrates du sol proviendraient essentiellement de la biodégradation de la matière organique du sol (nombreux auteurs cités par LHERMINIER, 1991). Seulement 5 à 10 % de l'azote viendraient des apports en azote minéral sous forme d'engrais chimiques. De plus, la fertilisation minérale azotée semble contribuer à la diminution des teneurs en humus du sol en favorisant sa minéralisation et donc la formation de nitrates (LHERMINIER, 1991). De fait, certains agriculteurs apportent de l'azote minéral sur les résidus de récolte pour accélérer la décomposition des résidus pendant l'hiver (G. Legros, comm. orales).

L'ammonium (NH_4^+) et les nitrites (NO_2^-), produits par l'ammonification, ne sont que des produits intermédiaires. Leur présence dans le milieu indique une perturbation ou un déséquilibre du cycle.

C'est la forme nitrate qui est essentiellement absorbée par les cultures (sauf les légumineuses qui puisent l'azote dans les réserves atmosphériques sous forme de N_2).

Les nitrates présents dans les sols cultivés peuvent à différentes périodes (période de végétation ou après récolte) se trouver en excès et être lessivés. Lorsqu'ils sortent de l'espace racinaire, ils peuvent être considérés comme perdus pour la végétation et ils rejoignent la nappe phréatique.

- La fertilisation azotée minérale

Les pertes azotées vers les eaux de surface se font de façon plus efficace après fertilisation des parcelles par des engrais minéraux qui se trouvent alors à la surface du sol. Toutefois, la végétation en place puise l'azote présent dans le sol et il y a peu de percolation, sauf dans le cas d'une très forte surfertilisation, dépassant la capacité d'absorption de la plante. Cependant même dans ce cas, un bilan hydrique négatif empêcherait l'azote véhiculé par l'eau de sortir de l'espace racinaire. A l'inverse, après récolte, lorsque l'azote du sol n'est plus puisé par les plantes, que le bilan hydrique redevient positif, l'azote peut percoler. Par exemple, des mesures sur reliquat azote dans les sols à l'entrée et à la sortie de l'hiver montrent une forte migration de l'azote en profondeur (Anonyme, 1992, A.QUA.E, Chambre d'Agriculture). L'azote n'est pas forcément perdu. Des céréales s'enracinant profondément peuvent le puiser dans les sols.

Dans tous les types de sol, la fertilisation azotée minérale est nécessaire pour garantir le rendement (1ère Partie, II - 3, sauf pour les légumineuses). Cependant les pertes sur sols filtrants sont plus importantes que sur sols profonds et elles sont aussi souvent facilitées par une surfertilisation.

- Les problèmes posés par les nitrates

Des concentrations excessivement élevées risquent de provoquer chez l'homme et les animaux des maladies spécifiques. Chez l'homme, elles risquent d'entraîner la méthémoglobinémie (réduction de la capacité du sang à transporter l'oxygène). Les femmes enceintes et les nourrissons étant plus sensibles, la communauté européenne a choisi le seuil assez strict de 50 mg/l. Mais depuis 20 ans, aucun cas de méthémoglobinémie n'a été signalé en France. De même, le risque de cancer dénoncé par certains n'a jamais été démontré.

* Le phosphore : essentiellement fixé

- Les formes du phosphore

Comme l'azote, le phosphore est naturellement présent dans les sols. Il se trouve essentiellement sous deux formes : fixée (sur MES ou organique) ou soluble. Mais, il existe aussi une forme inerte (apathique). Le phosphore soluble est le phosphore biodisponible pour la plante. La forme soluble dominante est constituée par des orthophosphates. Comme les nitrates, le phosphore assimilable se déplace dans l'espace racinaire et ses déplacements sont liés au fonctionnement hydrique. Le phosphore se caractérise par une forte capacité de fixation sur les MES. Il peut être lié au fer ou sur des sédiments. Il se déplace essentiellement sous forme fixée. Sa présence est donc fortement liée à la teneur en MES d'un flux. On peut avoir de 200 à 1 500 ppm de phosphore sur MES.

- Le phosphore dans le milieu naturel

Dans le milieu récepteur, entre autres le lac ou la rivière, le phosphore soluble est rapidement incorporé au réseau trophique et consommé par les poissons. Ainsi ce sont les orthophosphates et les polyphosphates qui sont assimilés le plus rapidement.

Par contre le phosphore particulaire, du fait de son poids, est entraîné plus ou moins vite vers le fond où la probabilité d'être intégré à la chaîne trophique devient plus limitée. A ce niveau, la taille de la particule véhiculant le phosphore est primordiale : une particule plus lourde migre plus vite, une autre plus légère reste plus longtemps en surface et est susceptible d'être transformée et assimilée. A titre d'exemple, un colloïde parcourt 1 m vers le fond d'un lac en dix jours, par contre les particules supérieures à 10-20 µm tombent assez rapidement au fond du lac.

La charge initiale en phosphore dans le milieu récepteur est décisive pour les échanges MES et phosphore. Si le flux phosphore/MES se décharge dans un milieu récepteur riche en phosphore, les MES apportées par le flux pourront fixer le phosphore du milieu récepteur. Par contre, si le milieu récepteur est pauvre en phosphore, les MES apportées peuvent en relarguer. En fait, la charge en phosphore sur les MES n'intervient pas.

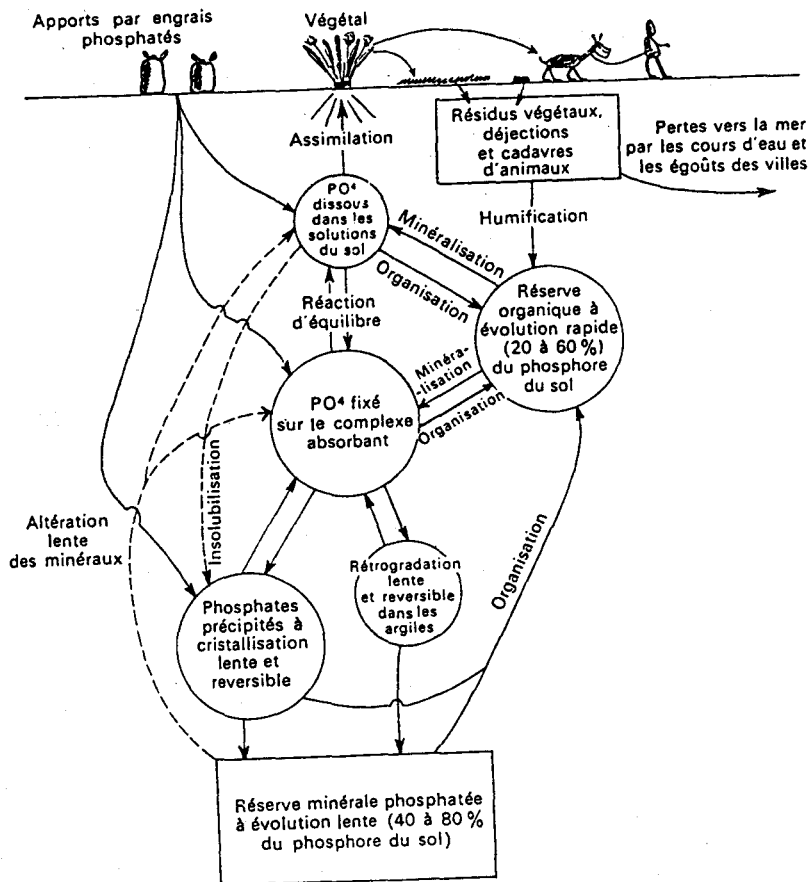
En résumé, il faut distinguer le phosphore actif (phosphore soluble) du phosphore passif (phosphore particulaire). Il faut aussi tenir compte de l'état du milieu récepteur et du milieu émetteur, en raison de leur pouvoir fixateur, ils vont faire varier la biodisponibilité. La granulométrie des MES est aussi importante puisque c'est elle qui va jouer sur les vitesses de migration et donc le temps de contact avec les algues fixatrices. De plus, les caractéristiques (salinité,...) du milieu, récepteur ou émetteur, sont importantes à connaître car elles influencent les échanges (P. Blanc et J. M. Dorioz, comm. orales 1994).

- Phosphore et eutrophisation

Le phosphore est l'élément déclencheur de l'eutrophisation surtout dans les cours d'eau lenticques. L'eutrophisation est consécutive à un excédent d'éléments minéraux dans le cours d'eau, ce qui entraîne une croissance algale exagérée et une forte consommation de l'oxygène dissous. La vie piscicole est alors fortement perturbée.

L'azote, pour sa part, n'est qu'un facteur qui permet d'orienter l'évolution de la production de la population présente : il intervient en jouant le rôle de facteur limitant.

Figure I - 3 - 2 - 2 - b : Le phosphore dans le sol (GAUCHER, 1968)



* Les produits phytosanitaires : une multitude de comportements et de risques.

On connaît très mal le devenir des produits phytosanitaires dans le sol, et ceci pour plusieurs raisons. Tout d'abord, en liaison avec la multitude de matières actives existantes, il existe en France plus de 600 matières actives commercialisées. Ensuite, leur comportement dans le milieu peut être très variable. Les matières actives peuvent se fixer sur des sédiments ou sur des composés organiques, se dégrader sous l'action de la lumière, se volatiliser, etc. Enfin, ces composés, en se décomposant, donnent de nombreux métabolites très difficiles à identifier (ROBERT, 1994) et tout aussi toxiques (pour plus de détails sur les produits phytosanitaires se reporter à l'annexe 8).

Dans des conditions d'orages, le ruissellement et l'érosion entraînent une forte contamination. On a quelquefois enregistré des concentrations mille fois supérieures à la norme qui est de 0,1 µg/l dans les eaux potables (BELAMIE, GIROUD, 1986). Mais ces composés sont parfois très solubles et on les retrouve aussi dans les nappes phréatiques. Pouvant être très dangereux pour la santé humaine et la vie piscicole, l'usage de certains produits est interdit (DDT, PCB) ou réglementé (atrazine, lindane, etc.).

A tout cela s'ajoute la difficulté d'accès à l'information. Les fabricants sont nombreux. Des bases de données existent, mais elles sont encore incomplètes (3615 AGRITOX - INRA, Ministère de l'Agriculture, etc.).

I - 3 - 2 - 3 - Les pratiques agricoles mises en cause : des traitements excessifs et des pratiques en évolution

En 40 ans, la dose d'azote apportée aux cultures a été multipliée en moyenne par 5. Une surfertilisation azotée est probable sur la plupart des sols cultivés (ZILLIOX et al, 1990).

Une estimation des apports de fertilisants et de produits phytosanitaires d'après enquêtes auprès des agriculteurs et des coopératives agricoles montrent que les quantités utilisées à l'échelle du département de l'Aisne sont considérables (fig. I - 3 - 2 - h, bases de calcul annexe 2).

Par ailleurs, la disparition de l'élevage, la diminution de la fertilisation organique, l'appauvrissement en matières organiques (approfondissement des labours, multiplication des façons culturales), l'évolution des rotations (sols nus en hiver) portent atteintes à la stabilité des sols, et en conséquence aux eaux en favorisant le ruissellement ou la percolation (DELOUVEE, 1990).

L'absence de culture intermédiaire est néfaste. Une culture intermédiaire peut retenir en moyenne 15 kg d'azote en plus dans les 60 premiers centimètres du sol (Anonyme, 1992, A.QUA.E, Chambre d'Agriculture). C'est autant de gagné pour la nappe phréatique et la culture suivante.

Les apports doivent autant que possible être fractionnés pour limiter les risques d'entraînement par ruissellement en cas d'orages (MACHET, VILLETTE, QUIZY, 1991).

Figure I - 3 - 2 - 3 - a : Estimation des apports de fertilisants et de produits phytosanitaires d'après enquêtes dans le département de l'Aisne

	N en kg/ha	P en kg/ha	K en kg/ha	P en kg/ha (*)	MA en g/ha (**)
céréales	180	100	100	20	8200
betteraves industrielles	130	100	180	15	5000
maïs	120	100	120	21	2400
pommes de terre	150	100	280	4	3400
pois	0	60	120	8	2300

(*) P : produit commercialisé

(**) MA : matière active

I - 4 - Concilier la protection des ressources naturelles et une agriculture durable et respectueuse de l'environnement en terre de grande culture : mythes ou réalités

I - 4 - 1 - La conservation des sols et des eaux : un double objectif vers la qualité

La conservation des sols est souvent considérée comme mineure par les usagers de l'eau, or la rivière est la voie d'évacuation, le réceptacle de tout ce qui sort des champs. De plus, la conservation de la ressource en eau est un aboutissement de la maîtrise des pollutions diffuses d'origines agricoles. Ainsi, la maîtrise du ruissellement et de l'érosion (par une amélioration de la stabilité des sols, par des pratiques modifiées, par des aménagements, etc.) présente un double intérêt : limiter l'appauvrissement des sols cultivés et diminuer les apports polluants aux cours d'eau.

I - 4 - 2 - La notion de développement durable

La notion de développement durable, apparue dans les années 1980, concernait les villes. Aujourd'hui, le terme est aussi employé dans le domaine des activités agricoles, parce qu'on a pris conscience d'un certain nombre d'excès, mais aussi d'un besoin de préserver notre capital de production alimentaire.

Le développement durable en agriculture signifie concilier les productions agricoles avec la protection des ressources naturelles et la préservation du milieu de production, c'est-à-dire promouvoir une agriculture "propre" et respectueuse de son support de production, le sol. Ce concept prend de plus en plus d'ampleur d'autant que les prévisions alarmistes se multiplient. Certains prévoient en effet que l'espace rural sera transformé de façon spectaculaire : une proportion importante ne sera plus exploitée par des agriculteurs, mais par le marché du bois, les loisirs, les espaces plus ou moins entretenus, l'urbanisation, la péri-urbanisation, etc. La concentration dans les zones les plus productives va s'accroître, les systèmes hors sols vont se multiplier. Un rapport néerlandais annonce à la Communauté Européenne qu'en 2010, 70 à 80 % de la production agricole européenne se concentrerait autour des grands bassins portuaires. Et de conclure qu'"une politique française est nécessaire impérativement" (KAISER, 1993).

I - 4 - 3 - Les initiatives ministérielles et européennes

Depuis 1982, les Ministères de l'Environnement et de l'Agriculture oeuvrent ensemble, dans le cadre de la Mission-Eau-Nitrates-Phyto (ou CORPEP) pour promouvoir la "maîtrise de la fertilisation" et les "conduites raisonnées". Des expérimentations, mais aussi des publications nombreuses sont proposées aux agriculteurs. Depuis quelques années, on délivre même un label "Ferti-Mieux" à des zones pilotes où les agriculteurs ont adopté des pratiques protectrices (baisse de la fertilisation, cultures intermédiaires, etc.).

Dans le cadre des mesures agri-environnementales de la PAC, la lutte contre l'érosion, la protection des cours d'eau, la limitation des intrants ont été définis comme des objectifs primordiaux.

En Picardie, par exemple, des zones d'actions prioritaires ont été définies et proposées à Bruxelles (Mme Lebas, DRAF Picardie, comm. orale 1994 et M. Toutin, Conseiller Régional, comm. écrite 1994).

I - 4 - 4 - Les nombreuses études actuellement menées sur ces thèmes

Loin de constituer un inventaire complet, les quelques exemples ci-dessous montrent la variété des expérimentations portant sur l'érosion et la dégradation de la qualité des eaux en relation avec les activités agricoles, ainsi que la recherche de meilleures pratiques culturales. Les études fondamentales sont essentiellement poursuivies par l'INRA, Institut National de Recherche en Agronomie, mais aussi par le CEMAGREF, Centre d'Etude du Machinisme Agricole du Génie Rural des Eaux et de Forêts, et des laboratoires universitaires. Quant aux études très appliquées, elles sont menées par les chambres d'agriculture, les coopératives agricoles, les instituts techniques, comme l'ITCF, Institut Technique des Céréales et des Fourrages, ou encore par des bureaux d'Etude, comme AREAS, Association Régionale pour l'Etude et l'Aménagement des Sols) dans le Pays de Caux ou Emergence dans le Laonnois.

Dans le Pays de Caux et le Laonnois, l'INRA (de Laon et d'Orléans) et l'AREAS travaillent conjointement sur les problèmes d'érosion. Les études concernent des placettes où sont observés les états de surface (BOIFFIN, 1984 ; LE BISSONNAIS, 1988), mais aussi des BVEC où sont dimensionnés les rigoles (LUDWIG, 1992) et où sont, depuis plus récemment, échantillonnés les eaux de ruissellement (LUDWIG, BEN KHADRA, etc.).

En relation avec la protection des eaux du lac Léman, la station de limnologie de l'INRA de Thonon-les-Bains étudie les transferts de polluants, en particulier le phosphore, sur des bassins versants agricoles de plusieurs dizaines d'hectares à quelques kilomètres carrés.

On pourrait aussi citer l'INRA de Rennes qui travaille sur la répartition spatiale de l'érosion à l'échelle parcellaire (S. Cayot, comm. orale 1996), le CEMAGREF de Lyon sur les transferts de produits phytosanitaires sur petits bassins versants viticoles (MUNOZ, 1992 ; GRIL, DUVOUX, 1991), l'INRA de Paris Grignon, avec le CEMAGREF d'Antony et le CNRS (laboratoire de Meudon) sur les pertes de MES et pesticides par drainage sur le bassin versant d'Orgeval (78) (MERCIER et al, 1995 ; LEVIANDIER, 1995).

Les pratiques agricoles sont plus particulièrement suivies sur les parcelles expérimentales des chambres d'agricultures et des coopératives agricoles (dans le cadre de réduction des intrants). De nombreuses expérimentations sont aussi menées par les ITCF, à Boigneville (91) sur les pertes d'azote (ruissellement et percolation) et à Jaillères (44) sur les transferts d'atrazine.

Des expérimentations appliquées débouchent sur des aménagements (Agences de l'Eau) ou des labels certifiant une production plus respectueuse de l'environnement, comme l'opération "Ferti-Mieux" sous la tutelle de l'ANDA (Association Nationale pour le Développement Agricole), du CORPEN (Comité d'Orientation pour la Réduction de la Pollution des Eaux par les Nitrates les phosphates et de la Mission-Eau-Nitrates-Phytos).

Globalement, les expérimentations sont nombreuses, mais les résultats sont souvent attendus à long terme et les objectifs sont fréquemment les mêmes : évaluer et gérer les risques.

I - 5 - Conclusion

Par le biais du ruissellement et de l'érosion, l'agriculture constitue une source de pollution diffuse notable. Le maintien d'un haut niveau de productivité nécessite des apports qui ne laissent rien au hasard. Le risque de pollution diffuse est-il proportionnel à l'intensité et la nature de ces apports ? Dans ce cas, il est nécessaire de bien les cerner. Par ailleurs, les facteurs topographiques et pédologiques ne donnent pas les mêmes conditions de vulnérabilité initiales. Dans le nord du Bassin Parisien, plusieurs situations de relief et de culture existent et on peut s'interroger sur l'égalité des risques résultants. Deux espaces présentant des caractéristiques naturelles et agraires différentes ont été retenus.

II - Reliefs variés et paysages agraires différents : une inégalité des risques ?

Le vaste espace agricole qui s'étend de la Loire aux rives de l'Escaut, des Ardennes aux plateaux au nord de Paris présente les mêmes conditions d'ensemble favorables à la culture : climat sous influence atlantique, sols fertiles et profonds, présence humaine, mise en culture ancienne donc expérience culturelle, etc. Cependant cette longue suite de campagnes fertiles montre d'innombrables nuances de relief et de paysages : la Beauce dans toute sa platitude, la Vallée de la Loire, les plateaux environnants Paris (Vexin, Multien,...) avec leurs vallées et leurs espaces boisés, le Plateau soissonnais qui les prolonge vers le nord, profondément disséqué par les cours d'eau, le Plateau picard mollement ondulé, etc.

Localisés dans le nord du Bassin Parisien, les sites d'expérimentations sélectionnés présentent d'abord un contraste au niveau des conditions naturelles ; l'un se situe sur le plateau calcaire, le second dans la plaine de la craie.

II - 1 - Un contraste physique

II - 1 - 1 - Des plateaux calcaires à la plaine de la craie

Comme c'est souvent le cas, le relief de l'Aisne résulte d'une lente et complexe interaction entre la structure du sous-sol, la résistance inégale des matériaux de ce sous-sol et les différents climats qui se sont succédés au cours des âges (DEMANGEON, 1905). Ce relief est constitué de plateaux qui correspondent à l'affleurement de roches dures, de profondes vallées qui s'y sont creusées, de plaines, surfaces planes accidentées de petites buttes boisées ; autant d'éléments qui relèvent de la morphologie propre des bassins sédimentaires.

II - 1 - 1 - 1 - Rappels géologiques : l'opposition entre la Picardie crétacée et l'Ile de France tertiaire

Presque entièrement situé dans l'espace géologique du Bassin Parisien, le département se partage entre les étages de la craie du Secondaire (au Nord) et l'ensemble des couches du Tertiaire (au Sud). Le passage de l'un à l'autre de ces grands ensembles géologiques dessine une limite physique très nette qui se présente sous la forme d'un grand versant abrupt, boisé, avec une forte dénivellation (plus d'une centaine de mètres). Cette limite appelée - classiquement mais abusivement(*) - "les falaises de l'Ile de France" est aussi historique, économique et humaine, entre la Picardie au sous-sol crétacé et l'Ile de France tertiaire.

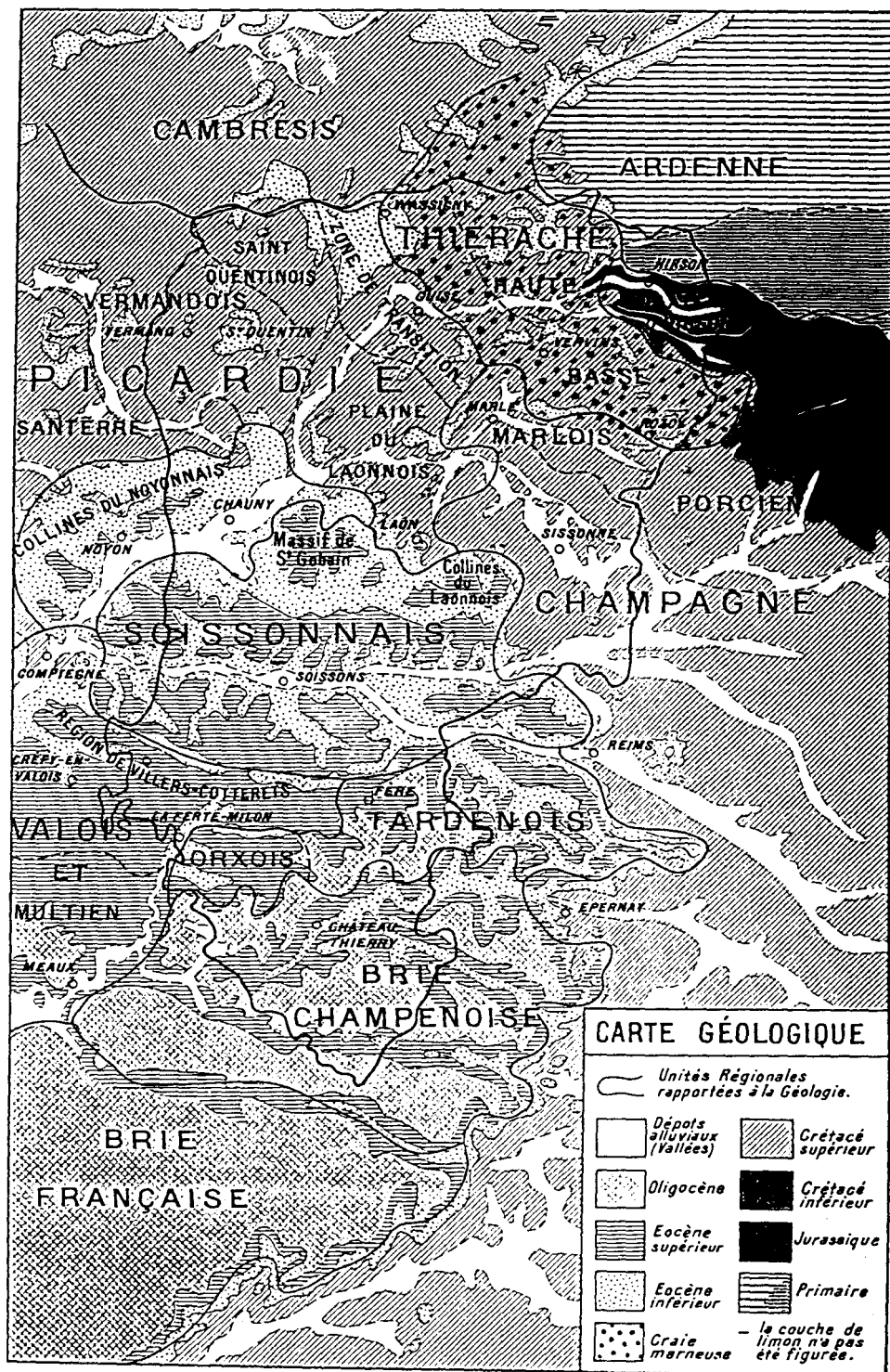
Ces roches sédimentaires résultent d'une longue phase de sédimentation comprise entre deux efforts orogéniques du plissement hercynien à la fin du Primaire et du plissement alpin au Tertiaire et de phases d'érosion tout aussi longues. La description de leur localisation présente certains intérêts.

(*) Du point de vue géomorphologique, le terme de falaise est réservé aux régions littorales.

1 * La craie marneuse, au nord du département

Sur la moitié Nord du département, la craie, qui constitue les assises profondes de la Picardie, forme une vaste auréole oblique s'étirant du Nord-Ouest au Sud-Est, sur une largeur d'environ 60 km.

Figure II - 1 - 1 - 1 - a : Carte géologique simplifiée (FIETTE, 1960)



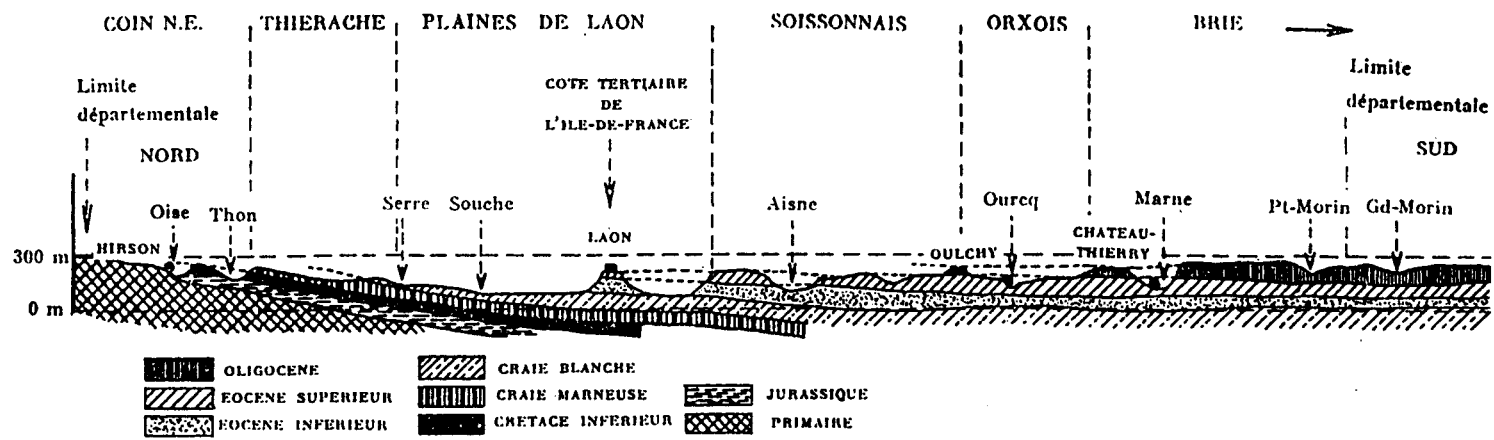


Figure II - 1 - 1 - 1 - b : Coupe géologique du département dans le sens nord-sud (FIETTE, 1960)

Les couches les plus anciennes affleurent à l'extrême nord-est du département. Elles forment une sorte de croissant ceinturant le socle de l'Ardenne qui est responsable de leur fort pendage et de leur plus forte altitude. Constituées de craie marneuse, elles sont imperméables et donnent le paysage vert, humide et contrasté de la Thiérache.

2 * La craie du Sénonien

Les couches supérieures, de la craie du Sénonien, (craies à micraster et à belemnites) affleurent au sud, du Vermandois à la Champagne. Constituées de roche tendre, fissurées par des diaclases, elles offrent peu de résistance à l'érosion. De ce fait, "les formes du terrain y manquent de vigueur et les croupes des interfluves se succéderont en molles lignes ondulées" (FIETTE, 1960). L'ensemble de ces couches peu épais au Nord-Est, atteint plusieurs centaines de mètres d'épaisseur avant de "plonger" sous les hauts terrains tertiaires au Sud-Ouest.

3 * Le calcaire du Lutétien, au centre

Vers le Sud, la côte de l'Ile de France domine, en effet, les plaines du Laonnois d'une centaine mètres, quelques îlots s'en détachent et forment de très belles buttes témoins telle celle de Laon. Diverses couches alternent : les calcaires, formant les plateaux, et les marnes et les argiles, donnant plusieurs niveaux d'eau et lignes de sources. A la base, l'étage thanétien, épais d'environ 35 m est composé de sables divers (sables argileux à silex verts, sables gris ou blancs, ...). Il est surplombé par l'argile plastique du Sparnacien qui forme le fond humide des vallées du Soissonnais (20 à 30 m d'épaisseur). Puis viennent les sables inférieurs ou sables de Cuise. S'étendant sur une soixantaine de mètres de hauteur, ils constituent les versant des grandes vallées soissonnaises. L'argile de Laon, occasionnant de nombreuses sources, les séparent du calcaire grossier. Les deux couches du calcaire du Lutétien forment la masse des plateaux soissonnais. Loin d'être homogènes et résistantes, elles ont profondément été entaillées par les vallées comme celles de l'Aisne ou de l'Ourcq, et ceci malgré une puissance d'environ 50 m. Au sud du Soissonnais, d'autres formations constituées dans le fond des lagunes ou des lacs apparaissent : l'argile de Saint-Gobain ; les sables de Beauchamp et le calcaire de Saint-Ouen (Bartonnien) dans le Valois, le Tardenois et la Brie ; plus au Sud encore, le gypse et la marne de Champigny (Ludien) ; puis l'argile verte et le calcaire de Brie du Sannoisien ; les sables de Fontainebleau (Stampien) ; le calcaire de Beauce (Aquitaniens). Les couches se succédant rapidement dans le sud du département, on se trouve face à une grande variété de paysages.

A ce sous-sol varié, sont associés différentes formes de terrains et divers paysages qui se calquent globalement sur les grandes divisions géologiques. Même si le relief ne dépasse que rarement 250 m, les plateaux, les vallées et les plaines offrent un paysage morphologique diversifié.

II - 1 - 1 - 2 - La variété des reliefs et des paysages

Les plus grands contrastes résident entre le haut plateau calcaire du Soissonnais et la plaine de Laon surplombée d'une centaine de mètres. Cependant les variétés de relief affectent l'ensemble du département.

1 * La Thiérache, au Nord

La Thiérache, du fait du relèvement plus rapide des couches géologiques, présente une altitude plus élevée (supérieure à 200 m, 285 m à Hirson) et un plateau beaucoup plus sculpté.

Les vallées profondément incisées dans le plateau le découpent en lanières orientées Est-Ouest ; "l'image qui reste est celle d'un fouillis de collines" (FIETTE, 1960). La craie blanche dont l'épaisseur s'amincit vers le Nord-Est et la craie marneuse qui apparaît à sa place sont des roches plus tendres que l'érosion façonne en courbes plus douces. L'imperméabilité de la craie marneuse confère à la région une humidité qui est accentuée par le relèvement du relief qui accroît les précipitations. Le réseau hydrographique dense et désordonné côtoie un paysage de bocage très verdoyant.

2 * Une zone de transition : le Marlois

Ceinturant la Thiérache, une zone de transition (appelée ainsi au Sud-Est et Marlois au Sud) entre la craie blanche et la craie marneuse laisse apparaître un secteur plus accidenté (particulièrement entre Marle et Guise). La craie marneuse occupe les versants et le fond des vallées et permet l'apparition de nombreux niveaux de sources et des fonds humides.

3 * Le Saint-Quentinois

A l'Ouest, c'est un fragment du plateau picard qui pénètre le département : le Saint-Quentinois, le Vermandois, le Santerre. Le vaste pays de la craie qui s'étend de la Picardie à la Champagne forme sur sa partie occidentale des plateaux aux horizons dégagés très anciennement dans la masse de la craie par le régime des paléoclimats. La craie, n'ayant pas opposé de grande résistance à l'attaque de l'érosion, affiche des versants convexes. Aucune ligne brisée ne vient perturber "une topographie sans vigueur, [un] modelé sans caractère, [de] longues lignes fuyantes et courbes" (DEMANGEON, 1905). Le paysage laisse une impression de "monotonie harmonieuse". Toutefois des lambeaux résiduels de terrains tertiaires (argile et sable) forment des "boursouflures" sur les courbures monotones de la craie. Ils constituent des points d'eau où les villages sont installés. Des bois y occupent les sols les plus pauvres. Vers le Sud, le plateau apparaît plus horizontal et moins disséqué, donc plus régulier : c'est le Santerre et le Noyonnais. Même les vallées (la Somme, l'Oise et la Serre) n'apportent pas de brusques changements de dénivellation. Les versants convexes rejoignent de larges fonds plats, souvent de nature marécageuse.

4 * La plaine du Laonnois et les buttes témoins

La Serre délimite à l'Est et au Sud la plaine du Laonnois, formant l'exception par absence de relief. Cette plaine s'étend jusqu'aux marais de la Souche, à l'Est et jusqu'aux plateaux tertiaires, au Sud. Le paysage change alors, les larges ondulations caractéristiques du plateau picard laissent place à une surface horizontale beaucoup plus proche de la structure de la Champagne qui apparaît à l'Est, plate, nue et plus aride. Cette surface plane au pourtour de Laon n'est accidentée que par quelques rares buttes boisées. Elle est à l'origine de la large vallée commune à la Serre et au Vulpion, vallée orientée Nord-Est/Sud-Ouest puis Est-Ouest à partir de Froidmont. Puis vers le Sud, la plaine entre doucement en contact avec les témoins tertiaires (massif de Saint-Gobain, butte de Mons, collines du Laonnois) et la corniche calcaire : les sables et argiles de l'Eocène inférieur s'étalent en glacis imperméables et verdoyants autour des tables de calcaires grossiers.

5 * Les plateaux : le Soissonnais, le Valois, le Tardenois et la Brie

La "falaise" de l'Ile de France - la "cuesta" - présente au vaste pays de la craie une haute corniche taillée dans le calcaire grossier et couronnée de bois. Sa pente rapide dans les sables inférieurs, puis plus douce dans l'argile plastique du dessous marque toutefois très nettement le passage au plateau ou aux "montagnes" comme l'appelle le langage des gens de la plaine picarde. Cette partie du plateau, au contact de la plaine de Laon, est divisée en éléments de plateau séparés par la vallée de l'Aisne. Presque partout le plateau présente un bossellement plus ou moins marqué, les versants des vallées soissonnaises rompent cette uniformité en imposants aux yeux des abrupts le plus souvent boisés. Le contraste n'en est que plus flagrant avec la plaine de Laon, assez horizontale pour ne pas offrir à l'érosion de terrain de prédilection. Plus vers le sud, le calcaire grossier du plateau soissonnais disparaît tout d'abord sous le calcaire de Saint-Ouen (Bartonnien) dont les horizons plats et fertiles constituent le Valois, puis sous le calcaire de Brie, soubassement de la Brie, de l'Orxois et du Tardenois, calcaire siliceux responsable de l'humidité et de la fertilité de la Brie.

L'Aisne présente donc une diversité de terroirs en relation avec la nature de son sous-sol. Cette variété, résultat d'une érosion très ancienne oppose le plateau tertiaire du Soissonnais, la plaine de la craie du Laonnois, les collines du Saint-Quentinois-Marlois et les versants de Thiérache. Le relief d'ensemble y est modéré, mais contrasté car si les courbes de niveau ne dépassent que rarement 250 m, les pentes atteignent une vingtaine de pour-cent sur les versants abrupts des vallées, s'échelonnent sur quelques pour-cent sur les plateaux et avoisinent une dizaine de pour-cent dans les régions de collines. Les surfaces plus ou moins ondulées conditionnent un écoulement des eaux varié.

Sur le plateau, les courbes de niveau très espacées tracent de grandes courbures et laissent apparaître de vastes bassins d'alimentation en eau dont les surface atteignent facilement plusieurs centaines d'hectares, mais dont les pentes dépassent rarement 7-8 % (voir photo II - 1 - 1 - 3 - a, ci-après). La structure perméable du sous-sol, favorable à un sol aéré, absorbe l'essentiel des eaux de pluie qui sont restituées aux vallées par de nombreuses sources qui émergent sur les versants. Mais parfois, lors de grosses averses, les bassins se libèrent d'un excès d'eau en déversant d'importants volumes d'eau boueuse sur les versants et dans les vallées, occasionnant d'importants dégâts.

La plaine de Laon, à l'opposé, recueille des eaux qu'elle a parfois du mal à évacuer du fait de l'absence de dénivelé, d'où l'importance des surfaces marécageuses.

Les collines qui lui succèdent vers le Nord et le Nord-Ouest apparaissent bien différentes sur le fond de carte topographique : les courbes de niveau beaucoup plus contrariées se succèdent bien plus rapidement, permettant de dessiner de petits bassins versants aux formes très variées (voir photo II - 1 - 1 - 3 - b, ci-après) et aux pentes beaucoup plus accentuées (3-15 %).

Ces différences de configuration annoncent la nécessité d'une typologie régionale, d'une classification des reliefs et donc d'une classification des comportements hydrologiques.

Photo II - 1 - 1 - 3 - a : Le plateau du Soissonnais (Vierzy, A. Angélieaume, 1993)



Photo II - 1 - 1 - 3 - b : Les collines du Laonnois (Erlon, A. Angélieaume, 1993)



II - 1 - 1 - 3 - Des variations topographiques et géologiques qui induisent des nuances climatiques (et de sols)

Le climat océanique tempéré confère à la région un régime de précipitations équilibré, des températures modérées, mais aussi de violents orages estivaux. D'une façon générale, les conditions climatiques d'ensemble sont assez homogènes, car le relief ne présente pas de grands contrastes. Cependant, dans cette zone de transition où l'influence maritime laisse la place à celle continentale, le climat ne cesse de semer des nuances locales. Bien qu'il ne s'agisse pas de variétés climatiques prononcées, on constate, par exemple, que le relèvement des plateaux vers le Nord et l'Est entraîne un refroidissement d'environ 1°C et une augmentation sensible des précipitations. Par contre, les vallées forment des couloirs de relative sécheresse. De même, en ce qui concerne les variations saisonnières, on ne peut parler que de nuances. Seule exception, les orages marquent le paysage par leur violence et leur trajectoire axée sur les vallées. Tous ces points de détail créent de petites provinces climatiques, parmi lesquelles figurent les plaines ouvertes aux vents ou encore la "montagne" de Laon, plus froide.

1 * Les influences générales

Largement dominante, l'influence océanique apporte des vents d'Ouest et entraîne un temps changeant et une insolation assez faible. D'où la réputation de région à "mauvais temps", réalité qui est souvent exagérée, car Laon est moins brumeuse et moins pluvieuse qu'Amiens.

Les températures, subissant cette même influence, ne sont jamais très élevées, ni très basses. La moyenne annuelle voisine de 10°C est légèrement plus élevée à l'Ouest, en raison de l'incidence marine et au Sud en relation avec la latitude, toutefois les écarts restent faibles. Elle est par contre plus faible dans le nord-est du département où l'altitude et l'orientation modifient l'effet du rayonnement solaire.

En ce qui concerne les écarts thermiques moyens entre le mois le plus chaud et le mois le plus froid, on constate que l'amplitude n'excède pas 15 à 16 °C. Les hivers ne sont jamais très rigoureux (sauf à l'extrême Nord-Est), ni les étés trop chauds.

Toutefois les maxima et minima indiquent l'amplitude réelle des variations. A titre d'exemples, on a enregistré entre 1933 et 1990 les extrêmes suivant : - 20,8 °C en 1940, - 22,5 °C en janvier 1985 , + 36,6 °C en juin 1947 et + 38,5 °C en juillet 1976. En 1940, on a compté 15 jours où la température est descendu au dessous de - 10 °C, en 1945, ce sont 9 jours, en 1947, 13 jours et en 1956, 24 jours. Cette dernière année rappela par bien des cotés l'année 1890 où le froid fut tel que tous les noyers de la région de Laon gelèrent (FIETTE, 1960). Le nombre de jours de gel dans l'année dépasse facilement 60 et parfois 70 vers l'est du département. En contrepartie, la température peut s'élever assez haut ; elle est montée 60 fois au dessus de 25 °C en 1947, dont 21 fois au dessus de 30 °C.

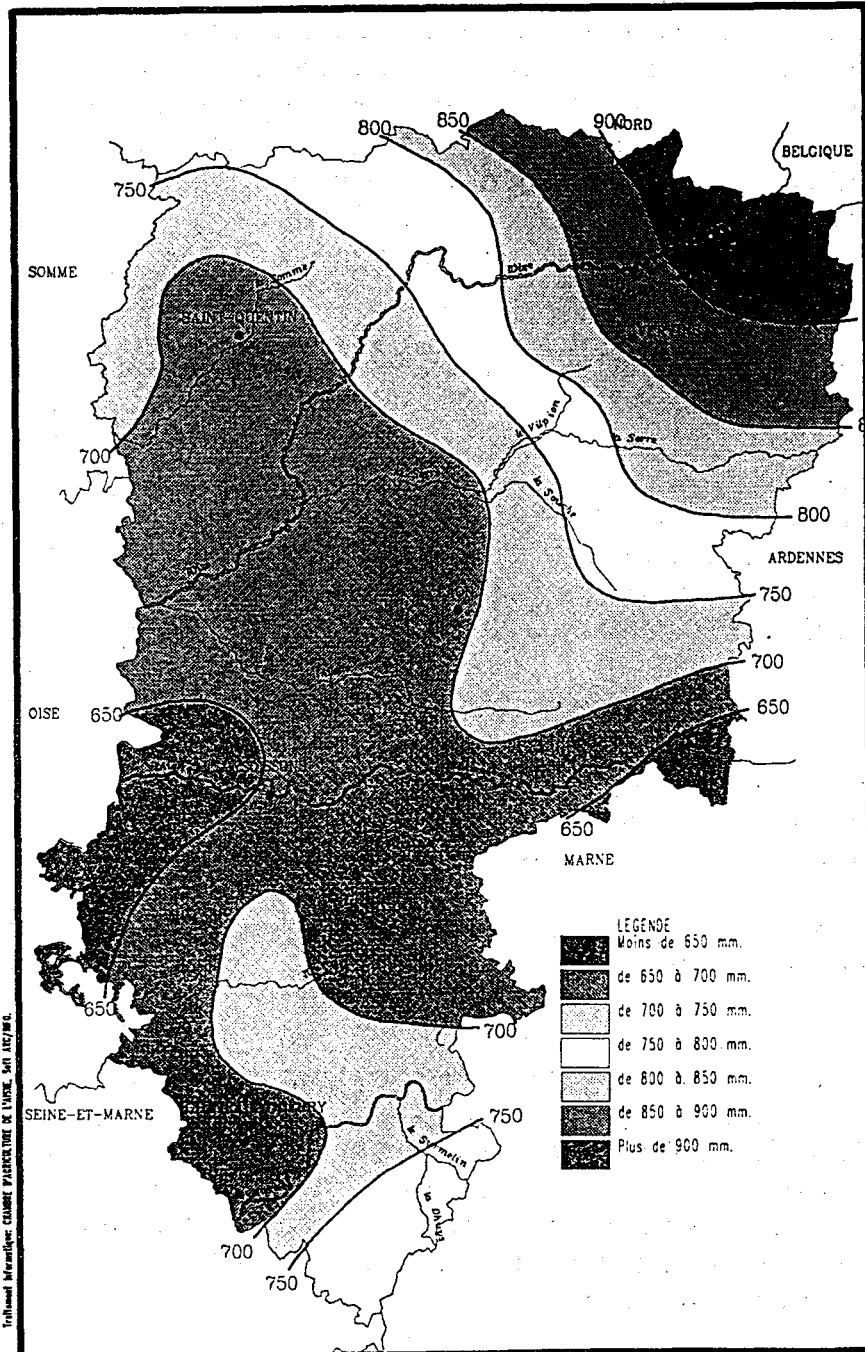
Ce sont aussi les dépressions dérivant de l'Ouest qui règlent le régime des précipitations. Si la lame d'eau annuelle moyenne est de 730 mm sur le département, elle s'élève à 900 mm en Thiérache et à 800 mm dans le Sud-Est, sur le plateau relevé de la Brie et descend à 650 mm dans le Valois et la Champagne (voir fig. II - 1 - 1 - 3 - a). En Thiérache, cette pluviométrie accentuée se répercute sur l'habitat : il est très fréquent que la façade ouest des maisons, exposée aux vents pluvieux, soit protégée par des ardoises ou du bois. Cette lame d'eau, variable géographiquement, l'est aussi au fil des années. F. Grégoire a mis en évidence l'existence de cycles annuels plus pluvieux à l'aide de moyennes mobiles (comm. orale 1995). Il apparaît ainsi des cycles de 3 à 4 ans, où les lames d'eau annuelles sont plus importantes.

Comme pour les températures les variations saisonnières des précipitations sont peu marquées. Pour une année normale médiane, le cumul saisonnier des précipitations varie de 147 à 254 mm dans le département. Le plus souvent, c'est l'hiver qui est la saison la plus arrosée et l'été qui l'est le moins. L'automne 1974 a été "le plus humide" avec un total de 427 mm à Eparcy ; c'est l'été 1976 qui a été le plus sec avec seulement 34 mm à Dammart. La répartition mensuelle des précipitations est assez bien équilibrée. Les chutes mensuelles supérieures à 100 mm sont rares (mais pas extraordinaire : 203,8 mm en décembre 1993 et 164,9 mm en janvier 1995 à Parcy-et-Tigny) et il n'apparaît pas de période sèche ou humide. Cependant des précipitations exceptionnelles peuvent se produire donnant plus de 40 mm en 24 heures. Il s'agit de pluies d'orages printaniers, de pluies violentes d'août ou de la persistance d'une dépression hivernale. Quelques exemples : 56 mm le 13 août 1955 à Eparcy, 64 mm le 24 août 1939 à Bohain, 38 mm le 22 novembre 1984 à Saint-Quentin, 62 mm le 23 juillet 1988 à Pouilly-sur-Serre, etc. La grêle et la neige participent beaucoup moins aux apports météoriques. La grêle reste un fait exceptionnel et les chutes de neige sont en nombre croissant du Sud vers le Nord. Dans la région, on se souviendra de l'hiver 1995-96 avec ses fréquentes chutes de neige. En particulier, celles exceptionnelles de février 1996 entraînèrent la formation de nombreux congères et une importante désorganisation notamment de la circulation, le département n'étant pas assez équipé en moyens de déneigement.

Si l'influence océanique domine, l'influence continentale n'en est pas moins présente. Si on passe outre les incidences du relief, on peut observer le conflit entre ces deux grandes influences : tour à tour elles prennent l'hégémonie du climat. D'une façon générale, l'influence du continent est faible d'avril à juillet et les pluies s'enfoncent dans les terres. Par contre, elle reprend de la force de juillet à octobre période pendant laquelle le maxima des pluies recule vers la mer. Puis de décembre à mai s'établit une alternance équitable en relation avec le relief. L'aspect des saisons est marqué par ces combinaisons d'influences ; mais plus encore, c'est le travail du sol qui dépend de ces éléments et doit s'adapter à ces vicissitudes pendant l'année.

Figure II - 1 - 1 - 3 - a : Carte des précipitations annuelles moyennes du département de l'Aisne (METEO FRANCE)

HAUTEUR MOYENNE DES PRECIPITATIONS ANNUELLES - 1961/1990



2 * Les caractéristiques saisonnières (les orages estivaux)

L'automne est la période des premières pluies qui profitent à la terre, mais celles-ci peuvent parfois devenir très vite trop abondantes. Les terres argileuses et limoneuses se détrempe ; récoltes des betteraves et travaux du sol en deviennent difficiles et on peut observer des nappes d'eau ou des coulées de boues. Les labours et les semis sont souvent retardés de ce fait. On citera l'exemple de l'hiver 1993-94 où octobre et décembre furent extrêmement pluvieux ou encore l'hiver 1994-95 avec un mois de janvier particulièrement arrosé.

L'hiver, les très grands froids sont rares ; on cite fréquemment les hivers 1563-64, 1783-84, 1788-89, 1829-30, 1879-80, 1890-91, ... comme grands événements ; mais il n'y a pas eu de grand froid ces dernières années. Par contre, on redoute l'alternance des grands froids et des grosses pluies : les redoutables gelées tardives rendent les terres inabornables car saturées en eau. Les brusques variations de température sur ces vastes espaces déboisés ne sont pas rares, quand alternent rapidement les influences marines et continentales. Parfois ces alternances froid/pluie peuvent être favorables au sol, quand elles sont sans excès : le gel fragmente les labours et la pluie s'infiltre, rechargeant les nappes. Mais l'automne et l'hiver sont souvent ressentis comme les saisons de pluie et de sols gorgés d'eau.

Le printemps, à l'opposé, bien que très variable, voit les moyennes thermométriques remonter et les pluies s'amenuiser (avril est le mois le moins pluvieux). La terre se réchauffe et s'assèche.

L'été avec ses vents d'ouest est une saison pluvieuse. Néanmoins les phénomènes de sécheresse sont présents et très redoutés par les cultures. C'est surtout sur les plateaux que le manque d'eau se fait le plus sentir du fait de leur aridité naturelle. Mais pour les cultures, plus que la sécheresse, ce sont les orages qui sont très redoutés. Les sols réchauffés provoquent de brusques ascensions d'air chaud. Dans de nombreux cas, la répartition des orages semble en relation étroite avec la configuration du sol.

A. Fiette et A. Demangeon se sont intéressés à la géographie des orages et ils ont pu relever des trajectoires et des points d'élection. Et en effet si l'on s'entretient longuement avec les agriculteurs ou si l'on prend le temps de représenter sur carte les communes touchées par les orages, on constate qu'il existe des situations météorologiques donnant lieu à des orages dont la trajectoire est "pré-dessinée".

Les orages, arrivant du Sud ou de l'Ouest, s'engouffrent dans les vallées - telles celles de la Marne, de l'Ourcq, de l'Oise, de l'Aisne ou de la Serre - et les suivent sur de longues distances. Ces vallées encaissées captent, en effet, la plus grande partie des orages, bien plus que celles de la Somme et de l'Escaut. Ainsi les violents orages qui partent de la Fère empruntent la vallée de la Serre et atteignent les marais de la Souche sous forme de pluies abondantes ou de grêle ; ceux qui partent d'Anizy glissent sur l'Ailette et le canal de l'Oise à l'Aisne. Lorsqu'ils empruntent la vallée de l'Ailette, c'est sur le Chemin des Dames qu'ils vont éclater (fig. II - 1 - 1 - 3 - b, ci-après).

Le relief et les massifs forestiers jouent un rôle prépondérant en orientant la perturbation vers l'une ou l'autre de ces vallées. La forêt de Villers-Cotterêt, par exemple, joue un rôle d'écran. Tous les orages de l'Ouest et du Sud-Ouest y sont déviés soit vers l'Ourcq et la Marne (Oulchy-le-Château, Rocourt-Saint-Martin), soit vers l'Aisne (Vic-sur-Aisne, Mongobert, le plateau du Murger et Coevres-et-Valsery sont les communes les plus arrosées). Par contre, Vierzy et Parcy-et-Tigny, abritées par cette masse forestière, sont en grande partie épargnées par ces orages de mai, orages d'ascension. Les orages de juin, par contre, sont plus dangereux pour ces deux communes. Venant du continent, par "retour de l'Est", après avoir buté contre le plateau de Braine, ils reviennent se jeter sur ce secteur avec une remarquable rapidité et une terrible violence. Ces orages "de retour" arrivent bien souvent pendant la période de la moisson. Un ciel noir à l'Est indique alors aux agriculteurs qu'il faut rapidement mettre la récolte à l'abri (H. Moquet, comm. orale 1994).

Dans ce même secteur, le plateau du Tardenois dévie lui aussi les orages de l'Ouest vers l'Aisne au Nord ou la Marne au Sud ; plus au Nord, c'est le massif forestier de Saint-Gobain qui envoie les manifestations orageuses éclater sur le Chemin des Dames, puis sur les vallées de l'Aisne et de la Vesle. Il semble que les régions les plus touchées soient celles des marais de la Souche et des vallées de l'Aisne et de l'Oise, la présence de plans d'eau n'étant pas sans influence.

Si ces orages sont parfois attendus comme remède à une trop longue sécheresse, ils sont aussi très redoutés. En particulier, on craint les orages de grêle qui s'abattent sur les plateaux fertiles et marquent "d'une traînée de désastres le canton" (DEMANGEON, 1905). On peut citer l'exemple du 27 avril 1994 : une terrible averse de grêle s'est abattue sur la région de Guise et on se souviendra des nombreux dégâts dont les images ont été présentées aux informations télévisées au niveau national.

"Parfois l'averse seule est aussi redoutable que la grêle. Les grosses pluies, ruisselant sur les pentes se rassemblent dans les ravins, entraînant les terres ; débouchant dans les vallées, elles inondent les prairies, envasent les champs. Les eaux d'hiver nuisent rarement aux cultures ; mais les orages d'été tombent au moment où l'herbe déjà forte attend la fenaison ; [...]. Parfois les eaux furieuses surprennent les villages, entraînent les habitations, submergent les hommes et bêtes : mais ce sont là les rares fantaisies d'un climat paisible. Au reste, ces phénomènes violents, exceptionnels en été, deviennent plus rares encore à l'automne qui est, de toutes les saisons la plus belle et la plus régulière." (DEMANGEON, 1905).

Comme le souligne A. Demangeon, les orages, de pluie violente ou de grêle, restent caractéristiques de la période estivale ; tout comme les longues pluies le sont de la période hivernale. Mais ces pluies ont en commun de perturber les cultures, par des coulées de boue et des ravinements.

Les orages ont essentiellement lieu en mai et en juin. Les quantités de pluie mise en oeuvre peuvent être très importantes. Par exemple, lors de l'orage du 17 juin 1986, on a noté 42,7 mm de 11h40 à 12h30 et une pluie totale de près de 90 mm. Cet orage, qui s'est déplacé de Senlis à Saint-Gobain, a atteint avec un maximum de violence au dessus de Bichancourt (96,5 mm dans l'après midi). Et il s'agit là d'un exemple parmi tant d'autres (1ère Partie, I - 2 - 2 - 3).

A leur caractère violent et imprévu, il faut ajouter la zonation ponctuelle des orages qui fait que l'on dispose rarement des enregistrements des lames d'eau et des intensités. Pourtant ces dernières peuvent être considérables. L'étude réalisée par l'ADEPRINA dans l'Oise (fig. II - 1 - 1 - 3 - e, ci-après) indique qu'une intensité de 60 mm/h pendant 6 mn a une fréquence de retour d'un an. Une intensité de 160 mm/h pendant 6 mn est beaucoup plus rare (période de retour 20 ans), mais existe. A titre d'exemple, on a atteint 210 mm/h pendant une minute et plus 86,5 mm/h pendant une heure le 7 août 1995 à Erlon. D'après la relation durée et intensité établie par l'ADEPRINA ces valeurs auraient une période de retour bien supérieure à 20 ans.

Figure II - 1 - 1 - 3 - b : Schéma des plateaux, massifs forestiers et principales circulations (d'après FIETTE, 1960).

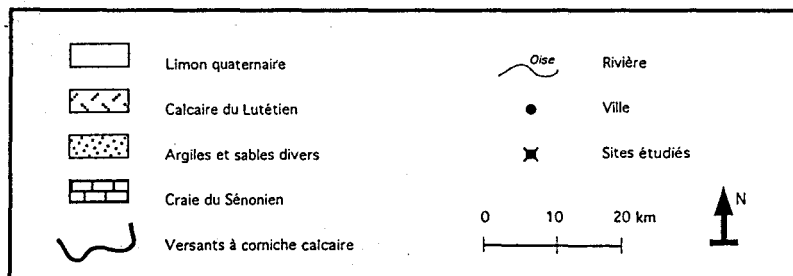
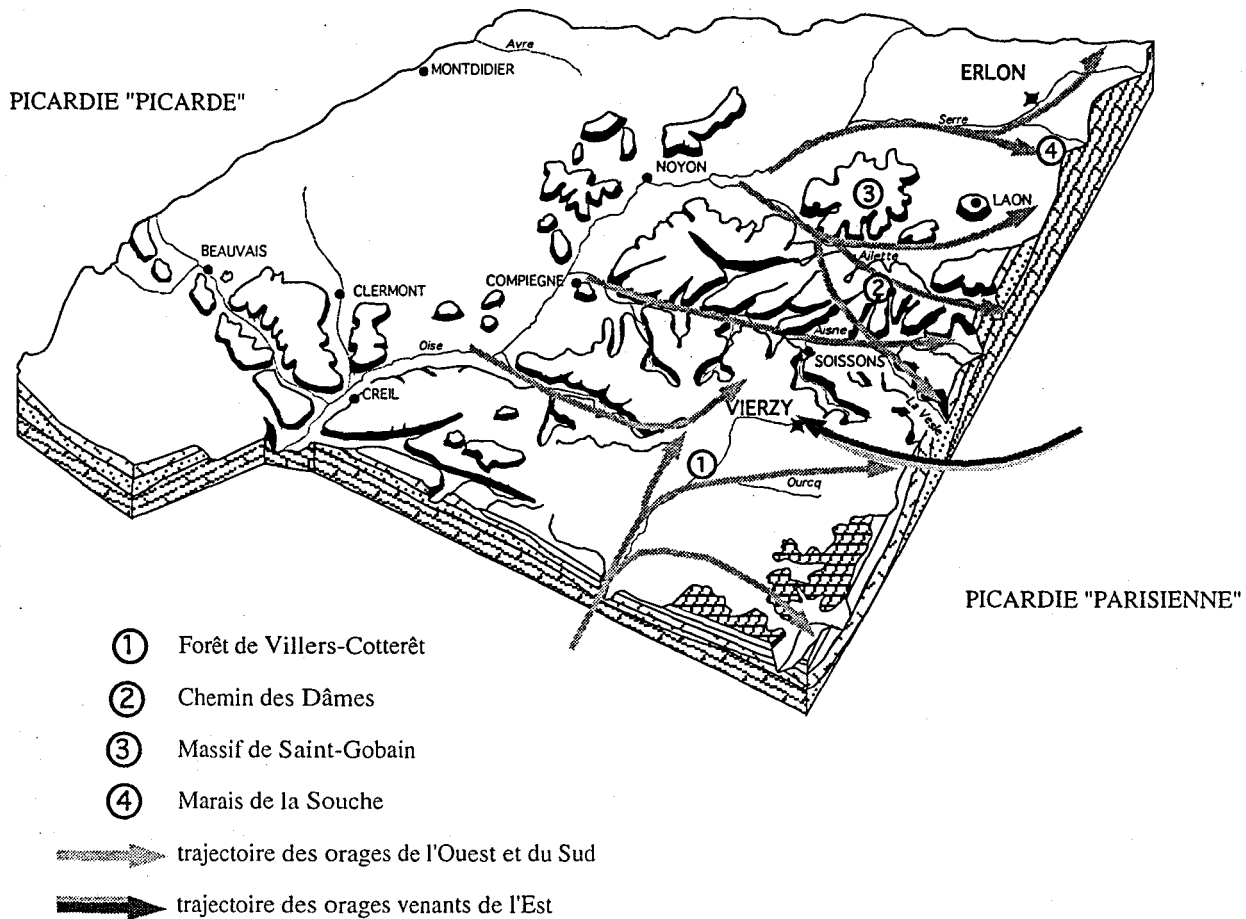


Figure II - 1 - 1 - 3 - c : Exemple de trajectoires d'orage d'après la localisation des communes sinistrées (d'après les déclarations de sinistres à la DDA)

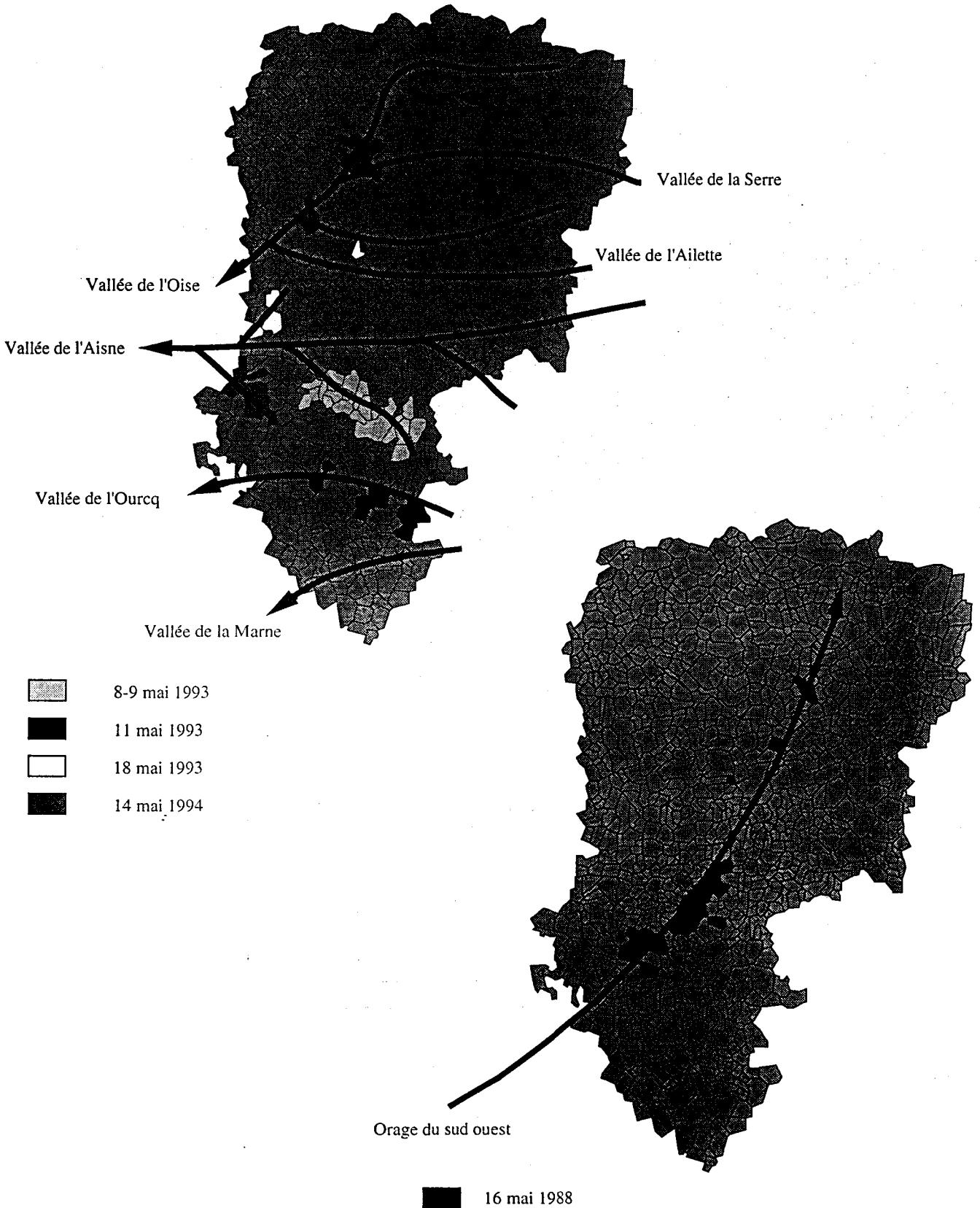


Figure II - 1 - 1 - 3 - d : Précipitations journalières lors d'un orage (Laverdrine, comm. écrite 1994)

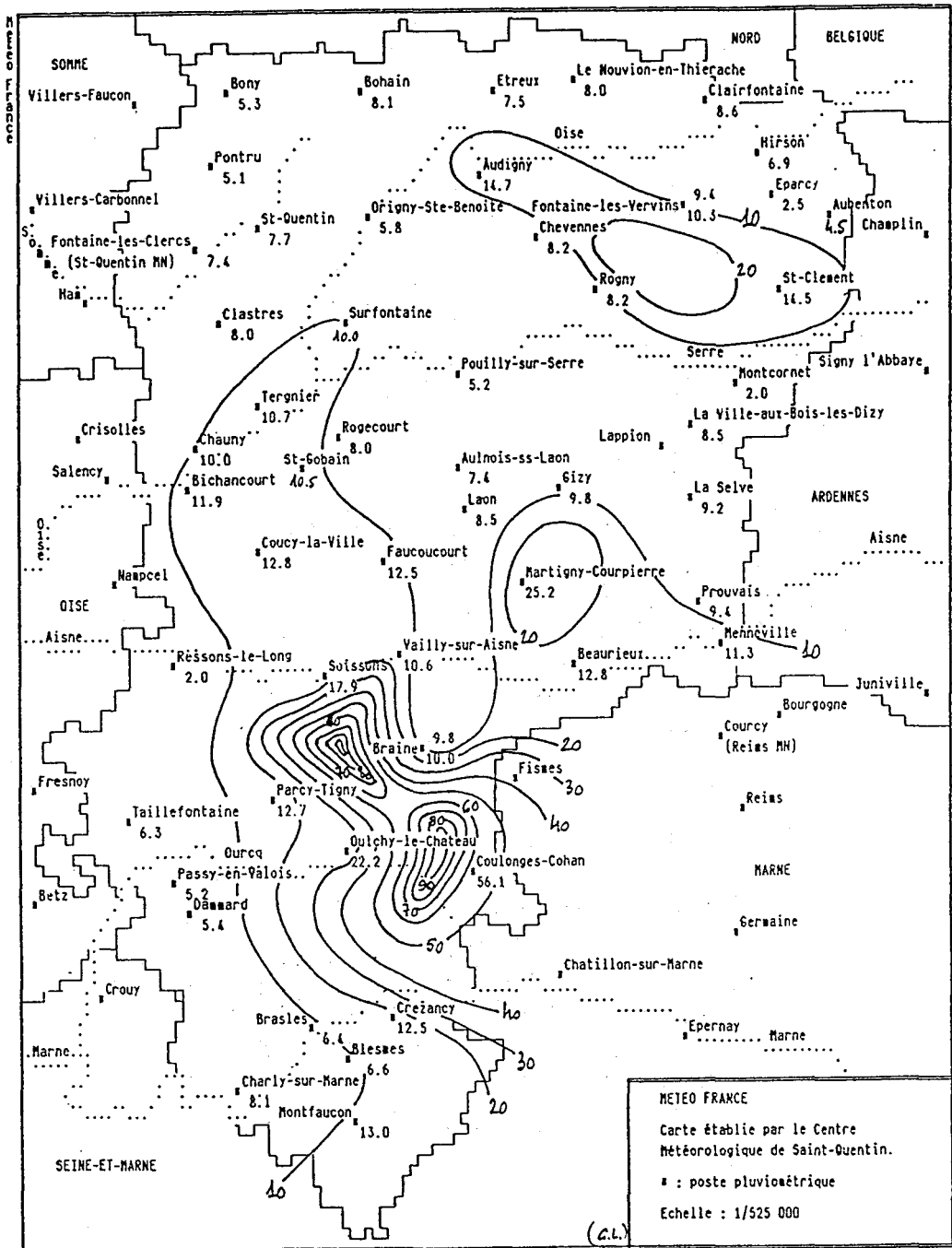
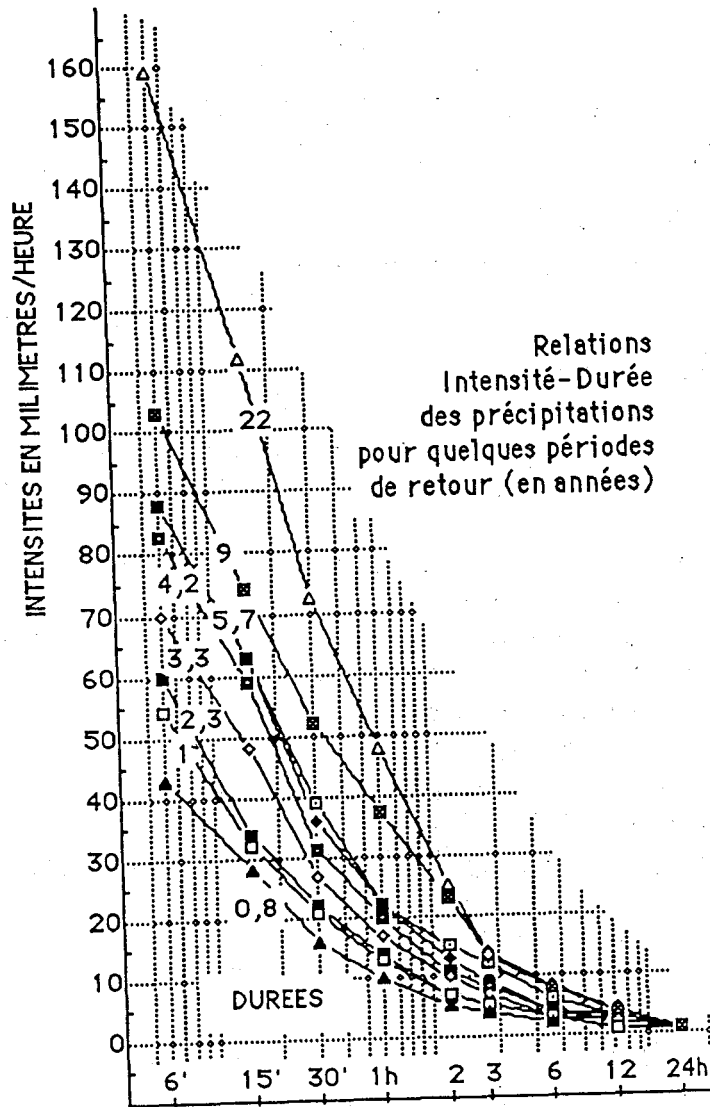


Figure II - 1 - 1 - 3 - e : Répartition statistique des intensités (Remembrement et lutte contre l'érosion dans le département de l'Oise, ADEPRINA, 1990)



3 * Les "provinces climatiques" (BRUNET, 1960) : les plateaux, les vallées, les plaines

Sur les plateaux, outre le refroidissement et l'augmentation des précipitations vers le Nord-Est, les buttes et les massifs forestiers apportent aux terres cultivées des brouillards plus fréquents et des pluies plus abondantes, tout en déviant les perturbations orageuses. Les vallées, par contre, sont plus sèches et plus chaudes, les versants étant les parties les moins froides d'où l'emplacement des vignes. Contrairement aux plateaux, elles constituent le point d'élection des orages qui y sont canalisés. Quant aux plaines dénudées, de faible étendue dans l'Aisne, elles sont néanmoins largement ouvertes aux vents et aux pluies. Ainsi, la ville de Laon est très souvent plus froide, du fait de sa situation exceptionnelle sur sa "montagne" où elle reçoit le vent de plein fouet. Ainsi le département offre de nombreuses variétés de nuances climatiques qui pourront avoir des incidences sur l'occupation du sol et surtout sur l'avancement végétatif.

Les pays au sud de la côte de l'Ile de France, bien qu'appartenant au domaine des plateaux, montrent une légère division thermique marquée par un léger relèvement des températures, ce qui leur donne plus de personnalité.

4 * Des répercussions sur les possibilités culturelles ?

La nature du sol et du couvert végétal apporte des nuances supplémentaires qui peuvent accentuer les nuances climatiques et décaler les stades de développement de la végétation (on parle de terre chaude ou de terre froide, lorsque la texture du sol permet un réchauffement et un assèchement rapide ou lent). Ainsi entre Hirson et Soissons, il peut s'établir un retard de trois semaines. Autrefois cela permettaient aux journaliers d'assurer la récolte en région parisienne, puis dans la région de Vervins (FIETTE, 1984 ; DEMANGEON, 1905). Aujourd'hui on peut encore observer un décalage d'une à deux semaines sur les dates de semis ou sur les récoltes. De même, dans le Laonnois aux printemps précoces et aux chaleurs d'été marquées, la végétation est en avance d'une semaine sur celle du Saint-Quentinois et de deux semaines sur celle de la Thiérache (FIETTE, 1984). Le calendrier des moissons est bien souvent décalé d'une semaine entre Neufchâtel et Câtelet, suite au réchauffement intérieur. Sur le Plateau soissonnais, les récoltes sont souvent plus tardives que dans la plaine du Laonnois. Effectivement, les sols plus limoneux s'assèchent et se réchauffent plus lentement, on citera l'exemple des récoltes de 1993 et de 1994.

II - 1 - 1 - 4 - (Des variations topographiques et géologiques qui induisent des nuances climatiques) et des sols contrastés

L'Aisne appartient à l'aire agricole de l'Europe occidentale au climat tempéré humide où dominent les sols bruns forestiers. Une très grande partie de ces sols sont remarquables par leur composition à dominante limoneuse.

1 * Les sols limoneux

En effet, l'essentiel des sols procèdent des formations superficielles du Quaternaire : les limons loessiques, aussi appelés limons de plateau. Ils occupent une place considérable dans la géographie des sols du département puisqu'ils couvrent près de 4/5 des surfaces consacrées à la grande culture et que leur épaisseur varie de quelques dizaines de centimètres à une vingtaine de mètres. Déposés lors de la période pléistocène, ils présentent une succession de deux ou trois couches : une base caillouteuse, un lit de sable, une couverture d'éléments fins riche en argile. C'est cette dernière que l'on retrouve avec le plus de continuité et qui intéresse davantage l'agriculteur.

Elle est constituée de deux couches. La couche supérieure, dite de terre à brique, contient une forte proportion d'argile riche en alumine et en fer, d'où sa couleur. Il s'agit d'un limon dénaturé au contact de l'air, décalcifié et oxydé, mais qui offre un excellent support à la grande culture car il est meuble, perméable et assez humide en raison de la présence d'argile. Ce limon constitue un sol profond auquel l'ajout de chaux et d'acide phosphorique a apporté toute sa richesse. La couche inférieure (dont provient la couche supérieure par altération) est formée d'une poussière de quartz à grains très fins, cimentée par du carbonate de calcium et de l'argile ferrugineuse. Plus clair que le précédent, ce limon porte le nom d'Ergeron ou loess. C'est la terre à brique qui forme les excellentes terres à culture industrielle et qui constitue l'essentiel du limon des plateaux : dans le Santerre, le Soissonnais, le Vermandois, les collines du Noyonnais où elle représente 60 à 70 % de la surface. Elle s'étale sur les couches perméables de la craie ou du calcaire grossier d'où un bon drainage des sols. Sa proportion diminue très fortement dans le sud du département à 20 % dans le Tardenois et la Brie. Elle décroît aussi vers le Nord dans les plaines laonnoises et la Thiérache (30 à 50 %). En fait, la répartition des limons est bien plus complexe car très souvent morcelée. C'est essentiellement l'enfoncement des vallées qui rompt l'uniformité de leur étendue. Sur les rebords du plateau, le limon subit l'action du ruissellement ; il perd en épaisseur laissant apparaître l'Ergeron et constituant en bordure des auréoles moins fertiles de "limons de lavage". Les agriculteurs préfèrent le limon rouge plus collant et plus frais pour la culture de la betterave et réservent les bords de plateaux pour d'autres cultures moins exigeantes (H. Moquet, comm. orale 1994). Dans les régions de collines, les limons entraînés en bas des pentes constituent des bancs de colluvions fertiles mais laissent des versants appauvris où apparaît quelquefois la craie.

2 * Les autres sols

Lorsque les limons sont peu épais ou absents, d'autres sols apparaissent issus de l'altération superficielle des couches géologiques sous-jacentes. Peu présents par rapport aux sols limoneux, on les trouve surtout dans les régions fortement attaquées par l'érosion : la vallée de l'Aisne, les falaises tertiaires dans les collines du Laonnois ou le massif de Saint-Gobain, etc. Entre autres, les sols argileux apparaissent dans ces secteurs. Des sols sableux apparaissent dans les régions tertiaires, entre autres sur les buttes témoins comme le massif de Saint-Gobain ou les collines du Laonnois, sur les plateaux au sud du Soissonnais et dans les vallées ; moins fertiles, ils portent essentiellement les îlots forestiers. Le sous-sol crayeux et calcaire donne naissance à des sols calcaires qui sont loin d'être négligeables puisqu'ils occupent 1/5 au moins de toutes les régions, mais ils restent moins riches que les sols limoneux.

3 * Les conséquences sur les possibilités culturales

Les limons sont donc répartis irrégulièrement avec une épaisseur variant de 5-6 m à 25 m (maximum dans la partie orientale de la région crayeuse) sans continuité réelle. Pourtant, l'uniformité géomorphologique des plateaux (Soissonnais, Picard, ...) permet une répartition plus homogène des limons et donc une richesse plus importante des sols. Par ailleurs, le calcaire grossier des plateaux, un peu moins perméable que la craie, confère un ressuyage des sols plus long que sur des sols sableux ou crayeux. Ce qui confère aux plateaux des terres meubles composées d'argiles et de sables fins. Les sols y sont faciles à cultiver, car ils sont profonds et les racines se développent librement. Ils sont aussi perméables, mais conservent leur humidité car la présence d'argile leur permet de s'égoutter lentement et ainsi de mieux conserver les matières nutritives.

On comprend alors aisément l'attrait qu'exercent de longue date ces sols et leur mise en valeur précoce. Au delà de ces conditions naturelles extrêmement favorables, le travail et le temps ont aussi joué pour leur donner la réputation de fertilité qu'elles ont aujourd'hui. En particulier, le limon, pauvre en calcaire et en phosphore, est transformé depuis des siècles par des amendements de chaux et d'acides phosphoriques. Déjà en 1820, on note l'utilisation d'acide phosphorique, en 1866, l'utilisation de poudre d'os, puis - avec la découverte des gisements de phosphates - l'emploi de scories et de super phosphates (DEMANGEON, 1905). Ainsi Demangeon (1905) affirme que les territoires autour de Laon, de Saint-Quentin et de Marle, recevant régulièrement leur charge d'engrais, ont été vraiment créés par la culture. Aujourd'hui dans les régions betteravières, les défécations de sucrerie assurent un bon substitut.

Les conséquences de la répartition des limons sur les possibilités culturales sont importantes. Les limons sur sous-sol perméable constituent une terre arable idéale - excellente pour les betteraves ou les céréales - et sont largement mis en culture. Là où ils sont peu épais, où les sols sont trop secs, trop caillouteux, trop froids (trop d'argile) et pénibles à travailler, on implante des cultures moins "nobles" ou on laisse en place quelques prairies. Par contre, les sols marginaux de versant et les sols sableux ont été laissés à la forêt (comme les sables de Beauchamp en Soissonnais qui coiffent le calcaire grossier, ils constituent des podzols humiques peu intéressants à cultiver).

La répartition des limons a aussi influencer la délimitation des communes. Fréquemment les villages, fixés par les points d'eau sur les versants ou dans le fond des vallées, ont cherché à étendre leurs limites sur le plateau là où la terre est meilleure et non dans le fond des vallées.

4 * Les petites régions naturelles vues d'après les sols

Cette hétérogénéité des sols permet d'affiner le découpage en régions naturelles, mais aussi en "régions humanisées", puisque ces caractéristiques de sol ont entraîné des nuances dans la mise en valeur des sols (DELAUNOIS, SOLAU, 1984).

Par exemple, le Soissonnais et le Valois, qui correspondent à un plateau limoneux et à de petites vallées aux sols hétérogènes, se distinguent de la Brie, haut plateau humide, ou du Tardenois et de l'Orxois, plateau vallonné aux sols hétérogènes. Ainsi, la Brie possède de multiples prairies et de nombreux bois sur le plateau, alors que dans le Soissonnais, les prairies s'étendent uniquement dans le fond des vallées et les boisements sur les versants. Autre exemple, le Saint-Quentinois, plateau vallonné reposant sur la craie blanche, se différencie du Marlois par des sols limoneux plus épais et moins frais.

II - 1 - 2 - La variété des régions naturelles

L'étude du relief et des sols a permis de dégager quelques régions naturelles aux caractéristiques voisines :

- les vallées originales du calcaire grossier, profondément incisées dans les plateaux, abritant les villages et présentant des versants boisés,
- les plateaux aux aspects plus homogènes, consacrés aux cultures,
- "les falaises de l'Île de France", transition brusque entre le plateau et la plaine,
- la vallée de la Serre, passage progressif de la plaine de Laon aux collines du Marlois.

1 - L'originalité des vallées leur est conférée par leur micro-climat et par leurs sols. Moins arrosées - quoique sujettes aux brouillards qui maintiennent une humidité relative élevée -, elles craignent les gelées tardives ou précoces. Cependant une partie de leurs versants y échappe. Leurs sols sont variés en relation avec les nombreux affleurements géologiques, aux éboulis et aux coulées de solifluxion.

Les vallées sont des terroirs peu étendus et complexes. Seules quelques sections s'épanouissent en parties planes (vallées de la Seine, l'Oise, et l'Aisne). Elles sont prépondérantes là où l'érosion a rompu la continuité des grandes tables calcaires (BRUNET, 1960), mais pas assez étendues pour occuper une place importante au niveau agricole.

2 - A l'opposé les plateaux offrent des conditions homogènes au triple point de vue des surfaces, des sols et du climat, avec des nuances car les conditions ne sont pas rigoureusement rigides. Les moindres vallonnements, par exemple, font apparaître des horizons pédologiques inférieurs, des colluvions plus argileuses et entraînent un meilleur drainage. Sur les lisières des forêts, les brouillards et les gelées deviennent fréquents, ainsi que l'humidité. L'homogénéité fondamentale est aussi rompue par la dissection des plateaux qui introduit des séries de sols dissemblables et oblige à une fragmentation des assolements, à des traitements de terres particuliers, à des amendements différents (surtout en régions privées de limons). Les conditions climatiques défavorisent les plateaux plus hauts, plus humides et plus frais. Parfois, les nuances de sols et de climats se compensent. Ainsi, le climat du centre de la cuvette parisienne - plus sec, plus chaud - réalise un équilibre avec les sols limoneux (meilleure réserve hydrique). Par contre, les sols minces sableux peuvent être compensés par un sous-sol imperméable ou des pluies plus importantes. Les sols soissonnais, par exemple, en raison de leur limon épais à forte teneur argileuse (15 à 17,5 %) comblent le déficit estival. Autre exemple, en Brie champenoise, les sols minces restent gorgés d'eau à cause du sous-sol.

Le grand openfield se superpose aux plateaux bien conservés et couverts des meilleurs sols (structure et amortissement des variations climatiques) : le Soissonnais et le Multien. Il le dépasse parfois : on peut considérer le grand openfield comme un phénomène vivant qui a débordé les conditions naturelles qui l'ont favorisé (BRUNET, 1960). "Dans l'ensemble de la région, la relative uniformité du milieu naturel entraîne celle des formes d'exploitation. Si des nuances de climat et de terrains différencient les divers "pays" et mettent quelques diversités dans les spéculations agricoles et le paysage rural, les traits communs l'emportent sur les dissemblances." (GEORGE, RANDET, BASTIE, 1964)

3 - "Le Laonnois est formé d'une succession de collines et de plateaux entrecoupés par de larges vallées drainées à fond plat auxquelles se raccordent de grands réseaux de vallons secs" (JAMAGNE, 1964). Les conditions naturelles sont variées mais globalement favorables à la grande culture. Même si le relief est plus contrasté et les sols plus hétérogènes que sur le plateau, l'activité agricole y trouve un site d'extension très favorable.

II - 2 - Des paysages agraires variés

II - 2 - 1 - Des différences régionales marquées

Les paysages agricoles de la Picardie, témoignent d'une très grande variété. Les secteurs de bocage - où domine l'élevage tels le Vimeu, les bas-Champs, la Thiérache - s'opposent à la culture moyenne du plateau picard, ou encore à la grande culture du Vexin, du Valois, du Soissonnais et du Multien. En réduisant encore l'espace observé, le département de l'Aisne offre lui aussi de nombreux paysages agraires. Ce département considéré comme terre riche, car terre à blé et à betterave (les céréales et les betteraves occupent en effet les 3/4 des terres labourables), possède, il ne faut pas l'oublier, des forêts, des vergers, des vignes, des marais et des terres agricoles de valeurs relatives.

II - 2 - 1 - 1 - La variété des régions agricoles de l'Aisne

La grande culture domine dans ce département qui est, rappelons le, premier producteur de France de betteraves et de pommes de terre et second producteur de France de blé. Sur les plaines comme sur les plateaux, la note est donnée par la grande culture céréalière qui ne se différencie guère d'une région agricole à l'autre (48 à 56 % de la SAU de chacune des régions agricoles de l'Aisne sont occupées par des céréales, voir tab. II - 2 - 1 - 1 - a et fig. II - 2 - 1 - 1 - a, ci-dessous).

Tableau II - 2 - 1 - 1 - a : Les régions agricoles en quelques chiffres (d'après RGA, 1988)

	Saint-Q-L (*)	Tardenois et B (**)	Soissonnais	Valois	Thiérache	Champagne C (***)
SAU par région agricole en ha	195 393	65 793	94 615	25 379	89 460	33 158
SAU par région agricole en % de la surface	83	60	55	58	72	61
SAU moyenne d'une exploitation en ha	81,1	43,8	84,5	118,6	35,3	90,1
STH par région agricole en % de la SAU	7,67	17,03	9,73	7,62	62,99	2,67
Pommes de terre par région agricole en % de la SAU	1,8	1,2	5,2	2,4	1,3	3,0
Maïs par région agricole en % de la SAU	4,5	11,3	7,9	6,3	20,3	6,7
Céréales par région agricole % de la SAU	53,9	56,8	51,9	54,4	54,9	48,9
Bovin par région agricole pour 100 ha de SAU	28	39	28	23	142	9

(*) Saint-Quentinois-Laonnois

(**) Tardenois et Brie

(***) Champagne crayeuse

Figure II - 2 - 1 - 1 - a : Les régions agricoles



Les deux plus grandes régions agricoles sont le Saint-Quentinois-Laonnois et le Soissonnais, ce qui leur confère une place privilégiée dans la production agricole du département. Le pourcentage de la SAU dans chacune des régions est relativement variable en relation avec le potentiel du sol. Il est, par exemple, plus faible dans le Soissonnais et le Valois, plateaux limoneux avec des nombreuses forêts sur des buttes résiduelles sableuses.

* Les régions à forte production agro-industrielle (betteraves, pommes de terre, pois)

La betterave est essentiellement produite dans le Saint-Quentinois-Laonnois (55 % de la surface totale en betterave) et le Soissonnais (24 %). Ce qui correspond pour les deux régions agricoles à 22 et 21 % de l'ensemble des productions, directement après les céréales (54 et 52 %). La Champagne et le Valois sont aussi producteurs de betteraves (7 et 6 % de la surface), ce qui représente toutefois près de 17 % de la SAU de chacune de ces régions (mais leur petite surface en fait de petits producteurs).

La pomme de terre est aussi la panacée des deux plus grandes régions agricoles : les surfaces cultivées sont à 43 % dans le Soissonnais et 32 % dans le Saint-Quentinois-Laonnois. Le Soissonnais demeure le premier producteur (plus de 5 % de sa SAU).

Les pois, quant à eux, représentent des surfaces non-négligeables dans le Saint-Quentinois-Laonnois (48 %), dans le Soissonnais (17 %) et en Champagne (plus de 17 % de la SAU).

En surface, le Saint-Quentinois-Laonnois et le Soissonnais représentent les plus grosses productions de betteraves, de pommes de terre et de pois. Dans ces deux régions, les cultures occupent des proportions de la SAU très voisines (juste un peu plus de pomme de terre et de maïs et moins de pois en Soissonnais). Ces proportions sont aussi comparables en Champagne (un peu plus de pois) et en Valois (un peu plus de verger), mais où les superficies en jeu sont moindre. A noter, le Valois compte peu d'exploitations, mais elles sont de grandes tailles. Ceci s'explique par deux facteurs : d'une part, le relief moins disséqué que sur le Plateau soissonnais permet d'avoir des surface plus homogènes ; d'autre part les mêmes facteurs historiques que sur le Plateau soissonnais ont joué (1ère Partie, I - 2 - 2 - 2).

* Les petites productions (en surface), la vigne et les vergers

La vigne est cultivée à 99,5 % dans le Tardenois, où elle représente plus de 4 % de la SAU. "Les coteaux ensauvagés du sud" du département, le long de la Vallée de la Marne, produisent essentiellement des vins AOC champagne. Les exploitations y sont de petites tailles, en moyenne 43,8 ha, presque autant qu'en Thiérache, mais pour des raisons différentes. En région de vignoble, en particulier d'appellation contrôlée, quelques hectares valent autant que quelques centaines d'hectares en céréaliculture.

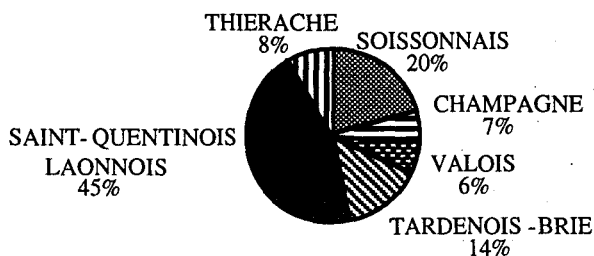
Les vergers, quant à eux se concentrent dans le Valois (35 %), le Soissonnais (27%), le Saint-Quentinois-Laonnois (17 %) et le Tardenois (14 %). Mais les surfaces en jeu sont très faibles. Il s'agit le plus souvent de cultures de fond de vallée.

* La Thiérache, une région en grande partie vouée à l'élevage

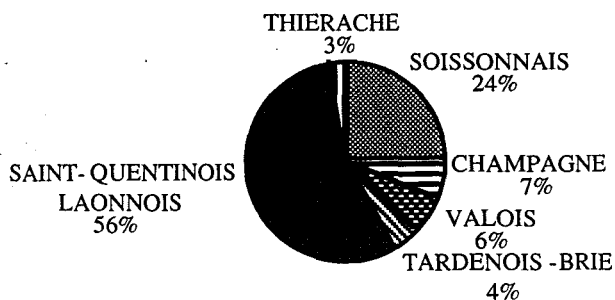
Le maïs est produit à peu près dans les mêmes proportions (20 à 26 %) en Tardenois, en Soissonnais, en Saint-Quentinois-Laonnois et en Thiérache, mais c'est dans cette dernière région agricole qu'il représente la plus forte part de la SAU (plus de 20 %).

Figure II - 2 - 1 - 1 - b : Les céréales, les betteraves, le maïs, les pommes de terre et les pois :
productions par région agricole (d'après RGA, 1988)

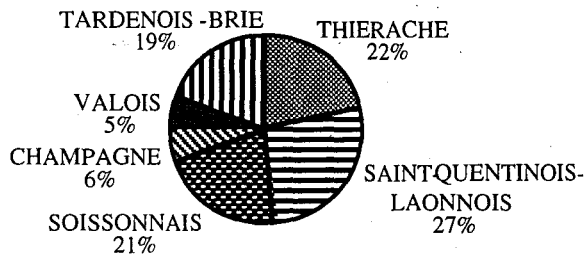
**REPARTITION DES SURFACES EN BLÉ
 DANS L' AISNE (213 682 HA AU TOTAL)**



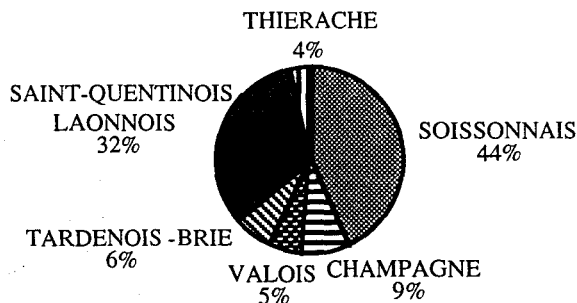
**REPARTITION DES SURFACES EN BETTERAVES
 DANS L' AISNE (72 700 HA AU TOTAL)**



**REPARTITION DES SURFACES EN MAÏS
 DANS L' AISNE (30 482 HA AU TOTAL)**



**REPARTITION DES SURFACES EN POMMES DE TERRE
 DANS L' AISNE (10 068 HA AU TOTAL)**



**REPARTITION DES SURFACES EN POIS PROTEAGINEUX
 ET DE CONSERVE
 DANS L' AISNE (35 461 HA AU TOTAL)**

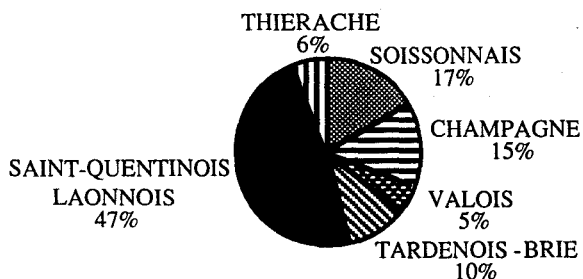
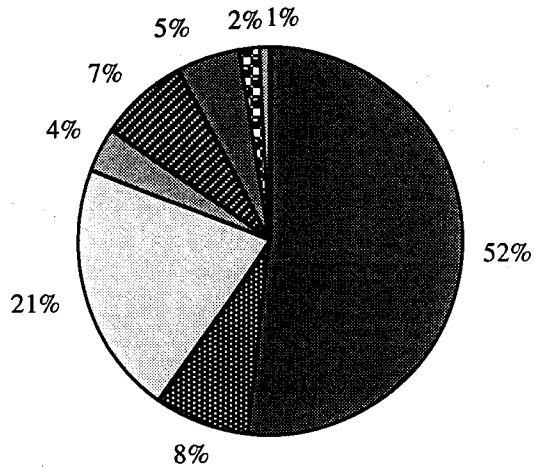
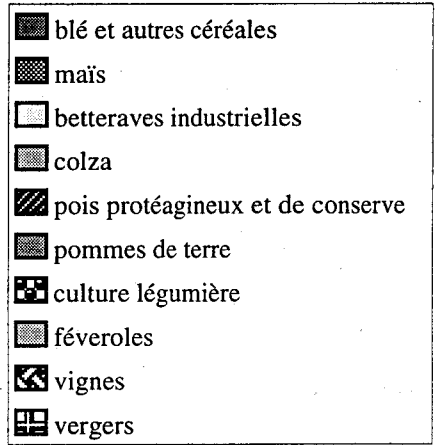
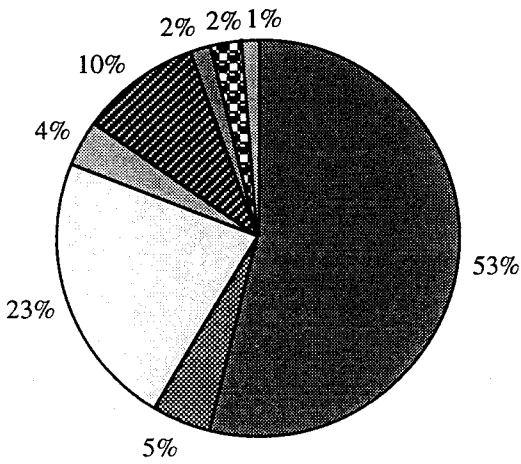


Figure II - 2 - 1 - 1 - c : Répartition des cultures sur la SAU en Soissonnais, Saint-Quentinois-Laonnois et Thiérache (d'après RGA, 1988)

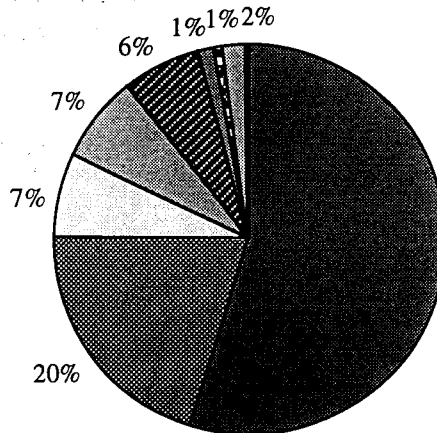
Soissonnais



Saint-Quentinois-Laonnois



Thiérache



Cependant l'argile froide de la Thiérache donne essentiellement une herbe drue (STH 63 % de la SAU), des bois, des pommiers : c'est une région de production de bovins (142 bêtes pour 100 ha de SAU) et de lait (Maroilles). Les actifs agricoles y sont beaucoup plus nombreux qu'ailleurs, on y rencontre de petits tracteurs et peu de grosses machines agricoles comme dans les autres régions agricoles. En effet, la Thiérache reste dans le département une région de petites exploitations, la SAU moyenne par exploitation étant 35,3 ha (110 ha dans le Valois). Et, fait exceptionnellement rare, c'est la seule région agricole du département où le nombre des exploitations inférieures à 5 ha est en augmentation au cours des dernières décennies.

D'ailleurs la superficie des exploitations tend partout à augmenter : sur les plateaux les exploitations inférieures à 30 ha ont presque totalement disparu au bénéfice des grandes fermes qui dépassent 50 ha et atteignent souvent 100 à 300 ha. Ce mouvement s'était amorcé depuis très longtemps, mais à l'occasion de la restauration des régions dévastées après la première guerre mondiale, la politique de remembrement entreprise a donné une nouvelle impulsion. Les quelques chiffres qui suivent montrent bien cette tendance à l'agrandissement des exploitations lors de la première moitié du XXème siècle.

Tableau II - 2 - 1 - 1 - b : Evolution du nombre des exploitations entre 1882 et 1942 dans certains départements picards (d'après GEORGE, RANDET, BASTIE, 1964)

	0 - 10 ha		10 - 40 ha		plus de 40 ha	
	1882	1942	1882	1942	1882	1942
Aisne	15,9	3,7	20,1	24,5	64	71,8
Oise	17,6	2,2	24,7	23,4	57,7	74,4
Seine-et-Oise	22,9	6,6	19,9	21,7	57,2	71,7

Le nombre des exploitations de moins de 10 ha se réduit de façon spectaculaire ; à l'inverse les exploitations supérieures à 40 ha se développent (particulièrement celles de 50 à 100 ha). Actuellement, cette tendance s'accroît.

Tableau II - 2 - 1 - 1 - c : Evolution du nombre des exploitations entre 1955 et 1988 dans l'Aisne et ses régions agricoles (d'après RGA, 1988 et Services statistiques de la DDA)

	0-10 ha			10-50 ha			plus de 50 ha		
	1955	1970	1988	1955	1970	1988	1955	1970	1988
Aisne	3 145	3 015	2 362	6 164	4769	2 623	2 626	2 910	3 300
Saint-Q-L	528	713	481	1 706	1 159	613	1 131	1 221	1 348
Soissonnais	383	409	267	880	647	339	449	499	549
Valois	30	91	75	73	51	21	134	135	141
Tardenois et B	584	784	819	705	524	258	382	415	449
Thiérache	1 562	923	649	2 584	2 253	977	335	424	591
Champagne C	58	95	70	216	135	85	195	216	222

Tableau II - 2 - 1 - 1 - d : Evolution de la taille moyenne des SAU entre 1955 et 1988 dans l'Aisne et ses régions agricoles (d'après RGA, 1988 et Services statistiques de la DDA)

	1955	1988
Aisne	38,59	62
Saint-Q-L	52,5	81,1
Soissonnais	50,8	84,5
Valois	93,4	118,6
Tardenois et B	33,15	43,8
Thiérache	19,3	35,3
Champagne C	67,3	90,1

Cet agrandissement des exploitations, ainsi que le vieillissement des chefs d'exploitation, est le point commun de toutes les régions agricoles. Toutefois, chaque région garde ses caractéristiques. Si la région agricole du Saint-Quentinois-Laonnois se démarque par sa grande SAU, ses vastes exploitations et la variété de ses productions, le Soissonnais, le Valois et la Champagne présentent dans l'ensemble les mêmes caractéristiques. Quant au Tardenois, il se différencie en raison d'une forte présence de la vigne. Enfin, la Thiérache se détache par la dominance des STH et de l'élevage.

II - 2 - 1 - 2 - Les causes

Le milieu naturel peut en grande partie expliquer les différences régionales : contrastes géologiques, nuances climatiques, différences pédologiques, mais les facteurs historiques ont aussi joué un rôle prédominant. Ces derniers ont conditionné des "vocations" différentes à chaque sol (DA LAGE, 1995), d'où les différentes cultures et les développements différents des régions au niveau paysage et économie

Ne serait-ce qu'au niveau du sous-sol et des sols, l'Aisne présente certains contrastes. Ainsi la craie marneuse (Turonien) de la Thiérache moins perméable donne un paysage vert et humide, alors que du Saint-Quentinois-Laonnois à la Champagne (du Vermandois à la Champagne, la craie blanche assure des sols bien drainés où la culture est bien plus favorable. La couverture limoneuse inégale favorise le Vermandois dont les limons sont les plus riches et les labours les plus gras.

En ce qui concerne l'héritage humain, qui sera développé par la suite, il faut signaler la mise en valeur très ancienne de certaines de ces régions (déboisement et mise en culture). La situation en périphérie de Paris n'a pas été sans effet ; la présence d'activités agro-industrielles en est la preuve (sucreries, usines de conditionnement de denrées alimentaires).

II - 2 - 1 - 3 - Un déséquilibre paysager et économique

La Thiérache, aux paysages verts et humides, est la région des exploitations laitières. Ces sols, des fonds de vallées comme ceux des versants, moins fertiles, en font la région la plus pauvre du département. Les exploitations qui s'y développent sont loin d'avoir les mêmes productions que celles des plateaux. On retrouve l'opposition entre les grandes exploitations à productions agro-industrielles et les petites exploitations où persistent l'élevage (1ère Partie, I - 1 - 6 - 1).

II - 2 - 2 - L'omniprésence de la grande culture dans le Laonnois et le Soissonnais

La présence marquée de la grande culture en Laonnois et en Soissonnais est une des principales raisons du choix de ces deux espaces en région de grande culture.

II - 2 - 2 - 1 - Openfield à vastes champs-blocs d'une part et openfield-mosaïque de l'autre

Une des grandes différences opposant le Laonnois et le Soissonnais est la forme et la taille des champs. Les vastes champs en forme de trapèze du Soissonnais (longueur voisine de 200 m, surface environ 20 ha) s'opposent aux champs moyens (7-10 ha) de formes variés du Laonnois. En fait, en se dirigeant vers le Nord, juste à la sortie de Laon, on retrouve les immenses champs dans la plaine laonnoise, puis, dès que le relief devient plus contrasté, ils laissent la place à des parcelles plus modestes.

II - 2 - 2 - 2 - Une structure agraire originale héritée du passé

Sur l'ensemble de la Picardie, la structure agraire actuelle a une origine très ancienne. Les premiers défrichements datent de l'époque gallo-romaine (HIGOUNET, 1990 ; LUGUET, 1963) et au XIème siècle, on notait déjà l'existence de fermes de plus 1200 ha. Le Soissonnais et le Laonnois ont été particulièrement concernés par ces défrichements, d'autant que ces régions étaient traversées par d'importantes voies de circulation.

* Un défrichement essentiellement médiéval dans le Laonnois

Le Soissonnais semble avoir été privilégié par les antiques défrichements. Dès le haut Moyen-Age, il est fortement peuplé. Les trames de l'ancien habitat gallo-romain y sont très serrées. De la conque de l'Aisne aux plateaux qui l'entoure, on peut citer quelques exemples : Jumigny, Arcy, Vailly, Vic, Attachy, Ambleny, etc. En Laonnois, bien que les traces parsèment tout le pays, elles sont bien moins serrées. Pourtant dans ces deux régions, le développement urbain (de Laon, Amiens, Reims et Soissons) et la circulation ont eu une incidence notable sur l'essor rural. Les nombreuses voies antiques qui traversaient la Picardie étaient pour l'essentiel des voies de plateaux. On citera l'une des plus importantes "la voie de Lutèce à Senlis et Soissons" aussi appelée "La Chaussée Brunehaut" qui est encore signalée sur la carte IGN au 1/25 000. Elle traverse le Plateau soissonnais et passe à quelques kilomètres de la commune de Vierzy. Deux autres voies traversaient aussi le Laonnois et le Soissonnais : la première de Reims à Laon vers Saint-Quentin, la seconde de Château-Thierry à Soissons aussi vers Saint-Quentin. Ainsi, contrairement à ce que l'on pourrait penser, ce n'était pas la vallée de l'Oise qui drainait la circulation, mais les plateaux, que l'orientation générale des voies transformait en régions de passages. Ces voies, reliant le pays flamand et la Champagne, étaient les lieux de passage des commerçants qui ont largement stimulé les productions régionales. Les gens d'église et les fonctionnaires des cités ont eu aussi leur rôle dans les défrichements. On citera, par exemple, la décision du Chapitre de la Cathédrale de Laon en 1146, de défricher certains de ses bois dont un près de Barenton-sur-Serre "parce qu'il n'en retirait le profit d'aucune récolte" (HIGOUNET, 1990).

En effet, les défrichements n'épargnèrent pas le Laonnois. L'activité des défricheurs semble avoir débuté sur le plateau situé entre Vervins, Guise, Ribemont et Marle. Dans la même région, Renier de Guise fit don aux moines, en 1161, d'un territoire de 2 400 ha, à la condition que ces derniers défrichent une superficie équivalente à 30 muids (environ 180 ha) par année. Cette opération a été menée de pair avec d'autres défrichements. Toutefois, toutes ces terres n'ont pas été mises immédiatement en culture faute de moyens. Au XIIIème siècle, l'essartage a continué vers l'est de la région, ainsi que vers la Thiérache. Ces défrichements s'accompagnent de l'implantation de villages et d'une augmentation de la population, augmentation favorisée par l'église (Tavaux, Penséricourt, Agnicourt, Lappion, etc).

La fondation des abbayes de Saint-Nicolas-au-Bois, après 1086, et de Prémontré, en 1121, semble avoir été le signal d'importants défrichements dans la forêt de Voes. L'implantation des Cisterciens, dans la haute vallée de l'Ailette, correspond aussi à une nouvelle conquête du sol dans cette partie du Laonnois.

En Soissonnais où l'occupation du sol était déjà ancienne, le XIIème et le XIIIème ont encore favorisé de développement agraire. Dans le bassin de l'Aisne et sur le plateau entre Aisne et Ailette, les défrichements ont été l'oeuvre des Prémontrés, installés dans le secteur, de religieux de Saint-Léger de Soissons et d'autres prieurés. En 1199, l'abbé Richerd donna à un certain Roger, défricheur, le Bois de Raray à essarter à raison de 15 arpents par an, contre dîme et terrage et 4 deniers de cens par arpents de prés (HIGOUNET, 1993).

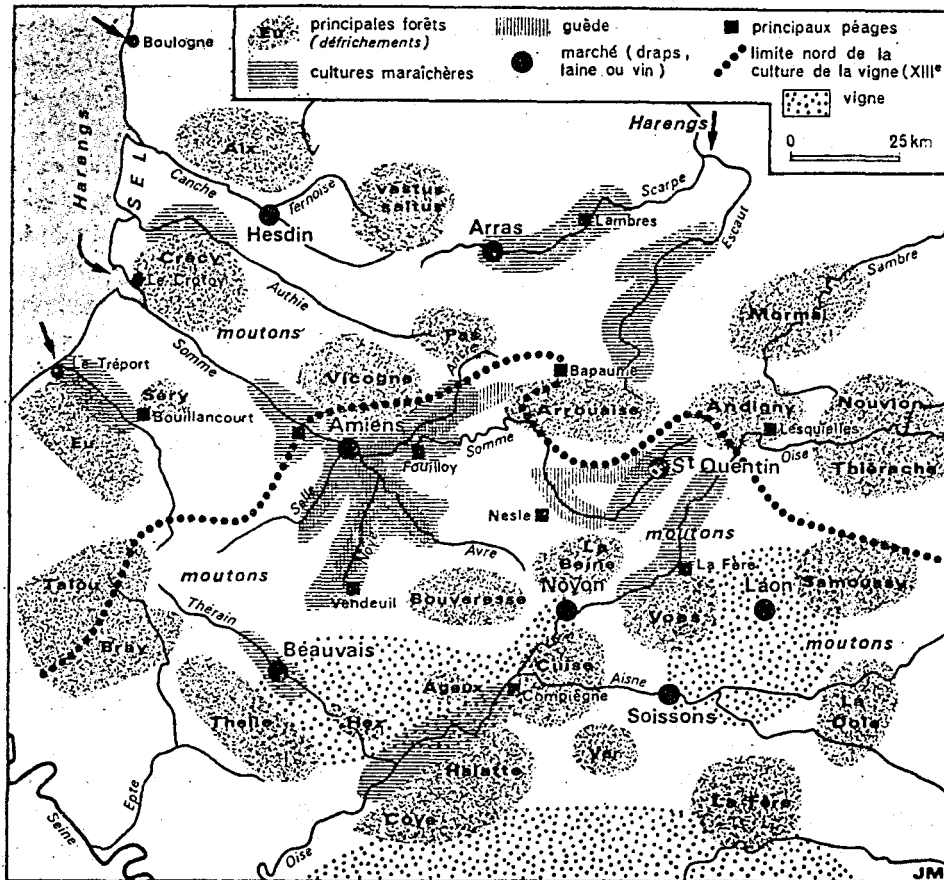
Dans la partie sud du Soissonnais, ce sont les moines cisterciens de Longpont qui sont responsables du défrichement du nord de la Forêt de Retz. C'est à la suite de ces défrichements qu'apparaît la "grange de Monremboeuf", dès 1148. Cette ferme existe encore aujourd'hui sous le nom de ferme de Montramboeuf, appartenant à H. de Bussy, sur la commune de Vierzy. D'ailleurs, plusieurs autres fermes de cette commune sont apparues lors de cette période (LUGUET, 1963) dont celle de Beaurepaire au XIIIème siècle.

Ainsi les défrichements et les créations de villages se sont surtout développés entre 1145 et 1230. Avant cette date, ils n'étaient qu'épars. Le Soissonnais et le Valois, plateaux d'anciennes colonisations, ont été moins touchés que le Laonnois et la Thiérache. Après 1230, les interdictions de défricher l'emportent sur les autorisations.

* Une reprise des défrichements au XVIème siècle

Après une période latente, les défrichements reprennent au cours du XVIème siècle, et ceci sur l'ensemble du territoire, achevant ainsi de faire disparaître quelques bois épars (LUGUET, 1963).

Figure II - 2 - 2 - 2 - a : Carte de grands défrichements médiévaux (HIGOUNET, 1993)



II - 2 - 2 - 3 - Les étapes de la formation de la grande exploitation agricole

* Les étapes anciennes : les grandes villae gallo-romaines

Les plus anciennes structures agricoles de la région datent de l'époque gallo-romaine. Mais on ne peut pas dire que ces grandes villae aient laissé de grandes traces. Il en a été tout autrement des grands domaines ecclésiastiques.

* Les domaines ecclésiastiques : les granges des Prémontrés et des Cisterciens

Les villages ont peu joué sur la mise en valeur des terres, que ce soit les plus anciennes ou celles nouvellement défrichées. Par contre, les grandes maisons monastiques ont mis en place des granges, sorte de grandes exploitations rurales. On en dénombre une quarantaine dans la région du Laonnois et du Soissonnais. A Longpont dans le Soissonnais, 12 granges comme celle de Montramboeuf ont été recensées. Les terres cultivées de ces granges couvraient une superficie de l'ordre de 270 à 500 ha, mais pouvaient être plus ou moins étendues (HIGOUNET, 1993). Ces exploitations possédaient des boeufs, des moutons et des chevaux. Elles produisaient du foin, des grains, du vin de cellier et travaillaient avec quelques charrues (carrucas) et charettes à quatre roues (plaustra). Ces granges ont considérablement fait progresser les méthodes agricoles.

* La Révolution

La révolution de 1789, qui a bouleversé le système de propriété, n'a pas modifié la structure du parcellaire et des exploitations. On rappellera le cas de la commune de Mongobert, sur le Plateau soissonnais, où le parcellaire est resté le même depuis François 1er (maire de Mongobert, comm. écrite 1995, 1ère Partie, I - 2 - 2 - 4 et annexe 4). A Vierzy de 1761 à 1781, propriétaires et fermiers s'arrangeront entre eux. Ils sauveront le patrimoine et de modestes laboureurs deviendront des agriculteurs, maintenant intacts les biens qu'ils cultivaient depuis plusieurs générations (LUGUET, 1963).

II - 2 - 2 - 4 - L'évolution du parcellaire

Le parcellaire actuel trouve-t-il ses origines dans des échanges entre agriculteurs au cours des années (remembrement dit "de fait", dans le remembrement officiel des années 1970) ? ou est-il l'héritage du passé ancien qui vient d'être évoqué ?

La réponse varie considérablement en fonction de la région agricole considérée. Dans les zones de bocage ou de polyculture, il a fallu attendre le remembrement officiel pour rompre avec la tradition des toutes petites parcelles. Parfois, suite aux deux guerres, particulièrement dévastatrices dans la région, le rassemblement des terres des plateaux et des plaines s'est opéré lentement et naturellement, parallèlement à l'intensification de la culture. Parfois, le passé a laissé ses traces : en l'absence de remembrement, de petites parcelles subsistent encore en Thiérache, ou à l'inverse de grandes parcelles héritées du passé n'ont pas changé à ce jour.

* Quelques vastes parcelles héritées des grandes fermes

Hormis les témoignages et les archives, il existe peu de moyens pour étudier le parcellaire ancien, l'aide du cadastre étant à ce niveau inexistante. Par contre, un aperçu rapide de cet héritage peut être apporté par une observation de la toponymie locale.

Une étude de la toponymie des régions agricoles du Soissonnais et du Saint-Quentinois-Marlois (à partir des cartes topographiques au 1/25 000) montre une différence entre les terres des régions de plateau et de collines (annexe 5).

Sur le plateau, on retrouve souvent les termes "Les Coutures" , "Les Couturelles", synonymes de grande parcelle ou d'openfield ; ou encore "Le Noir Soc", évocant un sol brun et profond. alors que dans les vallées du plateau, les toponymes se rapportent davantage aux prairies et aux sols humides (Les Terres Fraiches, Le Patis, etc.).

Sur les versants du Saint-Quentinois-Laonnois, on trouve parfois les traces d'anciens petits bosquets, de friches (L'Épinette), de haies (Le Murget). Dans les vallées de la Serre et du Vilpion, les toponymes évoquent une ancienne cohabitation de la polyculture et l'élevage (Les Petits Près, Les 4 muids).

La fréquence du terme "couture", tant sur les plateaux, que sur la plaine de Laon ou sur les versants du Saint-Quentinois-Laonnois témoigne de l'existence ancienne d'un paysage ouvert et de parcelles étendues.

* Les remembrements officiels : des effets localement très marqués

Fin 1987, plus de 520 communes du département de l'Aisne ont été remembrées, soit environ 75 % du territoire agricole axonais. Dans l'ensemble, la répartition géographique des communes remembrées est relativement homogène sauf en ce qui concerne la Haute Thiérache, le sud de Laon, le pourtour de Soissons et les massifs forestiers où les remembrements n'ont pas eu lieu. Toutefois, ce sont les zones de polycultures qui ont été les plus concernées (nord, nord-ouest, sud-est du département). Parfois, plusieurs remembrements successifs ont eu lieu.

Ces remembrements ont plus ou moins modifié les parcelles. Si le remembrement consiste surtout en des échanges fonciers, le parcellaire n'a pas été forcément modifié. En effet, la réalisation préalable d'échanges de culture entre exploitants fait que le parcellaire apparent a été plus ou moins transformé. "C'est ainsi que les régions de grande culture où les exploitations sont moins nombreuses et où de nombreux échanges de culture avaient été réalisés subissent de moins grands bouleversements" (Rousseau, comm. orales 1993).

Mais ceci n'est pas vrai pour l'ensemble du département. En particulier en pays de bocage (Thiérache), le remembrement a été associé à un profond remaniement du parcellaire comme le montrent ces quelques exemples (tab. II - 2 - 2 - 4 - a).

Tableau II - 2 - 2 - 4 - a : Exemples de conséquences du remembrement sur le parcellaire (d'après Anonyme, 1988, Le remembrement et l'aménagement foncier dans l'Aisne, DDAF)

Communes	Aubenton	La Bouteille	La Malmaison	Mézy-Moulins
régions naturelles	bocage Thiérache	bocage Thiérache	plaine Champagne-crayeuse	zone viticole Tardenois et Brie
surface remembrée en ha	2541	2309	1007	301
surface en terre cultivée en ha	960	-	-	-
surface en pâtûre en ha	1333	-	-	-
nombre d'exploitations agricole	54	128	11	60
taille dominante des exploitations en ha	30-50	-	30-50	-
age dominant des exploitants en années	< 35	-	-	-
nombre de parcelles avant remembrement	2 939	1 908	1 063	950 (surf. moyen. : 2,82 ares)
nombre de parcelles après remembrement	1 058	601	236	79 (surf. moyen. : 34 ares)
avis des agriculteurs	satisfaits	avantages incontestables	effets bénéfiques	positifs

- non-communicué

L'évolution du nombre des parcelles est impressionnante. Les paysages ont été d'autant plus transformés que ces remembrements se sont souvent accompagnés de la mise en place de chemins ou de fossés (par exemple 1,3 km de chemin et 2,5 km de fossé à Mézy-Moulins). Les effets ont été très bénéfiques pour les agriculteurs dans ces espaces où il était difficile d'accéder et de travailler de petites parcelles.

Pour chacune de ces communes, le nombre d'exploitations et le nombre de parcelles étaient particulièrement élevés. Mais, il s'agit de cas particuliers situés en région de polyculture qui ne reflètent qu'une partie de la variété des régions agricoles.

* Le remembrement officiel et de fait : exemple d'Erlon (Laonnois)

Les photographies aériennes constituent un très bon outil d'étude historique pour le XXème siècle, puisqu'elles apparaissent dès 1930. Elles permettent de retracer l'évolution du parcellaire (taille, agencement) et de sa structure (surface et longueur des parcelles). Elles apportent aussi des informations sur l'habitat (hangars, grandes fermes isolées) ou encore sur les talus, les haies et les boisements.

Des prises de vues concernant les communes d'Erlon (Saint-Quentinois-Marlois) et de Vierzy (Soissonnais) ont été utilisées. Le SIG (GEOCONCEPT) a permis de comparer des clichés de 1949, 1957 et 1991 pour Erlon et de 1936, 1958 et 1991 pour Vierzy .

Il semble, premier constat, que le remembrement ait davantage joué dans le Laonnois que dans le Soissonnais.

A Erlon, entre les clichés de 1949 et ceux de 1991, on ne peut pas parler de bouleversement du paysage agraire (tab. II - 2 - 2 - 4 - b et fig. II - 2 - 2 - 4 - a, ci-après), bien que la commune subisse en 1974 un remembrement.

Entre 1957 et 1991, les parcelles de moins de 1 ha disparaissent totalement, au profit de celles de 5 à 20 ha. Les grandes parcelles (plus de 20 ha) couvrent à peu de chose près les mêmes superficies. Toutefois, elles subissent un important changement d'ordre culturel : en 1957, elles étaient presque toutes consacrées aux pâtûres. En 1991, elles sont toutes couvertes par des plantes annuelles.

En ce qui concerne les haies ou les bosquets, leur disparition semble remonter à des dates antérieures. En 1949, le paysage est déjà celui d'un openfield, avec certes un parcellaire hétérogène où grandes et petites parcelles se cotoient, mais où les haies avaient déjà cédé leur place. De 1957 à 1991, on a relevé seulement quelques ares ha de bosquets et quelques kilomètres de haies disparus pour une surface considérée de 1 096 ha.

Tableau II - 2 - 2 - 4 - b : Evolution du parcellaire à Erlon entre 1949, 1957 et 1991 (d'après photographies aériennes IGN)

	1949	1957	1991
surface considérée en ha	910,0	1 095,6	1 230,2
nombre de parcelles	158	157	136
espaces occupés par des jardinés d'ouvriers agricoles	0	0	0
taille moyenne des parcelles en ha	5,76	6,97	9,04
nombre des parcelles de plus de 20 ha	5	6	6
nombre des parcelles de 10 à 20 ha	18	29	44
nombre des parcelles de 5 à 10 ha	48	45	55
nombre des parcelles de 3 à 5 ha	28	30	15
nombre des parcelles de 1 à 3 ha	40	31	16
nombre des parcelles de moins de 1 ha	19	16	0

* Le remembrement de fait : exemple de Vierzy (Soissonnais)

On est surpris de constater qu'en 1936 l'aspect général du parcellaire sur la commune de Vierzy est le même que de nos jours : celui d'un openfield-mosaïque. En regardant de plus près, on constate toutefois qu'il y a eu un agrandissement de la taille moyenne des parcelles (tab. II - 2 - 2 - 4 - b et fig. II - 2 - 2 - 4 - c, ci-après).

Premier constat important, les parcelles telles qu'elles apparaissent en 1936 sont déjà relativement étendues. Pourtant la mécanisation à proprement parler n'a pas encore commencé. Certes en 1911 le premier pulvérisateur apparaît sur ce plateau, mais il est encore tracté par les chevaux ; certes, la première guerre mondiale apporte les premières machines de labour à vapeur ; certes, le premier tracteur d'origine américaine arrive en 1919, puis la bineuse automotrice diesel en 1920, le premier camion élévateur en 1936. Mais ce n'est qu'en 1951 qu'apparaissent les très gros engins comme la moissonneuse-batteuse. Ainsi l'agrandissement du parcellaire a devancé l'arrivée des machines modernes.

Sur le plateau en lui même, le parcellaire est pour ainsi dire identique entre les différentes dates. C'est sur les rebords du plateau, en amont immédiat de la commune, que l'on constate les plus grands regroupements de parcelles (exemples au nord et au sud de la commune qui apparaît en blanc au centre des parcelles). Pourtant, il s'agit le plus souvent de sols aux limons moins fertiles et aussi de structure beaucoup moins stable (limons blancs, moins argileux). De plus, ces parcelles, le plus souvent consacrées aux prairies, sont mises en cultures. On assiste là à une double évolution.

Par ailleurs, cette mise en culture des bords de plateau s'accompagne de désagréments, de contraintes ou d'avantages selon les objectifs de l'agriculteur. Le limon de plateau, qui donne une terre rouge, doit être labouré plus tôt pour bien se ressuyer. La terre plus blanche, de bordure du plateau, peut, par contre, être labourée plus tard, jusqu'en mai pour une culture de pois par exemple (H. Moquet, comm. orale 1995). L'agriculteur peut ainsi laisser en chaume, travailler cette parcelle après les autres et choisir son assolement plus tardivement.

Les agrandissements de parcelle se font en général dans l'optique d'un accroissement de la longueur (jusqu'à 500-750 m). Une longueur voisine de 750 m est plus pratique pour les machines et plus rentable vis-à-vis des fourrières. La largeur des parcelles est beaucoup plus variable dans l'espace (250 à 900 m) et changeante dans le temps. D'une année à l'autre, les agriculteurs font le choix d'en assembler ou d'en diviser, mais sans jamais modifier véritablement l'aspect général du parcellaire.

Ces tendances sont capitales car elles indiquent les impératifs économiques auxquels sont confrontés les agriculteurs. Dans une optique d'aménagement, il faut en tenir compte : si on souhaite faire diminuer la taille des parcelles c'est sur leur largeur, dimension plus souple, que l'on pourra agir.

En 1936, on remarque sur le plateau quelques bandes de terres très peu larges et longues (50 m*500 m) découpées en une quinzaine de toutes petites parcelles (0,05 à 0,5 ha). Il s'agit de petits "jardins" laissés aux ouvriers agricoles en bordure d'un champ de pommes de terre. Les ouvriers peuvent y cultiver des pommes de terre ou autre chose, la surface attribuée était proportionnelle au nombre d'enfants. Leur aspect est hétérogène car elles sont plus ou moins entretenues. Elles sont séparées chacune par un espace de la largeur d'une butte. On en retrouve un petit nombre en limite du plateau et bordant des pâtures.

Cependant, très fréquemment, le chef d'exploitation préfère donner un certain nombre de sacs de pomme de terre par famille et garder sa terre. En effet, la mécanisation dans les années 1960 a rendu non rentable ces petits espaces. Ils monopolisaient de bonnes terres du plateau ; s'ils étaient mal entretenus, c'était une source de mauvaises herbes pour les grandes parcelles de pommes de terre ; les machines ne pouvaient pas y passer ; le travail à la main prenait trop de temps... Les années 1960 constituent un virage pour la culture de la pomme de terre. L'intégration des exploitations à des filières telle Vico pour les pommes de terres conditionnées en purée, chips, ... ou à des filières de production de fécule, la mécanisation et donc les investissements considérables s'accompagnent de la disparition des jardinés.

Plusieurs agriculteurs nous ont ouvert leurs archives personnelles. Ainsi, H. Muzart, exploitant la ferme du château, nous a fourni le nom et la taille des parcelles de son exploitation depuis 1923. La taille moyenne de l'ensemble de ces parcelles était alors de 12,56 ha (288,81 ha au total, en 23 parcelles). La plus grande couvrait alors 16,41 ha. Aujourd'hui la plus grande atteint 33,26 ha (annexe 1).

Tableau II - 2 - 2 - 4 - c : Evolution du parcellaire à Vierzy entre 1936, 1957 et 1991 (d'après photographies aériennes IGN)

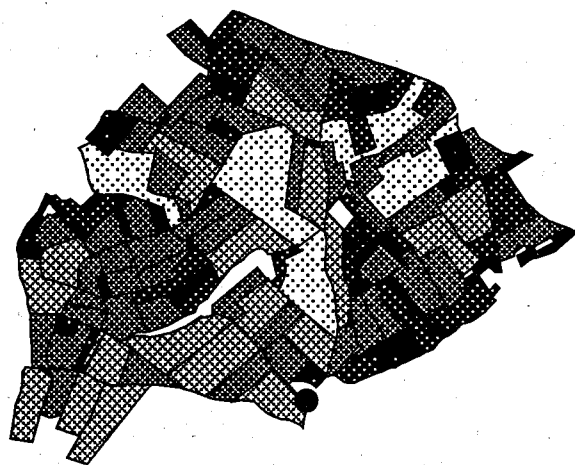
	1936	1957	1991
surface considérée en ha	1 435,5	1 432,2	1 436
nombre de parcelles	154	128	95
espaces occupés par des jardinets d'ouvriers agricoles	5	0	0
taille moyenne des parcelles en ha	9,32	11,18	15,12
nombre des parcelles de plus de 20 ha	6	11	25
nombre des parcelles de 10 à 20 ha	58	59	38
nombre des parcelles de 5 à 10 ha	51	35	22
nombre des parcelles de moins de 5 ha	39	23	10

Toutes les communes du plateau ne présentent pas un parcellaire homogène et étendu. Sur la commune de Jumigny, de position plus septentrionale, un peu en marge du plateau, l'évolution du parcellaire a été remarquable depuis la guerre de 1914-1918 (ARNOULD et al, 1992). A Vierzy, il faut souligner le poids de l'histoire dans cet héritage de paysage d'openfield. La ferme la plus ancienne, celle de Montramboeuf, avant d'être donnée à l'abbaye de Longpont par Eléonore de Vermandois, avait une superficie pouvant produire en 1150 jusqu'à 92 muids^(*), sans compter les prés et les bois (LUGUET, 1963).

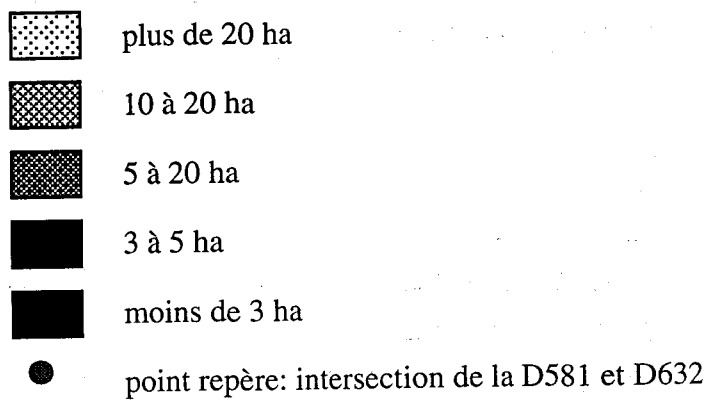
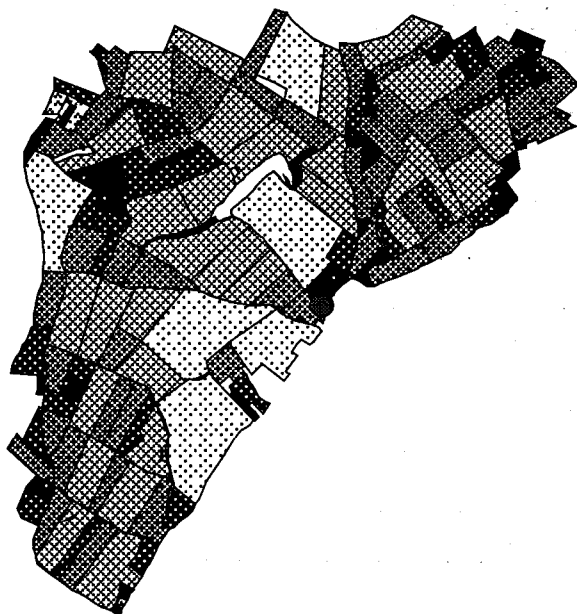
(*) Le muid est une unité de volume qui exprime une capacité de production en grains. Certains auteurs (LUGUET, 1963) proposent une conversion en surface. Ainsi, un muid pourrait être produit par une superficie de 6 ha. Pour plus de détail se rapporter à l'annexe 5.

Figure II - 2 - 2 - 4 - a : Evolution du parcellaire à Erlon entre 1949,1957 et 1991 (d'après photographies aériennes IGN)

1949



1957



1991

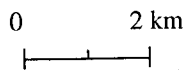
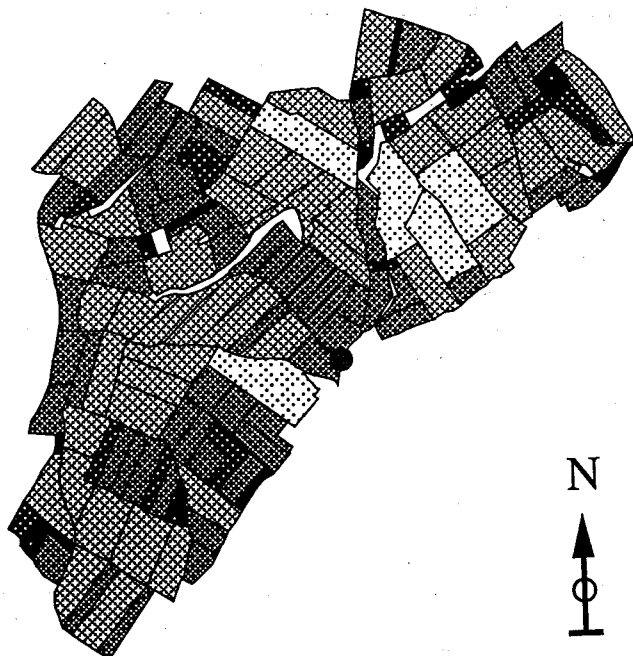
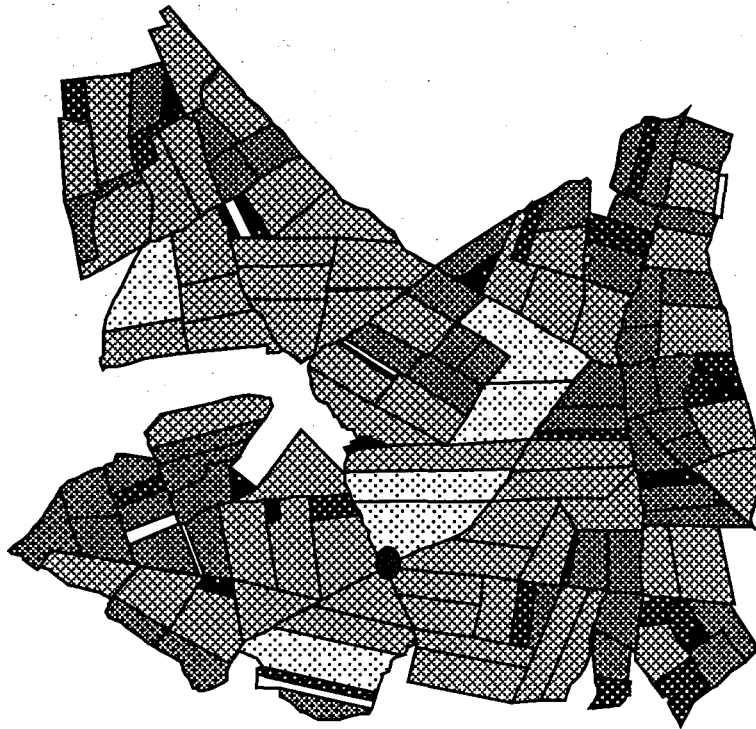








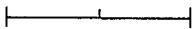
Figure II - 2 - 2 - 4 - b : Evolution du parcellaire à Vierzy entre 1936, 1957 et 1991 (d'après photographies aériennes IGN)

1936

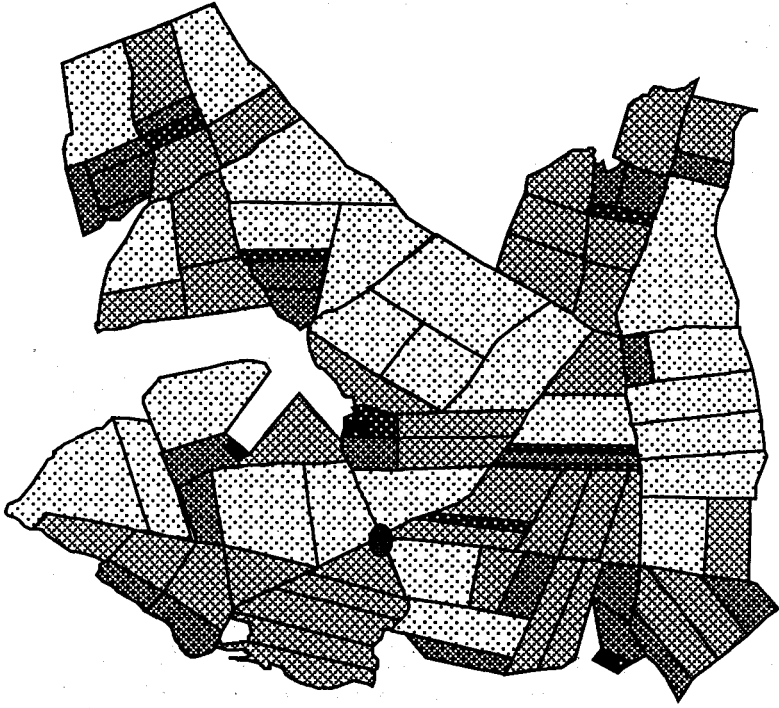


-  plus de 20 ha
-  10 à 20 ha
-  5 à 20 ha
-  3 à 5 ha
-  moins de 3 ha
-  point repère: intersection des D804, D172 et D175

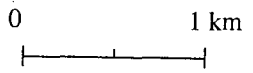
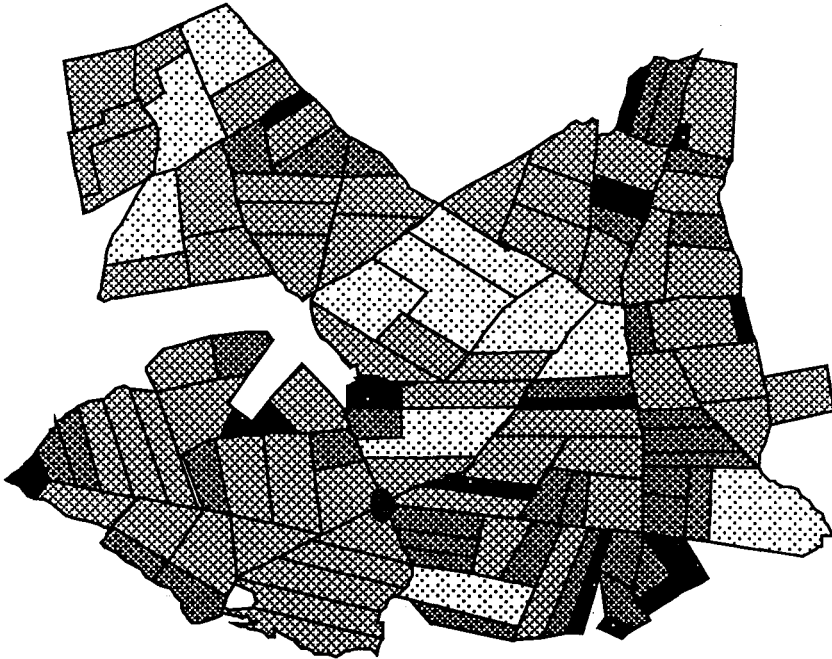
0 1 km



1991



1958



L'ancienneté et la notoriété des fermes s'apparentent dans chaque cas à une grande surface d'exploitation et un grand parcellaire : la ferme du Château (cédée successivement du chevalier Nicolas de Louvain, au conseiller du roi, Maître Thomas Pascal, puis à Jacques, bâtard de Vendôme, puis à Jeanne d'Estrées), la ferme de Vauxcastille, la ferme de Beaurepaire appartenant à l'abbaye de Longpont, la ferme des Roches appartenant à la maladrerie de Saint-Lazard de Soissons, etc. (LUGUET, 1963). Ces grandes fermes ont été soit des propriétés de seigneurs, soit des propriétés de l'église, ce qui explique qu'elles aient traversé les années en conservant leur structure. Aujourd'hui encore, ces grandes fermes existent.

II - 2 - 2 - 5 - L'originalité des structures foncières : exemple des propriétés des hospices

On peut évoquer ici une situation propre au département de l'Aisne, celle des propriétés foncières des hospices. Depuis la Révolution, les hospices de la région possèdent de grandes surfaces de terres qui sont mises en fermage. Cette propriété est liée à des dons de l'église pendant la Révolution, à la récupération de terres qui avaient été collectivisées, à des héritages d'anciens pensionnaires, etc... Aujourd'hui ces hospices sont propriétaires d'une part non-négligable des terres arables. C'est l'Hospice de Soissons qui possède la plus grande surface, avec plus de 1 200 hectares ; la propriété de celui de Laon est moins importante (600 ha), puis vient celui de Saint-Quentin.

Toutes ces terres sont mises en fermage avec des baux de 9 ou 18 ans. D'une façon générale, sur le Plateau soissonnais, la part de faire valoir direct (FVD) est beaucoup plus importante pour des raisons historiques. On est en présence d'une région de propriétés foncières. De plus, les capacités d'achat sont plus importantes. Globalement, plus l'exploitation est importante, moins la part de faire valoir indirect (FVI) est notable. Paradoxalement, la Thiérache, région de petites propriétés, est passée en propriété, par achat des terres d'élevage. Par contre, dans le Saint-Quentinois-Laonnois, le FVI est particulièrement présent (Bertin, comm. orale 1995).

Il faut donc retenir de tout cela que le fermage représente 67,1 % dans le département de l'Aisne contre 55,8 % en France. Ce qui s'oppose à l'idée que l'on se fait de cette région : une région de grands propriétaires terriens exploitants. De plus, ces terres mises en fermage sont souvent héritées de grandes fermes. Elles se présentent sous forme de grandes parcelles louées par des baux de 18 ans, ce qui ajoute à l'aspect figé du parcellaire. Parfois même, ce sont des fermes entières de plusieurs centaines d'hectares qui sont ainsi louées.

D'autres cas de propriétés foncières originales peuvent être signalées, mais de bien moindre ampleurs ou moins typiques :

- les grandes familles terriennes non-exploitantes (le Prince de Monaco, les descendants Fouquier-Tinville, ...)
- les CCAS, Centre Communal d'Action Sociale, seulement quelques hectares par commune ;
- la maison de retraite du département, environ 100 hectares ;
- le Conseil Général, plus de 100 hectares appartenant anciennement à l'Ordre des Prémontrés.

II - 3 - La variété des pratiques culturales

"Agronomes, économistes, aménageurs
ont récemment trouvé matière nouvelle à pontifier.
Au-delà de mots obscurs - meilleure valorisation des résultats,
développement intégré ou promotion rurale -,
œuvrant dans leur sagesse profonde, ils essaient
de cerner avec plus de clarté ce qu'est un système agraire,
et de répondre pour nous tous à cette question vitale :
Pourquoi les agriculteurs font ce qu'ils font ?
[...]

Dans le monde, des agriculteurs labourent et plantent,
traient leurs vaches, travaillent et chantent.
Après les interview, les essais, les calculs,
les experts font retraite dans leurs bureaux
tandis que les paysans continuent de planter leur maïs,
que meurent les anciens et naissent les enfants.
Les hommes se racontent leurs histoires en buvant un coup
et se grattant la tête, une fois encore s'étonnent :
Pourquoi les chercheurs font ce qu'ils font ?"

"Why do farmer do they do ?"
in MUNOZ, 1992

II - 3 - 1 - L'héritage agricole

II - 3 - 1 - 1 - De l'époque médiévale au XXème siècle

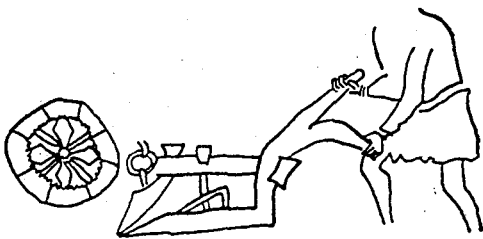
Les granges étaient réputées pour leur savoir faire, pour leurs moyens et pour leurs rôles d'exemples. Déjà les Cisterciens amélioraient la fumure des terres. Dès le XIIème siècle, ils pratiquaient l'assolement triennal, soit froment, marsage, jachère, soit blé, avoine, jachère. Au XIVème siècle, les terroirs étaient "aroiés", avec trois "roies" de superficie voisine (par exemple 23 muids, 21 muids, 21 muids ; 1 muid correspondant à la production d'environ 6 ha). Au XVème siècle, cette pratique continuait sur des soles dont la superficie n'avait pas ou très peu évoluée. L'exploitation en était faite par des convers ou familiares, puis par des métayers, dès le XIIIème siècle.

Le XVIème siècle fut un siècle de prospérité croissante et de progrès agricoles très marqués (LUGUET, 1963). L'assolement triennal fut longtemps pratiqué et ce mode de culture comprenait obligatoirement trois soles. La première comprenait du blé d'hiver, du froment, du seigle, la seconde du blé de mars, de l'avoine, de l'orge auxquels on adjoignait des pois, des vesces, ou des fèves, la troisième "année verte" demeurait en jachère.

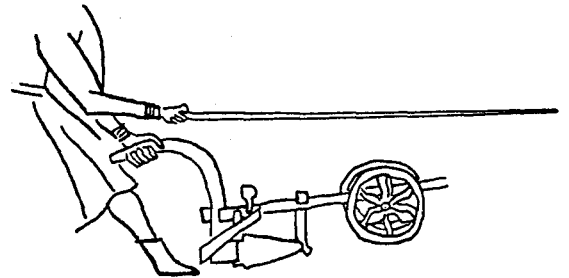
Par la suite, à l'époque du premier Empire, ce mode de culture subit de profonds changements afin d'enrichir les champs, mais les assolements restèrent divisés en trois. Du trèfle était semé en mars sur une partie de la sole en blé. Les troupeaux y pâturaient. Ce trèfle était retourné (formant de l'engrais) et remplacé par les semences d'automne. Puis en mars suivant, on semait vesces, lentilles ou autres espèces fourragères.

Vers 1700, Lieger, agronome, recommandait les prairies artificielles, car à l'époque les engrais chimiques étaient encore méconnus. Ainsi, les possesseurs de gros troupeaux utilisaient ces prairies pour le pacage des animaux et remédiaient au manque d'engrais. Quant aux petits exploitants sans bétail, ils achetaient du fumier au prix fort. Certains prenaient même à bail des vaches, des génisses ou des moutons qui leur apportaient la fumure tant recherchée.

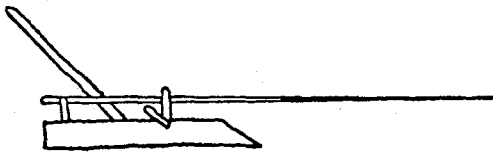
Figure II - 3 - 1 - 1 - a : L'équipement paysan au Moyen-Age (FOSSIER, 1983)



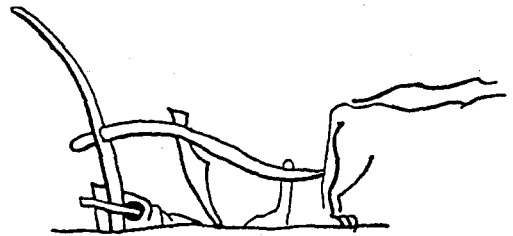
Charrue à avant-train (XI^e siècle)
(SINGER, p. 88, fig. 52)



Charrue à avant-train (XII^e siècle)
Bibl. Nat. Paris, lat. 15675)



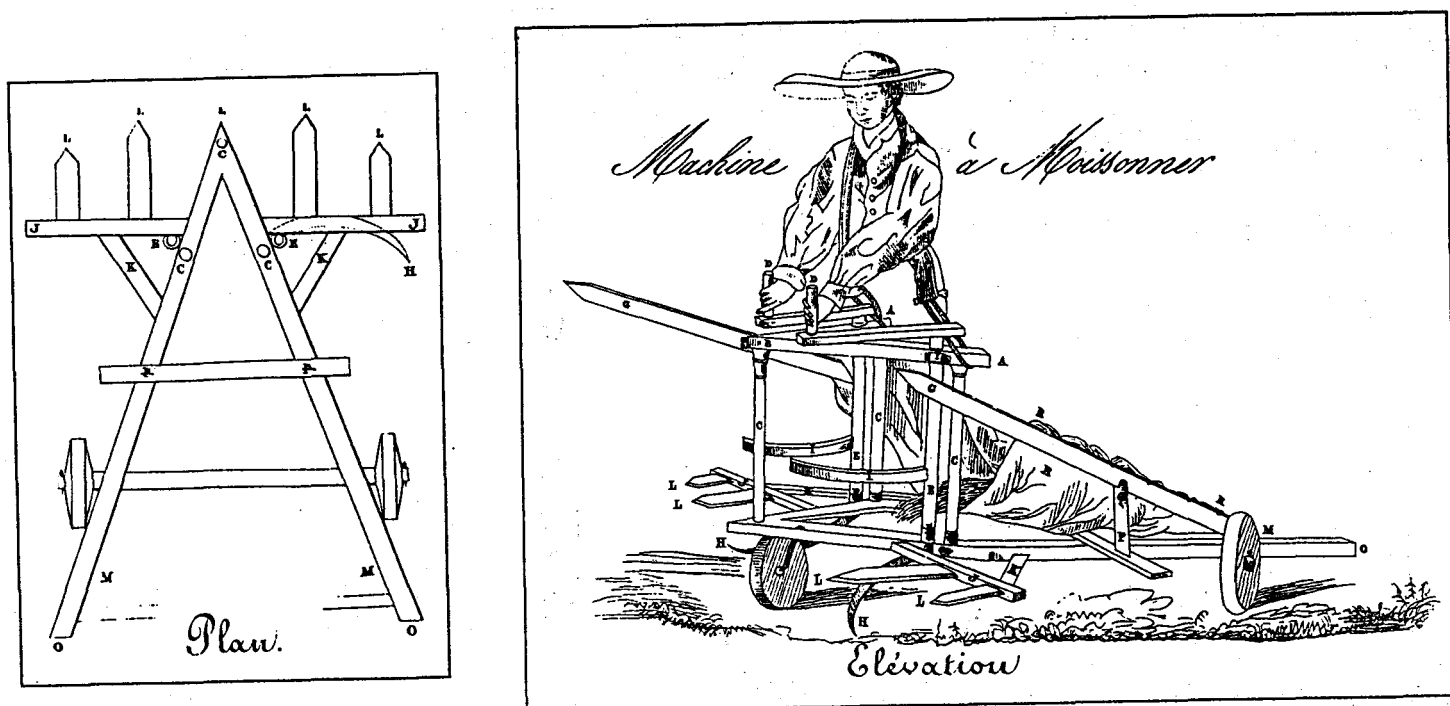
Araire du type chambige (vers 1270)
(Arch. dép. Nord, GH 3)



Charrue à patin et à un seul mancheron (XIII^e siècle)
(SINGER, p. 88, fig. 51)

La volonté de développer les performances de l'agriculture se manifesta de tout temps. En 1837, "la Société d'Agriculture" implantée dans l'Oise mit en place une revue, "l'Agronome praticien", publiée de 1830 à 1911 pour promouvoir la vulgarisation agricole. Tirée en 250 à 300 exemplaires, cette revue aux apports novateurs et entreprenant se vendait dans toute la région et s'adressait à une sorte d'élite agricole.

Figure II - 3 - 1 - 1 - b : La machine à moissonner au XIXème siècle (Collectif, 1993-94, Annales historiques compiégnaises)



Toutefois, l'outillage agricole est demeuré longtemps stationnaire : le semeur à la volée, le moissonneur à la faux ou à la faucille, le batteur au fléau (fig. II - 3 - 1 - 1 - a et b, ci-avant). Ces pratiques subsistèrent jusqu'au XIXème siècle et alors que la culture atteignait le plus haut degré d'activité et de perfection (LUGUET, 1936). La vie des villages se résumait à la culture du blé et à l'élevage. Ce n'est qu'après la Révolution que la betterave pris une extension considérable.

"En labour, les agriculteurs sont prompts et actifs, toujours en oeuvre soit des mains, soit de parole... C'est que la terre nécessitait des soins assidus et que le cycle du travail champêtre comprenait le labourage, les semailles, le fauchage et les battages " (Chastellein, dans LUGUET, 1963).

Pendant toute cette période précédant le XXème siècle, la main d'oeuvre était suffisante. Les habitants du village prêtaient leurs services aux laboureurs (les biens, souvent seigneuriaux, étaient loués aux laboureurs), en particulier aux fermes du village. Pour "faire l'août", on avait recours aux bons offices de manouvriers "pour scier, récolter les blés et avoines, les lentilles et les vesces, rassembler les gerbes sur le bordage du chemin pour permettre leur enlèvement et répandre les fumiers nécessaires à l'amendement des terres tant d'hiver que d'été et nettoyer les bergeries" (LUGUET, 1963). Une ferme pouvait faire vivre trente familles.

II - 3 - 1 - 2 - Le XXème siècle : les progrès techniques

Après la guerre de 1914-18, il était fréquent sur le Plateau soissonnais, notamment sur "Le Chemin des Dames", d'avoir recours à de la main d'oeuvre étrangère, très souvent des immigrés polonais. Ces emplois s'accompagnaient très fréquemment de la construction de petites cités pour accueillir les ouvriers agricoles. Certaines existent encore, on en observe notamment sur "Le Chemin des Dames", à Filain.

Pour des villages "anciens", comme Vierzy, ce problème de main d'oeuvre était moins sensible. Le village bien peuplé en fournissait l'essentiel (surtout des enfants).

C'est lors de ces années que les rendements commencent à "décoller" parallèlement à l'arrivée des premiers traitements herbicides au début du siècle (J. C. Doncoeur, comm. 1994). Dès 1926, la Société des engrais de Soissons conseille des traitements contre les mauvaises herbes : nitrate de cuivre, l'acide sulfurique, nitrocuprine, cianamide, et bien d'autres (annexe 1). La fertilisation chimique se généralise : nitrate de soude du Chili à 15,5 %, du chlorure de potassium à 50-60 % et du super phosphate à 14 %. Les engrais composés ne font leur apparition que vers 1950.

Les analyses de sols sont encore peu répandues mais déjà la Station Agronomique conseille les agriculteurs. Ses préconisations sont bien inférieures pour certaines cultures aux pratiques actuelles, ainsi qu'aux pratiques de l'époque d'ailleurs.

En fumure de fond, le fumier reste l'apport dominant jusqu'à la disparition de l'élevage vers les années 1960. Les résidus de sucreries prennent alors la première place. Ils se substituent aussi à la chaux vive fournie autrefois par une société de ciments.

Dans les années 1970, les améliorations des traitements phytosanitaires, en particulier de ceux des betteraves, sont spectaculaires (1ère Partie, I - 1 - 2). Les produits utilisés à l'époque sont sensiblement les mêmes qu'aujourd'hui (essentiellement des herbicides). Ils étaient utilisés individuellement et à forte dose. En pratiquant des essais, on a constaté que leur utilisation à très faible dose, mais en mélange, donnait d'excellents résultats.

II - 3 - 1 - 3 - L'évolution des rotations, vers une simplification des assolements

Pendant la première moitié du siècle, les cultures étaient variées mais avec deux piliers, les céréales et les betteraves. On a pu recenser sur quelques exploitations du Plateau soissonnais les cultures de blé, betteraves, orge, escourgeon, pomme de terre, pois, avoine, luzerne, colza, maïs et, occasionnellement, fèves, minette, sainfoin. Le changement s'opère vers les années 1960. Depuis, les assolements sont constituée de blé, d'orge, de betteraves, de pommes de terre, de maïs, et, depuis quelques années, de surface en jachère. Depuis 1993, la jachère obligatoire entraîne une baisse des surfaces en blé, en betteraves, en orge et en pommes de terre. Ainsi du début du siècle à nos jours, la proportion des cultures de printemps, laissant les sols nus pendant l'hiver, est passé du quart à la moitié de la surface. Ce fait est particulièrement important dans la cadre de notre problématique, les sols nus étant plus sensibles à la formation des ruissellements et à l'érosion.

II - 3 - 1 - 4 - Une forte progression des rendements

D'une façon générale, les rendements sont très bons, pour le blé comme pour les autres productions. Cette progression constante est à rattacher à l'évolution des semences, des traitements phytosanitaires, au cours des années 1960 et aux traitements des semences ces dix dernières années. Le traitement des semences apporte un "plus" décisif : une différence de 20 à 25 q par ha entre une semence traitée et une semence non-traitée (annexe 1).

Tableau II - 3 - 1 - 4 - a : Meilleurs rendements (en quintaux) obtenus dans l'Aisne au cours des années 1988-93 pour quelques cultures

	Moyennes départementales en q/ha
blé tendre	82 (1989)
orge et escourgeon	74 (1991)
maïs grain	80 (1988)
betteraves	705 (1990)
pommes de terre	421 (1988)
pois protéagineux	55 (1992)

II - 3 - 2 - La variété des assolements

II - 3 - 2 - 1 - Quelques exemples

Même si les cultures sont dans l'ensemble peu variées, les assolements sont nombreux (2ème Partie, I - 4 - 2).

On trouvera par exemple pour les rotations les plus classiques : blé/pois/blé/betteraves, orge/pois/blé/betteraves, blé/betteraves/blé/pommes de terre, blé/betteraves/pois/blé, pois/blé/betteraves/pois (plus fréquents sur le plateau), maïs/maïs/betteraves/blé, maïs/pois/betteraves/blé (plus fréquents dans le Laonnois). Il s'agit le plus souvent de blé d'hiver, mais, occasionnellement, on observe du blé de printemps. Le blé est aussi fréquemment remplacé dans les rotations par de l'escourgeon, orge d'hiver, ou de l'orge de printemps.

La variété des assolements est plus appréciable lorsque d'autres cultures s'associent aux céréales et aux betteraves : le colza, culture d'hiver, les féveroles, les haricots, les oignons, les carottes (dans la plaine de Laon ou dans les vallées pour ces trois derniers).

Sur l'exploitation, les assolements sont souvent planifiés sur plusieurs années. Ils sont savamment calculés afin de respecter chaque année des proportions de surface déterminées sur l'exploitation pour chaque culture. Par exemple, 50 % de la surface en blé, 20 % en betterave, 20 % en pomme de terre et 10 % en pois pour telle exploitation ou bien encore 35 % en blé, 20 % en betterave, 20 % en maïs et 15 % en pois pour telle autre. Chaque exploitation respecte ainsi des surfaces en relation avec ses marchés d'écoulement de productions.

Occasionnellement, une culture peut être remplacée par une autre, si le besoin du marché s'en fait sentir, mais la plante substituée aura les mêmes "exigences" (orge ou blé, betteraves ou pommes de terre). Dans l'ensemble, il y a peu de surprise quant à la culture qui va suivre, si on connaît l'assolement antérieur.

II - 3 - 2 - 2 - "Jachériculture" ou parcelles désavouées

* La jachère^(*), une origine bien différente de son utilisation actuelle

D'origine très ancienne, la jachère correspondait à une période de repos d'un an ou plus destinée à permettre une certaine régénération de la fertilité du sol après une ou plusieurs cultures et à le débarrasser de ses mauvaises herbes. La jachère se composait de l'ensemble des labours de printemps et d'été nécessaires pour préparer le semis des céréales d'hiver (à l'époque il fallait plusieurs labours successifs pour préparer le terrain), mais n'était pas une terre enherbée. C'était une technique propre aux régions où l'on cultivait des céréales d'hiver à la charrue ou à l'araire. Dans une rotation, la jachère était en tête. Sa durée ne dépassait jamais un an, en générale 4-6 mois du premier labour (mai-juin) aux semailles. La vaine pâture n'était pas spécifiquement liée à la jachère, comme on aurait tendance à le croire.

Vers 1848-1850, de Gasparin (Michel Sebillote, in Collectif, 1991, Dynamique des systèmes agraires - A travers champs, agronomes et géographes, ORSTOM) définissait les jachères comme étant des systèmes "où le sol étant appelé à produire une ou deux années de suite, on lui accorde une année de repos pendant laquelle la terre est soumise aux labours qui l'ouvrent, l'étalent aux influences atmosphériques, en la délivrant en même temps de toute végétation spontanée qui épuiserait ses sucs sans grand profit pour le cultivateur. Ce système ne commence à être possible qu'autant que la terre qui y est soumise possède déjà des avances de fertilité telles que les plantes puissent y puiser, dès le début, l'aliquote des principes nutritifs nécessaires à leur consommation...".

Mathieu de Dombasle précisait déjà en 1832 " ... La jachère peut être supprimée dans beaucoup de cas, cela est incontestable, mais jamais avant d'avoir amené le sol à un état de propreté satisfaisant, et dans une multitude de circonstances, c'est à dire dans les terres fortes et argileuses, la jachère doit être considérée, même dans le cours de la meilleure culture, sinon comme indispensable, comme le meilleur moyen d'obtenir du sol le produit net le plus élevé dans l'exploitation de grande culture... " Selon la nature des sols, elle revient tous les 2-3 ans ou 6-7 ans "...de tous les moyens de nettoement du sol, il n'en est aucun de plus efficace et de plus énergique que la jachère, et dans beaucoup de cas, il n'en est pas de plus économique...".

Elle avait disparu suite à l'apparition des engrais commerciaux lors de la seconde moitié du XIXème siècle.

* La jachère, aujourd'hui "culture" imposée

- La jachère aujourd'hui : réduire des productions excessives

La jachère d'aujourd'hui est devenue le remède contre les effets de l'intensification et l'augmentation spectaculaire des productions depuis quelques décennies. En imposant le "gel" des terres par une mise en jachère, la Politique Agricole Commune Européenne entend réduire les productions. De ce fait la définition de la jachère est largement modifiée et élargie.

(*) Le mot jachère vient GASKARIA, mot gaulois latinisé et non, contrairement à ce que l'on pourrait penser, de JACERE, mot latin. Il s'agit d'un terme régional propre à la France et aux régions situées au nord de celle-ci. Dans l'Ouest et le Centre, on parlait de gueret, en Champagne et en Lorraine de versaine, en Bourgogne de sombre, en Franche-Comté de sommard, en Bresse de terre au soleil, en Roussillon de cotive.... C'était une pratique très répandue.

On multiplie les sens du mot, par exemple la jachère verte, terre travaillée qui porte des cultures fourragères dérobées fournissant un engrais vert ou du fourrage (ray-grass) ou la jachère cultivée occupée par du lin oléagineux, etc.

- Des avantages et des inconvénients

On lui reconnaissait autrefois de nombreux avantages comme l'augmentation du rendement de la culture post-jachère, hausse liée à la modification du stock de l'azote du sol (de Gasparin), ou l'accroissement du volume d'eau stockée, ou encore son rôle dans la lutte contre les adventices et les parasites. Elle peut aussi jouer sur l'état de surface pour accroître la porosité et l'infiltration. Elle peut augmenter la rugosité et ralentir la circulation de l'eau et donc limiter le ruissellement et l'érosion. La jachère enherbée entraîne de plus un accroissement de la matière organique.

A l'inverse, la jachère peut entraîner une baisse de la réserve en matières organiques plus rapide que sous culture. Une jachère nue travaillée favorise la minéralisation, mais ne restitue pas de matières organiques. De plus, si le travail du sol est profond, il y a dilution de la matière organique et appauvrissement. La jachère nue favorise aussi les pertes d'azote.

Les agriculteurs lui trouvent d'autres inconvénients. Entre autres, la mise en jachère (surtout en jachère longue) concentre les rotations sur les autres parcelles : une même culture revient plus fréquemment dans l'assolement, ce qui accroît les risques de propagation et de développement de certaines maladies (H. Moquet, comm. orale).

- Pourquoi cultiver la jachère ? Quelle jachère choisir ?

Le choix d'une jachère non-cultivée (ray-grass, mélange à gibier, etc.), énergétique (lin, colza), d'une jachère courte ou longue, etc. est fonction de l'exploitation (élevage ou non), du matériel de l'exploitation et surtout de l'exploitant. Certains choisiront une jachère non-cultivée nécessitant un minimum d'entretien, donc de temps et d'investissements, d'autres préféreront la jachériculture, jachère activement cultivée, (GUILBERT, 1994a) au risque de modifier l'orientation des productions de l'exploitation.

Depuis le premier septembre 1994, il est possible d'utiliser la jachère comme pâturage ou de récolter pour le fourrage hivernal (VANLOOT, 1994). Ainsi le colza d'hiver et le lin oléagineux constituent de bonnes têtes d'assolement pour le blé et apportent un très bon complément fourrager pour l'éleveur laitier. Par contre, ils nécessitent la présence d'une moissonneuse-batteuse.

- La culture de la jachère : un coût à gérer

Choisir de pratiquer la jachère cultivée implique de réaliser des semis et des traitements. Ce type de jachère peut rapidement devenir une source de charges supplémentaires pour l'exploitation, un risque que certains refusent de prendre. La culture de la jachère nécessite donc des conseils pour sa bonne rentabilité (JOSSELIN, 1995).

- De toute façon un entretien obligatoire

L'entretien de la parcelle en jachère est obligatoire afin que celle-ci reste propre et ne devienne pas un nid de mauvaises herbes.

Par exemple, un arrêté préfectoral rend obligatoire les traitements et la destruction des ronds de chardons avant le 31 août, soit par le broyage pour empêcher la montée en graine (c'est une catastrophe pour le gibier), soit par l'écimage chimique (moins couteux et respecte le gibier) (FONTAINE, 1995). Aucune des deux techniques n'est parfaite, le broyage laisse les plantes rampantes comme les renouées des oiseaux et le blocage de la végétation par voie chimique laisse les plantes résistantes comme les gaillets, la mercuriale ou la morelle. La prévention utilisant les deux méthodes permet de limiter les mauvaises herbes plus efficacement, mais coûte plus cher (LESENNE, 1995b). Toutefois, la législation favorise la technique de la pulvérisation par rapport à celle du broyage, en particulier au printemps, car elle préserve le petit gibier et son coût est moins élevé (CREPIN, 1995).

Après l'entretien des jachères, c'est la destruction de leur végétation qui est obligatoire. Elle doit se faire 6 à 8 semaines avant l'implantation de la nouvelle culture. La destruction chimique est souvent préférable (LESENNE, 1995c ; LESENNE, 1994a ; TOURNIER, LESENNE, 1994).

- La jachère, un moyen de préserver la fertilité des sols et de protéger les eaux

Un couvert végétal bien adapté, une espèce bien choisie, une bonne implantation, une bonne densité peuvent permettre de préserver les sols (FONTAINE, TOURNIER, LESENNE, 1995 ; TOURNIER, 1994) et les eaux (LESENNE, 1995a). Sur les jachères courtes laissées en sol nu (sur jachère longue, le semis est obligatoire), on a observé des risques de pollution des nappes phréatiques. Les cultures intermédiaires et les jachères peuvent jouer un rôle très important, car ces cultures piègent l'azote minéralisé au cours de l'hiver. De plus, le couvert végétal assure une protection du sol contre la battance et l'érosion, ainsi qu'une diminution de l'infestation par des nématodes en système betteravier. Le semis est donc fortement conseillé (LESENNE, 1995a).

Dans tous les cas, l'introduction de la jachère entraîne la transformation des paysages et une adaptation des pratiques culturales.

II - 3 - 3 - La fertilisation, la fumure de fond et les traitements phytosanitaires, à chacun sa recette

Le premier facteur de complexité résulte du nombre impressionnant de produits, en particulier en ce qui concerne la fumure de fond et les produits phytosanitaires (2ème Partie, I - 4 - 2 et I - 4 - 3).

Il en découle une multitude de combinaisons possibles qui va dépendre de la formation de l'agriculteur, de ses habitudes, de sa volonté d'initiative, des personnes qui le conseillent (Chambre d'agriculture, Station Agronomique, coopératives, revues spécialisées, etc.).

II - 3 - 3 - 1 - Quelle semence choisir ?

La variété se choisit en fonction de la précocité du semis, du sol, de la résistance aux maladies, de la résistance à la verse pour les semis de blé. Un bon choix permet de réduire le nombre d'interventions et le coût de la protection phytosanitaire (PARDOUX, 1994c). Il permet aussi d'obtenir un meilleur rendement et parfois une meilleure qualité de produit (PARDOUX, 1994b).

Pour le blé par exemple, les variétés sont nombreuses, plus d'une quinzaine sont citées fréquemment (Forbi, Rythmo, etc.) ayant chacune des propriétés (variétés précoces, variétés résistantes à la verse, variétés ayant un bon test de panification pour de la farine à pain, etc.). Pour un bon résultat, l'agriculteur doit se fier aux conseils de sa coopérative ou de son acheteur, ou à son jugement.

II - 3 - 3 - 2 - Traiter ou ne pas traiter les semences

Le traitement des semences est une solution pour limiter les traitements phytosanitaires en post-semis ou en post-levée. L'intérêt est double. Le coût est moindre pour l'agriculteur, car les quantités de produits mises en jeu sont beaucoup plus faibles dans le cas du traitement des semences. De plus, il y a moins de passage d'engins pour traiter. Par ailleurs, les pertes de produit par ruissellement sont éliminées.

Les traitements des semences de blé, de betteraves ou de maïs sont de plus en plus courants. Ils se généralisent actuellement dans beaucoup d'exploitations agricoles.

Par exemple, le traitement de semence REAL (anthracquinone + triticonazole) protège le blé contre les maladies en végétation (septoriose, fusariose, roséum, charbon) (LEPERS, 1994).

II - 3 - 3 - 3 - La fertilisation et les traitements

Classiquement, les agronomes des chambres d'agriculture définissent quatre grands types de conduites de fertilisation et de traitements, répondant à des conditions d'exploitation et des objectifs différents.

Exemple pour le blé : quatre conduites, quatre logiques

- La conduite à haut niveau d'intrants :

objectif de rendement très élevé et proche du potentiel de la parcelle - systématiquement spécialités phytosanitaires sécurisantes mais coûteuses - nombre de passages importants et pas de fractionnement des apports - coût : 2 500 à 3 000 francs/ha.

- La conduite de "sécurité" :

observation réduite - interventions programmées - objectif = rendement maximum déjà atteint - coût : 2 200 francs/ha.

- La conduite "observation-décision" ou conduite raisonnée :

adaptation des interventions à la parcelle et aux conditions de l'année - rendement atteint 1 an sur 2 - coût : 1 500 à 1 900 francs/ha.

- La conduite avec une réduction importante des intrants :

limiter au maximum les coûts - variété réputé peu sensible aux maladies - fertilisation inférieures au niveau local - coût 1 000 francs/ha.

La conduite raisonnée apparaît bien sûr comme la meilleure solution (BLANPAIN, TOURNIER, 1994 ; GUILBERT, 1994b). Elle apporte une économie de produits phytosanitaires, un nombre d'interventions moins important et un investissement global plus faible. D'une façon générale, il est bon de ne pas avoir un niveau de charge supérieur à 2 000 francs/ha pour que la culture soit bien rentable. Cependant les conduites à haut niveau d'intrants et de sécurité sont largement appliquées, en particulier sur le plateau, et, d'une façon générale, sur tous les bons sols. Les agriculteurs n'hésitent pas à faire le maximum pour optimiser les rendements lorsque le capital sol est bon. Pourtant les conduites de sécurité ne sont jamais totalement sûres, elles sont beaucoup fonction de l'année et les résultats sont irréguliers. L'objectif est d'atteindre la marge maximale, c'est-à-dire le meilleur bilan entre les dépenses (produits, passages des machines) et le revenu, en relation avec la capacité du sol. Il ne faut pas rechercher le rendement maximum à n'importe quel prix.

C'est pourquoi la conduite raisonnée est davantage adoptée par des exploitations moyennes à petites, ayant des sols plus hétérogènes. Par exemple sur un sol sableux, le rendement objectif pour une culture de blé sera inférieur à celui choisi sur un sol limoneux de plateau, car de toute façon un investissement croissant en fertilisants et traitements sur ce sol plus pauvre n'entraînera pas un accroissement proportionnel des rendements. Sur le plateau, dans les sols de limons, les rendements sont bien supérieurs, mais ils résultent aussi d'un investissement bien supérieur. L'idéal est d'adapter la fertilisation au potentiel agronomique de la parcelle (PARDOUX, 1995a). Mais c'est loin d'être le cas. La conduite raisonnée reste encore peu répandue, même si elle se développe sous l'impulsion du groupe "Ferti-Mieux" et des conseils de la Chambre d'Agriculture.

Pour les autres cultures, la conduite raisonnée présente les mêmes avantages. En général, la qualité du produit récolté est bonne, c'est le cas pour l'orge (LESENNE, 1994b). Cette conduite a parfois été adoptée par force, c'est le cas pour le colza. Suite à la réforme de la PAC, les conditions économiques ont été bouleversées. De nouveaux itinéraires techniques devaient être expérimentés pour réduire les charges (MORELLE, HOT, 1994). Ce qui ne peut être que positif puisque le traitement raisonné présente l'avantage d'être un compromis entre la rentabilité et l'environnement.

Malgré tout, dans de nombreux cas, la prévention, c'est à dire un traitement de sécurité ou à haut niveau d'intrants, reste le moyen le plus utilisé pour préserver des risques. Les agriculteurs préfèrent la prudence. Par exemple, pour les fongicides sur blé, réduire les doses fongicides permet de réduire les charges opérationnelles (total 1 900 francs/ha, dont 900 francs/ha pour les produits phytosanitaires, dont 500 francs/ha pour les fongicides). Mais la réduction des doses réduit l'efficacité des traitements. De plus, une dose réduite s'accompagne d'une moins bonne persistance du produit. Les doses peuvent être réduites en cas de basse pression parasitaire et de traitement préventif, mais absolument pas en cas de forte présence parasitaire et de traitement curatif. La situation est variable selon les maladies : sous doser présente peu de risque pour la rouille brune, mais pas pour la septoriose et l'oïdium. Utiliser un produit spécifique à la maladie peut permettre de moduler la dose, mais entraîner une perte d'efficacité et de polyvalence vis à vis des autres maladies. On peut moduler les doses si on positionne le traitement au bon moment du développement de la maladie. Par exemple, une demi dose de triazole appliquée au bon moment donne les mêmes résultats qu'une dose appliquée à plus ou moins jours (VERHAEGHE, 1995). Pour cette culture pivot, les agriculteurs préfèrent en général assurer les traitements. Des produits récents, plus efficaces, plus sélectifs, permettent d'assurer la réduction des doses et donc des économies (par exemple fenoxaprop-p-éthyl et clodinafop, antigraminés foliaires) (PARDOUX, 1995b), mais leur utilisation reste tributaire de la popularité des autres produits.

Il en est de même pour la réduction des doses en désherbant betterave : c'est une technique éprouvée, mais délicate. C'est un compromis entre la réduction du coût et la propreté des parcelles de betteraves sans altérer la croissance. Réduire les doses n'est pas une fin en soi, mais un moyen qui se gère comme les autres. La culture de la betterave est une culture pionnière dans le domaine de la réduction des doses, dès la fin des années 1970. L'affinage des pratiques a permis d'arriver à des mélanges multiples (4 ou 5 produits à des doses réduites, sur des adventices peu développées). Réduire à nouveau les doses aujourd'hui entraînerait un risque de perte d'efficacité et de persistance. Les meilleures règles restent un repérage précoce des adventices, le traitement au bon moment, un délai entre deux passages, un pulvérisateur propre, une hygrométrie et une température idéale (MENU, 1995a). On peut dire qu'à l'heure actuelle les agriculteurs maîtrisent bien le traitement de cette culture.

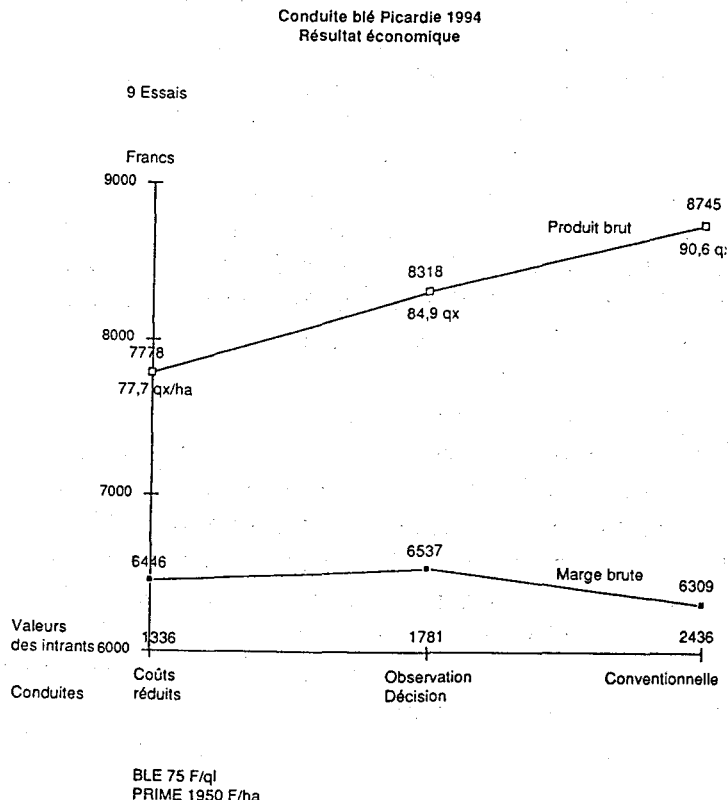
Une économie est aussi possible sur le désherbage du pois protéagineux, mais à condition de pouvoir intervenir au bon moment. C'est ce que les agriculteurs appellent "tirer à vue". En post-semis/pré-levée, les traitements coûtent cher, mais en cas d'échec, il y a peu de solution de rattrapage, donc les agriculteurs ne négligent pas cette étape. Un mélange avec des doses réduites est possible, mais nécessite certaines précautions (intervenir sur les jeunes adventices ; éviter un choc thermique ; risque d'échec dans le cas de fortes pluies) (BRUNEL, 1995b), c'est pourquoi cette pratique reste moins répandue.

Pour dresser un tableau grossier, les agriculteurs peuvent jouer la sécurité ou "risquer" de réduire les doses. La première solution semble à première vue la plus répandue. La seconde apparaît le plus souvent être une application locale, dans des fermes expérimentales.

II - 3 - 3 - 4 - La prévention ou l'observation-décision : des arguments économiques

La meilleure marge brute est souvent obtenue par la conduite observation-décision (BRUNEL, 1994a). Quelle que soit la culture, si on choisit bien le moment de l'intervention (BRUNEL, 1995a), ainsi qu'un traitement sélectif en fonction de la flore adventice présente (MENU, 1995b), le résultat est plus intéressant économiquement. Par exemple, le traitement en pré-levée du pois, "assurance tout risque" peut être remplacé par des traitements à base de mélanges en post-levée. "Le jeu en vaut la chandelle", la technique mérite que l'on s'y intéresse car le coût est moindre (100 francs/ha par passage) et le spectre d'action du mélange est plus large (BRUNEL, 1994b).

Figure II - 3 - 3 - 4 - a : Comparaison des marges brutes pour des conduites haut-niveau, observation-intervention et économique



L'observation est primordiale pour une décision à la parcelle. "Fini les programmes passe-partout, les symptômes appellent à la vigilance" (PARDOUX, 1994a). On peut intervenir tôt avec les bons produits, puisqu'il existe de nombreuses propositions d'associations (PARDOUX, 1994d).

La messagerie Horizon 2001 de la Chambre d'Agriculture aide les agriculteurs à intervenir au bon moment (Quand intervenir : l'aide aux agriculteurs, Horizon 2001, 22 avril 1994, p. C). La réduction des doses est possible, oui mais sous certaines conditions (VERHAEGHE, 1995b).

Cependant la conduite observation-décision présente des risques. La conjoncture incite à la réduction, mais il faut baisser le niveau des charges avec discernement et faire attention aux fausses économies en matière de désherbage : elles pourraient induire un salissement à long terme (DAMAY, 1994a). Pour certaines cultures, comme le pois, l'entretien est délicat : malgré une gamme d'herbicides qui s'étoffe et des techniques d'intervention qui s'améliorent des accidents de cultures sont observés (BOURGUIGNON, 1995).

Des deux possibilités, préventive ou traitante (observation-décision), c'est-à-dire assurer le rendement ou minimiser le coût, la première est encore la plus pratiquée. Mais suite à la réforme de la PAC, un changement des conduites s'impose : "la haute productivité consommatrice d'intrants doit évoluer". Aujourd'hui l'agriculteur doit rechercher un équilibre entre le rendement (en relation direct avec les intrants) et les charges. Les années où il y a pression de maladie, les dépenses sont nécessaires et rentables. En particulier, la protection fongicide reste souvent indispensable (MENU, 1995c ; POUTRAIN, 1994). Il faut nuancer selon les cultures (pois/céréales/pomme de terre) et selon la nuisance (pour les mauvaises herbes : plus souvent curatif ou pour les maladies : plus souvent préventif) (BRUNEL, 1995c). Par exemple, pour la pomme de terre, la prévention du mildiou est indispensable, il est donc conseillé d'utiliser des produits systémiques (avec modération pour éviter l'apparition de souches résistantes) résistant au lessivage comme le Fluziam (DUPUIS, 1995).

II - 3 - 3 - 5 - Tests ou pas de tests

Les tests permettant d'ajuster la fertilisation sont largement décrits et recommandés (VERHAEGHE, 1995a). Des agriculteurs, en très grande partie favorable au test "Jubil", apportent leurs témoignages dans la revue de la Chambre d'Agriculture (enquête auprès de 233 agriculteurs, DAMAY, QUIZY, 1995). Dans l'ensemble, ils n'ont aucun doute sur la fiabilité du test (BLANPAIN, TOURNIER, 1994 ; GUILBERT, 1994b). Mais ce n'est pas l'avis de tous. C. Rogier, contremaitre à l'exploitation de H. Muzart à Vierzy sur le Plateau Soissonnais, a testé Jubil. Il doute des résultats et préfère parfois se fier à ses observations (comm. oral du 13 mars 1995) (1ère Partie, I - 1 - 4 - 4). Leur utilisation est donc très variée.

Il en est de même pour les kits diagnostiques et les modèles de prévision. Utiles pour affiner les interventions phytosanitaires et ne traiter qu'à bon escient, ils permettent un gain économique non négligeable (200 francs/ha/an en moyenne, FIGAROL, CHAMIGNON, 1992). Le kit est un outil d'avertissement utile, en particulier pour le pietin. Les modèles, quant à eux aident à préciser la date de traitement. Le logiciel PRESEPT, par exemple, permet de positionner le traitement contre la septoriose en fonction de l'évolution prévisible de la maladie (PARDOUX, 1995). L'utilisation de kits se développe peu à peu dans les grandes exploitations, surtout par l'entremise des coopératives agricoles. Les modèles, par contre, restent utilisés par les SRPV, l'ITCF, etc.

II - 3 - 3 - 6 - Analyses de sols ou pas analyses

La Chambre d'Agriculture encourage la réalisation d'analyses de reliquat d'azote dans les "Conseils de la quinzaine" (ANONYME, 1995, Des analyses de reliquats d'azote à la sortie de l'hiver pour ajuster la fertilisation azotée, HORIZON 2001, 13 janvier 95, p. 25). Des analyses sont nécessaires car les résultats peuvent être très variés (DAMAY, 1995). Certaines années, un niveau exceptionnellement bas peut être mis en évidence et corrigé (DAMAY, 1994c). La demande d'analyses est importante : 30 000 analyses de sol par an à la Station Agronomique de Laon, ce qui n'est pas négligeable si on considère qu'il y a environ 6 000 exploitations agricoles dans le département.

II - 3 - 3 - 7 - Réduction du travail du sol, cultures intermédiaire. etc.

La simplification du travail du sol n'est pas très courante. Le semis direct sur chantier de récolte demeure une exception (exemple d'un agriculteur de la Somme qui pratique depuis 10 ans le semis sans labour). Beaucoup d'agriculteurs pratiquent encore le traditionnel labour d'hiver, sauf quand les conditions météorologiques ne le permettent pas. Le sol ne paraît pas favorable à une réduction du travail. Comme l'indique J. C. Doncoeur, agriculteur à Vierzy : "le limon ne m'y incite pas" (comm. orale, 1995). Quant aux cultures intermédiaires pourtant favorables au piégeage de l'azote (colza, radis, QUIZY et al, 1994), elles demeurent très rares.

II - 3 - 3 - 8 - La fumure de fond minérale

Les apports en phosphore (P) et en potasse (K) peuvent se faire suivant trois principes :

- 1 - l'entretien : on apporte P et K pour le maintien d'un niveau x dans les sols
- 2 - le redressement : P et K pour redresser le niveau dans les sols jusqu'au niveau x
- 3 - l'impasse : pas de P et K

L'entretien consiste le plus souvent en un apport "blocage" : K et P sont apportés en une seule fois en grosse quantité pour toute la rotation. Par exemple sur une rotation betterave/blé/pois, on apporte P et K en une seule fois sur la tête d'assolement, la betterave. Cette plante est une culture exigeante, c'est-à-dire à fort besoin en P et K (l'impasse est impossible sur une culture exigeante). Cette pratique ne tient pas compte du vieillissement de P et K (100 u de K apportées l'année n équivalent à 80 u de K apporté l'année n+1 suite à l'utilisation par les cultures et au passage en non-biodisponibilité*).

Ainsi, on considère souvent les réserves du sol en éléments phospho-potassique comme un fond de roulement, on compare fumure de fond et trésorerie (apports, financement et déficit, THECLE, 1993 ; DAMAY, 1994d). De ce fait, l'entretien et le redressement sont les pratiques les plus courantes. Chaque année quelles que soient les concentrations dans les sols, les apports sont constants (2ème Partie, I - 4 - 2 - 1)

Actuellement, une nouvelle démarche de calcul de la fertilisation de P et K est diffusée. Elle est basée sur les concentrations initiales dans les sols et les besoins des cultures (Dossier fumure de fond, Horizon 2001, n°2 mai 1995 ; TALLON, 1993 ; CARLOTTI, DAMAY, 1994). Mais cette fertilisation raisonnée connaît un démarrage difficile, car les pratiques traditionnelles sont solidement ancrées.

(*) Biodisponibilité : l'ensemble des ions P et K susceptibles de rejoindre la solution du sol en un temps compatible avec la durée de prélèvement par le système racinaire = susceptible de contribuer à l'alimentation des plantes.

II - 3 - 3 - 9 - La fumure de fond : utilisation des produits et des déchets organiques en agriculture

Les produits et déchets utilisés en agriculture sont très nombreux (tab. II - 3 - 3 - 9 - a, ci-dessous). On peut citer tous les déchets des industries agro-alimentaires, ces dernières étant très présentes dans la région, une vaste gamme de produit est proposée aux agriculteurs. On peut aussi évoquer tous les composts issus des activités papetières, industrielles ou urbaines, etc. (annexe 7 et 2ème Partie, I - 4 - 2 - 1).

Tableau II - 3 - 3 - 9 - a : Liste des produits les plus utilisés en Picardie : nom, origine, nature et vente annuelle (d'après ANONYME, 1994, Guide d'utilisation des produits et des déchets organiques en agriculture - La situation en Picardie)

Les produits de collectivités	
boues liquides de station d'épuration urbaine	24 800 t de MS/an
boues déshydratées de station d'épuration urbaine	24 800 t de MS/an
compost ordures ménagères	10 000 t/an
compost Affinat (Valorga)	11 000 t/an
compost Forsol (Valorga)	-
Les produits industriels	
boues industrielles agroalimentaires (Eurolysine)	20 000 t/an
boues industrielles agroalimentaires (Flodor)	3 500 t/an
boues industrielles agroalimentaires (Gloria, Friskies)	10 000 m3/an
boues industrielles agroalimentaires (Orsan)	9 500 m3/an
boues industrielles agroalimentaires (Orsan)	13 000 t/an
boues industrielles agroalimentaires (Sopad-Nestlé)	6 500 t/an
boues industrielles agroalimentaires (Yoplait)	1 600 m3/an
boues industrielles papetières Agricel (Vénizel)	25 000 t/an
boues industrielles papetières Iricalcic (Iridium)	11 000 t/an
boues industrielles chimiques (Diosynth)	500 t/an
boues industrielles chimiques Lamosol (Hoechst)	30 000 t/an
boues industrielles chimiques (Rexim)	27 500 t/an
compost Comporg (Vidam)	3 000 t/an
compost organo K (Lanvin)	22 000 t/an
compost rochette forestier (Rochette Vénizel)	7 000 t/an
sciures de bois (Rochette Vénizel)	5 000 t/an
soluble de pommes de terre	6 000 t (Somme) et 13 000 t (Aisne)
écumes de sucrerie	550 000 t/an
vinasses de sucrerie	80 000 t/an
eaux résiduaires d'industries agro-alimentaires	-
Les produits agricoles	
lisier de bovins	45 à 50 kg par a-nimaux par jour
lisier de porcs	-
purin de bovin	-
fientes de volailles	-
fumier de bovins	-
fumier de volailles	-
fumiers et compost de champignonnières	-

t : tonne

MS : matière sèche

- non-communicé

Leur utilisation présente certains intérêts pour les sols. Ces produits sont utilisés dans l'optique de corriger des manques, d'entretenir ou d'enrichir des sols. Ils s'agit le plus souvent d'amendement organique, apportant une matière organique le plus souvent "fraîche", c'est-à-dire à minéralisation rapide ($C/N < 15$).

Certains de ces produits bien que soumis à une législation stricte (MARCOVECCHIO, 1994), peuvent entraîner des nuisances pour les sols. En effet, tous les effets des épandages sur les sols ne sont pas connus. On s'interroge sur les risques d'accumulation de métaux lourds, sur les risques de contamination bactériologique, etc (par des boues de stations d'épurations urbaines ou industrielles, par exemple). L'utilisation de certains déchets nécessite donc des précautions toutes particulières (ROBERT, CAMBIER, JUSTE, 1994). On dispose à l'heure actuelle de peu de données sur ce problème, mais on sait que ces risques existent. A tel point que certains parlent de la menace de voir le sol devenir "un vaste bassin d'épuration" (CARLOTTI, 1994). Mais ces risques touchent davantage certains produits que d'autres. Par exemple, les boues de stations d'épuration constituent "un créneau à exploiter avec précaution" (DEHAINE, 1994). Par contre, pour le compost urbain, amendement organique, une collecte sélective des matières fermentescibles permet de limiter les éléments indésirables (DEHAINE, 1994).

Nombreux sont ceux qui voudraient voir les "agriculteurs [jouer un rôle de] dépollueurs (DEHAINE et al, 1995). Mais les agriculteurs, il y a si peu de temps taxés de pollueurs se méfient et les produits traditionnels sont les plus recherchés, en particulier les vinasses et les défécations de sucrerie.

II - 3 - 4 - Agriculteurs traditionalistes ou innovateurs ?

II - 3 - 4 - 1 - Un fort attachement aux racines

Sur beaucoup de points, les agriculteurs perpétuent des pratiques traditionnelles : labour, amendements organiques, etc. Ils conservent le même souci de préserver la fertilité de leurs sols et de continuer à bien produire. En ce qui concerne la reconstitution de la matière organique au sol, par exemple, le fumier d'autrefois a été remplacé par des produits comme les vinasses de sucrerie, les corps de meule de champignonnières, etc. De composition et d'origine différentes, ces derniers visent à maintenir le taux de matières organique dans les sols, comme le faisaient les apports de fumier. Certaines pratiques sont solidement ancrées, comme bien observer les sols par des visites régulières aux parcelles afin d'adapter le travail du sol.

II - 3 - 4 - 2 - Un contact permanent avec le progrès technique

D'une façon générale, les agriculteurs se tiennent très bien informés en ayant recours aux réunions techniques (discussions), à certaines revues comme l'Action Agricole Picarde ou Cultivar, aux bulletins du SRPV, aux documents de l'ITCF, aux fiches et aux prospectus de la coopérative, etc. Ils sont obligés de se tenir documenter en raison de la multitude des amendements et des traitements phytosanitaires, de l'évolution de la législation sur l'épandage, de l'homologation ou interdiction de nouveaux produits, etc.

Les chambres d'Agriculture et les coopératives contribuent à faire passer les nouveautés par des expérimentations variées qui portent sur les variétés, la fertilisation, les traitements, les aspects économiques, etc. (PARDOUX, 1994e et 1994f ; GIRARD, 1994). L'atout de certaines de ces expérimentations est qu'elles se déroulent dans des exploitations agricoles, donc en conditions réelles, ce qui facilite fortement la persuasion des autres agriculteurs.

II - 3 - 4 - 3 - Le rôle de la PAC et de l'environnement dans le choix des traitements

La réforme de la PAC a entraîné une modification générale de l'utilisation des produits phytosanitaires. En particulier lors de la campagne 1992-1993, on a observé des effets très marqués : un retard des traitements, une baisse des doses, une recherche de produits moins chers. Le désherbage précoce, qui s'était développé il y a quelques années (automne et début de printemps), a été très réduit dans un souci d'abaisser les charges et les coûts. Mais cette évolution apparemment positive pour le respect de l'environnement, n'a pas été sans effet pour les parcelles agricoles puisqu'elle a considérablement augmenté les risques de salissement des sols et l'augmentation des difficultés de désherbage. Depuis 1993, les agriculteurs ont adopté un comportement plus raisonné toujours avec un souci de freiner les dépenses, mais aussi d'entretenir leurs sols.

En fait, dans le département, on a observé trois tendances en 1992 et 1993 :

- la suppression du désherbage systématique et traitement uniquement à la levée des mauvaises herbes,
- la baisse de la consommation des produits sophistiqués et le choix de produits simples, anciens, moins chers,
- la diminution des doses, tendance déjà sensible depuis quelques années.

La baisse des traitements a été considérable : elle a été évaluée à 20 % en post semis et à 30 % en post levée. L'Isoproturon, herbicide céréale, peu cher, commode d'utilisation, a largement bénéficié de ce nouvel état d'esprit. On a enregistré une évolution de sa part de marché de plus de 30 %. Les doses de Puma S, herbicide plus cher, ont baissé en moyenne 0,95 l/ha (1991-92) à 0,68 l/ha (1992-93). Les produits spécifiques et efficaces (Gratif) quant à eux ont gardé la faveur des agriculteurs (BULOT, 1993).

Le profit a été à court terme car au début de l'été de nombreux champs étaient sales. De ce fait, la campagne 1993-94 a été plus sage et plus raisonnée avec une reprise des traitements de post-levée d'automne, en conservant des proportions raisonnables et des produits traditionnels (BULOT, 1993). Mais cette baisse générale des prix d'approvisionnement et des prix des charges a été variable selon les systèmes d'exploitation (QUIEVREUX, 1994).

Pour un grand nombre d'agriculteurs, on a le sentiment qu'ils ont atteint un niveau satisfaisant où s'équilibrent dépenses et rendements sans remise en cause fondamentale des pratiques.

II - 4 - Egalité des risques vis à vis de l'érosion ?

Au terme de ce chapitre, résumons les grands points de différences et de ressemblances existantes entre le Saint-Quentinois-Laonnois et le Soissonnais en relation avec les conditions naturelles (le relief, les sols, ...) et l'utilisation anthropique des sols.

II - 4 - 1 - Des pentes et des sols contrastés

Aux pentes modérées du Plateau soissonnais, les collines du Saint-Quentinois-Laonnois opposent des versants aux inclinaisons marquées. Le Saint-Quentinois-Laonnois présente aussi des sols plus hétérogènes (cailloux, silex, limons plus ou moins argileux, etc.).

II - 4 - 2 - Une grande culture aux structures comparables

Cette forte présence agricole dans le Saint-Quentinois-Laonnois et le Soissonnais se manifeste par un certain nombre de similitudes. Les agriculteurs travaillent souvent la même terre depuis des années, voire depuis plusieurs générations. Ils ont acquis un état d'esprit, une compétitivité et une expérience du travail de la terre. Le parc agricole est toujours important. La motorisation agricole est probablement plus ancienne dans le Soissonnais. Aujourd'hui elle est volumineuse dans les deux régions. Les pratiques culturelles sont voisines bien que nuancées (2ème Partie, I - 3).

Ces deux régions ont aussi en commun leurs productions à haut rendement, l'omniprésence des coopératives et des industries bettravières et agroalimentaires, une forte diffusion des progrès agricoles. Seuls la taille et l'agencement des parcelles restent très nettement différents malgré une tendance très marquée à l'agrandissement des surfaces dans le Saint-Quentinois-Laonnois.

II - 4 - 3 - La grande stabilité du plateau et une évolution plus tardive des collines et des vallées

La structure agraire de grand openfield-mosaïque du Plateau soissonnais est héritée du passé. La conquête du sol et la pensée agricole y sont anciennes.

Les collines et les vallées ont connu une mise en valeur plus tardive. La reconversion vers une structure de grande exploitation est relativement récente. De ce fait, le parcellaire est encore réduit et de nombreuses cultures demeurent spécifiques à ces secteurs : maïs, oignon, etc., en relation avec la présence de l'eau et l'irrigation.

II - 5 - Conclusion

Les collines du Laonnois et les plateaux du Soissonnais constituent des espaces typiques et originaux en raison de leur structure paysagère et de leur mode d'exploitation. Chacun d'eux présente des caractéristiques morphopédologiques et culturelles particulières. Ils sont, de plus, tous deux représentatifs des espaces de grande culture. Un autre point commun les rapproche : les problèmes d'érosion. Mais sont-ils touchés de façon identiques par cette nuisance ? Quelle démarche adopter pour mettre en évidence le rôle de la morphologie, des sols et des choix cultureux ?

Partant de ces interrogations, deux sites, soumis au double problème de l'érosion et du ruissellement ont été choisis en région de grande culture. Il fallait des sites où les critères régionaux cités précédemment apparaissent nettement (pentes, sols, configuration des bassins versants), où la culture intensive soit dominante (culture, assolement, grandes parcelles), où l'installation des équipements puissent se faire facilement (exutoire des bassins bien dessinés, pentes assez fortes pour l'évacuation des eaux), où des problèmes d'érosion soient signalés et où les informations concernant le travail du sol soient disponibles (contact avec les agriculteurs). C'est par l'intermédiaire des maires, que nous remercions vivement, que les sites les plus adéquats ont été trouvés. Mobilisés par de graves problèmes d'érosion sur leur commune, ils se sont montrés intéressés par nos recherches et nous ont proposé plusieurs localisations. Ces deux sites sont depuis quelques années équipés afin de répondre aux multiples questions posées sur les effets de l'érosion.

DEUXIEME PARTIE

BASSINS VERSANTS ET RUISSELLEMENTS

**Deux sites d'étude : présentation, conditions de formation
et formes des écoulements**

Bassins versants et ruissellements :

Deux sites d'étude - présentation, conditions de formation et formes des écoulements

Introduction

Le premier chapitre présente les sites et leur équipement. Cette parenthèse méthodologique, qui forme une entité à part entière, introduit l'étude du fonctionnement hydrologique des bassins versants. Le protocole d'échantillonnage et de sélection des éléments analysés, aussi exposé dans ce chapitre, se rapporte quant à lui à la troisième partie, il a été développé ici, afin de ne pas dissocier les différentes fonctions des stations qui forment un tout.

Le second chapitre compare le comportement hydrologique des sites en relation avec leurs différences morphopédologiques.

La configuration d'ensemble des bassins versants - taille et pentes - est importante pour le fonctionnement hydrologique, en particulier le déclenchement de ruissellement. On constate que la fréquence des ruissellements est très variable sur chacun des BVEC. Les écoulements sont différents selon que le bassin est plus ou moins grand, allongé ou arrondi. M. Dacharry a montré qu'un bassin versant ramassé associé à une artère principale courte se caractérise par une aggravation des phénomènes d'érosion ; ces phénomènes sont moindres dans un bassin plus allongé, même si celui-ci se termine par un chenal étroit et bien incisé (cité par VEYRET, WICHEREK, 1992). Le premier sous-chapitre est donc consacré aux conditions générales de déclenchement du ruissellement, en mettant en avant le rôle des pluies.

La forme du ruissellement - intensité, durée, rapidité des réponses à la pluie, évolution des débits etc. - est, quant à elle, liée à ces mêmes facteurs mais aussi aux éléments de déconnexion de écoulements dans les BVE. Les routes, les chemins, les limites de parcelles peuvent ralentir ou accélérer les écoulements et modifier les hydrogrammes de ruissellement. Les pratiques agraires, selon la nature de la culture (haricots, pois) ou le travail du sol (labours) peuvent différer les écoulements. Ce rôle est aussi observé sur les transports solides.

I - Sites et programme d'étude

I - 1 - Choix et présentation des sites

I - 1 - 1 - Choix des sites

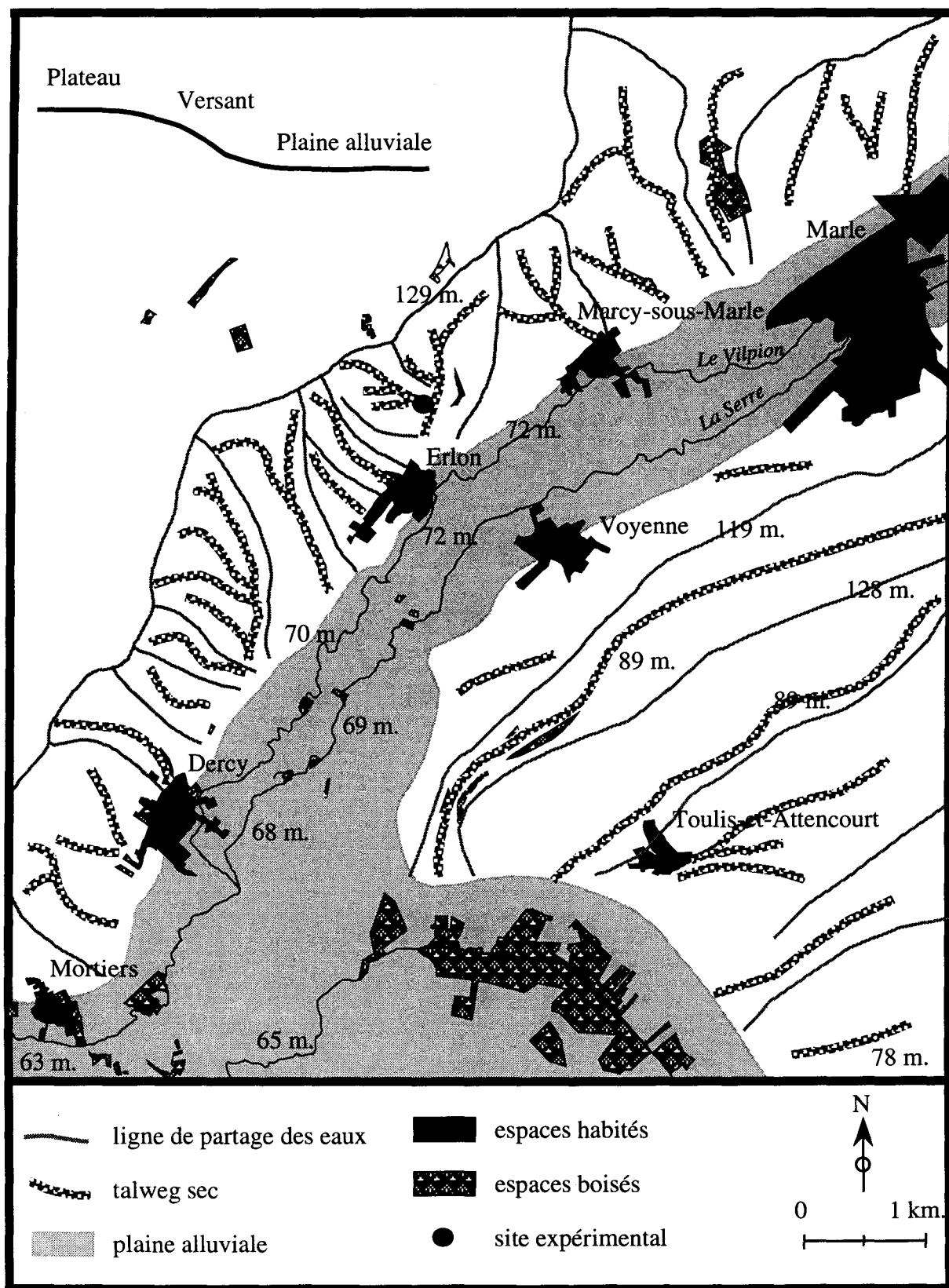
Le choix a été dicté par des caractéristiques physiques, historiques (antécédents catastrophiques), agraires et culturelles.

I - 1 - 1 - 1 - Un choix géographique en fonction du relief, de la pédologie et de la localisation de l'habitat et des cultures

Située sur le Plateau soissonnais, au sud de Soissons, la commune de Vierzy présente une situation typique. Le bourg se situe en fond de vallée (vallée de La Savière, affluent de l'Ourcq). Il est raccordé au plateau cultivé par des versants aux pentes abruptes (15 à 20 %) occupés par des boisements, des prairies et quelques habitations. Les terres cultivées, sur le plateau, présentent de larges ondulations caractéristiques et des pentes majoritairement inférieures à 5 %. Les BVEC qu'on y observe couvrent plusieurs centaines d'hectares. Les sols y sont à dominante limoneuse, donc très battants.

Le finage de la commune d'Erlon s'étend des versants des collines du Laonnois aux rives du Vilpion et de La Serre, affluents de l'Oise. Des versants à la plaine alluviale, les pentes s'échelonnent de 15 % à 1 ou 2 %. De nombreux petits BVEC, aux formes ramassées (fig. I - 1 - 1 - 1 - a), rejoignent la plaine alluviale. Leur taille ne dépasse pas la centaine d'hectare. Les limons moyens présents sur les versants pentus montrent des épaisseurs très variables selon l'exposition. Dans les fonds de vallons, dès que la pente diminue, ils sont par contre très épais.

Figure I - 1 - 1 - 1 - a : Les collines du Marlois : une succession de petits bassins versants



I - 1 - 1 - 2 - Un choix lié aux caractéristiques agraires

Sur les deux communes, les exploitations agricoles couvrent de grandes superficies (150 à 430 ha à Erlon, 240 à 430 à Vierzy). Les parcelles sont relativement étendues (5 à 20 ha), en particulier sur le plateau (15 à 60 ha). Les assolements, qui s'étalent le plus souvent sur quatre ans, possèdent les mêmes cultures pivots, la betterave et le blé (ou d'autres céréales comme l'orge). Première distinction, le maïs n'est pas cultivé sur le plateau où la réserve hydrique des sols sont insuffisantes pour cette culture exigeante en eau. Seconde différence, la pomme de terre n'est pas cultivée sur le site d'Erlon (mais elle l'est sur d'autres parties de la commune). A titre d'exemple, les rotations les plus répandues sur les sites étudiés sont les suivantes :

A Vierzy : blé/betteraves/pois/blé/betteraves, blé/pommes de terre/blé/betteraves

A Erlon : maïs/maïs/betteraves/céréales, pois/blé/betteraves/pois

Les amendements traditionnels (NPK) sont comparables, avec des préférences selon les agriculteurs pour des formulations liquides ou solides (les raisons seront expliquées par la suite). Par contre, les engrais de fonds sont beaucoup plus variés en fonction des affinités des exploitants : phosphore, potasse, vinasses et défécations de sucreries, "corps de meule" (résidus de champignonnières), "boues d'Hoescht" (résidus de fabrique de lessive), etc...

Les outils agricoles utilisés présentent les mêmes caractéristiques d'ensemble. Par exemple, les épandages liquides se font sur une largeur de 24 m, mais avec des pneumatiques différents. La culture des betteraves et des pommes de terre nécessite un outillage particulier, parfois acheté en commun ou loué.

Si la situation actuelle d'utilisation des sols des BVEC a atteint aujourd'hui un même degré de technicité, l'évolution n'a pas été aussi rapide dans les deux cas. A Vierzy, les cultures annuelles se sont développées très tôt, dès le début du siècle. De même, le travail manuel des sols a très rapidement disparu. A la fin du siècle dernier, une ferme fonctionnait avec une centaine d'ouvriers agricoles. Mais dès l'entre-deux-guerres les machines à vapeur sont apparues remplaçant le travail manuel. Par contre, à Erlon, les prairies occupaient encore une grande place dans les années cinquante, environ 350 ha selon le RGA de 1955, soit presque la moitié de l'espace cultivé actuellement. D'ailleurs, le site d'étude était jusqu'en 1986 occupé par une pâture. Sur cette commune, le remembrement a eu plus d'effet que sur le plateau (1ère Partie, II - 2 - 2 - 4). Selon le maire, les remembrements - non-officiel et officiel (1971-73) - auraient supprimé de nombreux talus, arasé plusieurs haies et augmenté progressivement la taille des parcelles. Ces changements n'auraient commencé qu'après la seconde Guerre Mondiale.

I - 1 - 1 - 3 - Un choix lié aux antécédents "catastrophiques"

Comme de nombreuses autres communes, Erlon et Vierzy ont à plusieurs reprises subi des coulées de boue de grandes ampleurs et dévastatrices : à Erlon en ... 1941, 1953, 1983, 1995 ; à Vierzy en ... 1941, 1968, 1988, 1995. Dans chaque cas, la boue a contraint les pompiers à vider les caves, les agents communaux à déblayer les routes et les fossés, les habitants à nettoyer leurs jardins, leurs garages et leurs habitations. A Vierzy, les coulées de boue traversent systématiquement l'école, entrant par une porte sortant par une autre. Une recherche auprès des assurances donnerait des idées précises des coûts engendrés, mais demanderait aussi beaucoup de temps, c'est pourquoi cette démarche n'a pas été entreprise.

A l'amont des villages, ces orages ont laissé des parcelles souvent dévastées. A Erlon, l'orage de mai 1983, c'est produit à 17 h. La boue a coulé toute la nuit. Sur les bassins situés le plus à l'amont du village, "Barnaval" et "Le Demi Muid", le talweg a été emporté sur 7 à 8 m de large. En mai 1992, un orage aurait entraîné sur le bassin versant considéré (28 ha) de 40 tonnes (WICHEREK, 1993) à 100 tonnes de terre (LUDWIG, comm. orale).

A Vierzy, après l'orage du 8 mai 1988, M. Houdry géomètre à Soissons a estimé d'après des prises de vues aériennes à 84 ares la superficie de betteraves perdue pour une parcelle 10,61 ha, soit 8 % de la récolte (comm. orale 1994). Ce calcul ne tient pas compte des pertes du talweg qui est cultivé par l'agriculteur, mais qui en fait est un chemin communal. En fait dans le talweg, les pertes atteignent 50 % (fig. I - 1 - 3 - a).

D'autres événements moins spectaculaires, car n'ayant pas touché les habitations, ont eu lieu à fréquence plus réduite entraînant essentiellement des dégâts aux cultures, aux sols et aux voiries. Ces dégâts quasi annuels non-évoqués ici sont aussi à considérer puisqu'ils perturbent le travail du sol, endommagent les cultures et entraînent des pertes régulières de sol.

Toutes ces caractéristiques ont déterminé le choix de ces deux communes comme lieu d'implantation de stations d'étude. Initialement, le premier site, celui d'Erlon, a été sélectionné de concertation entre le Centre de Biogéographie-Ecologie, l'INRA de Laon et la Chambre d'Agriculture. Il s'agissait d'une opération pilote lancée par le Syndicat des Pays de la Serre, syndicat de commune. C'est à la suite de violents orages et plus particulièrement celui de 1983 qui provoqua de coûteux dégâts, que les municipalités de la vallée de la Serre ont été conduites à rechercher des solutions. La commune d'Erlon, située 25 kilomètres au nord de Laon, sur la rive droite de la Serre, particulièrement touchée (plus de 90 mm d'eau en 45 mn) fut choisie comme terrain d'expérimentation. En effet, on a vu s'écouler dans le village des hauteurs d'un mètre d'eau boueuse, des habitations, des caves, des rues envahies par la boue, des récoltes ensevelies, etc. Le Syndicat des Pays de Serre créé peu après (en 1985) a permis la mise en place d'un groupe de travail réunissant la Station agronomique de l'Aisne, l'INRA de Laon, la Chambre d'agriculture, la DDE, la municipalité d'Erlon et les agriculteurs. Puis, il a établi un programme de lutte contre l'érosion financé par l'Etat, la Région Picardie, le Département de l'Aisne, et la commune d'Erlon. Ce programme comportait deux aspects. Un premier volet technique a, après une étude du terrain, aboutit en 1989 à la mise en place d'aménagements anti-érosifs sur une partie des terres cultivées de la commune. Un second volet scientifique, qui nous concerne, se poursuit encore aujourd'hui. Son objectif est de comprendre les mécanismes de formation du ruissellement et de déclenchement de l'érosion, et les risques encourus par rapport à une situation donnée (pluie, couverture végétale du sol). A cette fin, un bassin versant a été équipé en 1989, à la sortie immédiate du village, en direction de Marle. C'est sur ce site que sont menées des observations et des mesures depuis 1989.

La commune de Vierzy, située sur le Plateau soissonnais, à une dizaine de kilomètre au sud de Soissons fut elle aussi vivement sensibilisée à ces problèmes de ruissellement et d'érosion. Ce fût l'orage du 8 mai 1988 où de spectaculaires coulées de boues envahirent le village, les maisons, l'école heureusement vide à cette date...(photo I - 1 - 1 - 3 - a) qui incita une première étude sur les rôles du parcellaire et de la topographie (RENAU, 1991). Puis fin 1992-début 1993, un bassin versant situé sur le plateau et dont l'exutoire se trouvait à l'amont immédiat de la commune elle-même, a été choisi et équipé, afin d'y mener les mêmes observations et les mêmes mesures qu'à Erlon.

Dans chacun des cas, le village se situe à l'aval des terres cultivées et donc en situation de risque en cas d'importantes coulées de boue. Il faut souligner que cette localisation des villages en contrebas des versants est très fréquente dans la région. Dictée par la proximité de l'eau, l'implantation s'est faite le long des cours d'eau ou des lignes de source. De plus les meilleures terres, celles des versants et des plateaux étaient laissées à la culture. Quelques exceptions existent toutefois, comme le village de Parcy-et-Tigny situé sur le plateau, à l'est de la commune de Vierzy.

Figure I - 1 - 1 - 3 - a : Estimation des pertes de récolte par photographies aériennes en mai 1988 à Vierzy (Houdry, géomètre à Soissons)

LIEUDIT . LE GRAND FOSSE

SUPERFICIE TOTALE . . . 11 Ha 45 A 50 (déduit : 1^m 44^m 80)

Superficie de la Pièce . . . 10 Ha 61 A 50

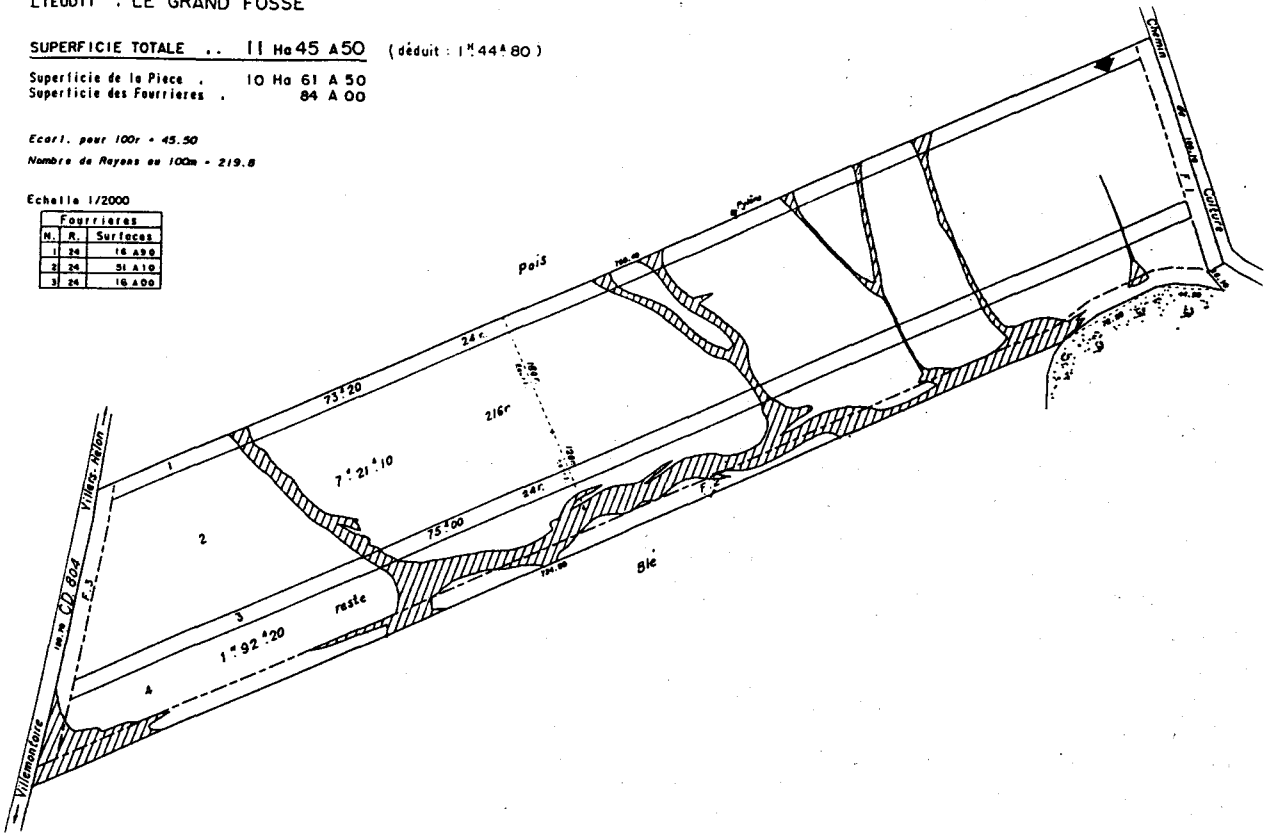
Superficie des Fourrières . . . 84 A 00

Ecartl. pour 100r = 45.50

Nombre de Rayons ou 100m = 219.8

Echelle 1/2000

Fourrières		
N. R.	Surfaces	
1	24	16 A 90
2	24	31 A 10
3	24	16 A 00



1988 - Planleur . Mr. MOUET-LAMEZ Hebert

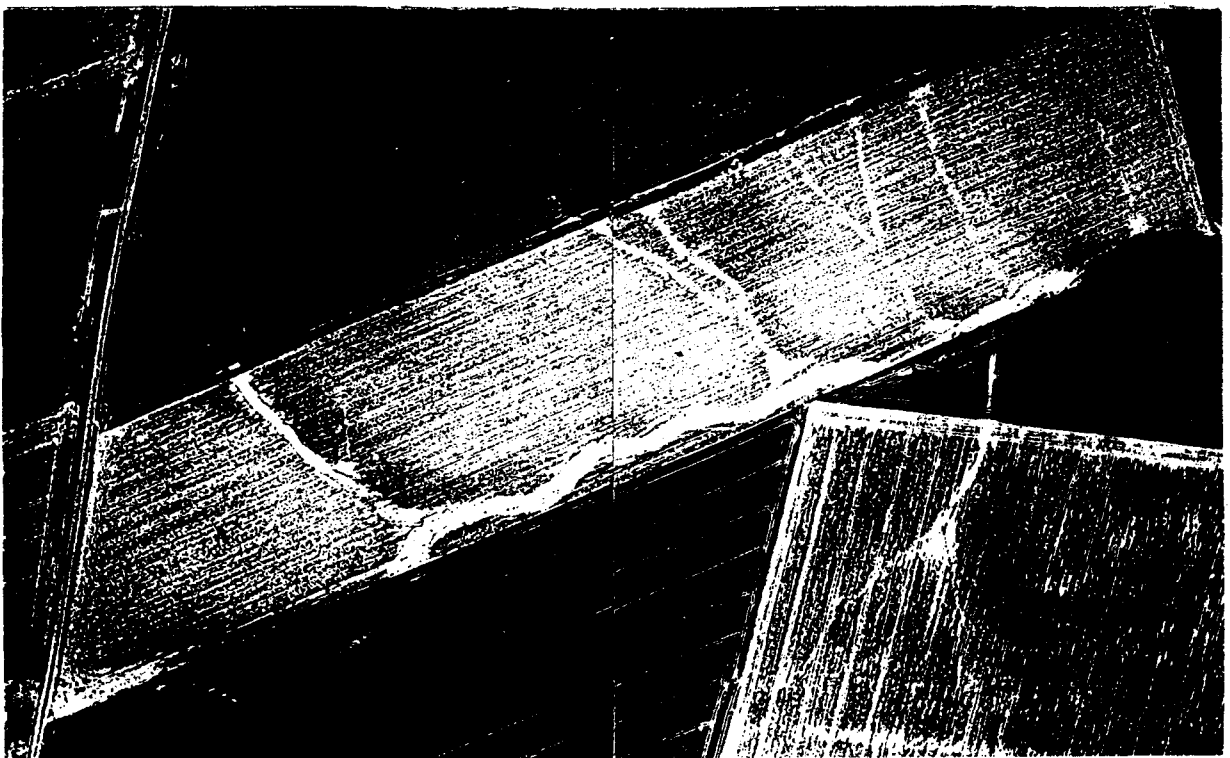
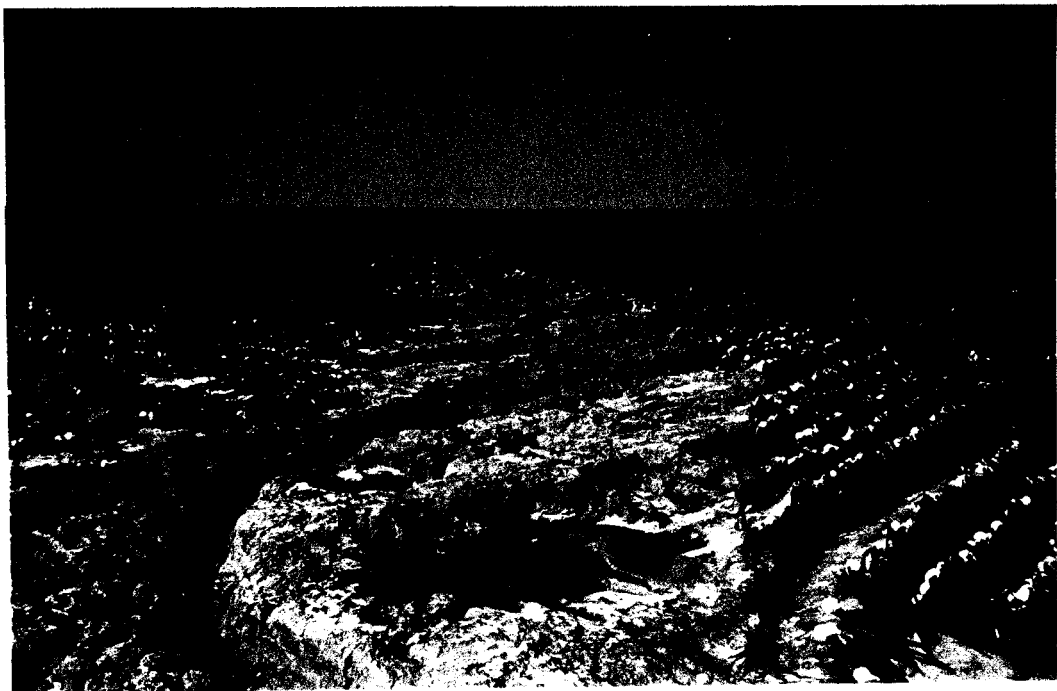


Photo I - 1 - 1 - 3 - a : La coulée de boue dans le village de Vierzy le 8 mai 1968 : environ 40 cm d'un flot en furie dans toutes les rues (habitant de Vierzy, mai 1968)

Ici l'école enhavie par la boue.



Photo I - 1 - 2 - 1 - a : Ravine à Erlon, après l'orage des 6-7 août 1995 (A. Angéliciaume, août 1995)



I - 1 - 2 - Présentation des sites

Pour faciliter les mesures, les surfaces étudiées sont des bassins versants élémentaires et sont exclusivement consacrées à la culture. A Vierzy, du fait des grands espaces, le bassin est coupé par une route et un chemin qui modifient les écoulements de surface. Mais, globalement, les sites ont été choisis avec le moins d'éléments perturbateurs : il n'y a donc pas de bois, pas d'habitations ou autres bâtiments... de façon à étudier avec le plus de précisions possible l'impact des activités agricoles.

I - 1 - 2 - 1 - Le petit bassin versant de "l'Arbre Robert" à Erlon

Le bassin se situe le long de la route reliant Erlon à Marcy-sous-Marle (D 632) (carte IGN 1/25 000 Marle) à quelques centaines de mètres du lit mineur du Vilpion, affluent de la Serre (les deux cours d'eau évoluent parallèlement sur plusieurs kilomètres avant de se rejoindre à Dercy). Orienté Nord-Ouest/Sud-Est, il couvre une superficie d'environ 20 ha et a une forme ovoïde. Sa superficie d'alimentation est légèrement réduite au Nord-Ouest par le passage de la D 581. Son talweg principal s'étend sur environ 860 m de long. Les talwegs principal et secondaires forment un réseau dendritiques et convergent vers la route. Un replat dans le bas du bassin ralentit très fortement les écoulements occasionnels qui, lorsqu'ils sont importants, rejoignent ensuite un fossé. Ce fossé, bordé d'arbres vers l'aval, rejoint ensuite le Vilpion. Le bassin, actuellement découpé en parcelles de 5 à 8,5 ha, n'est exploité que par un agriculteur, C. Legros.

En pâture jusqu'en 1986, la mise en culture de ce site dit de "l'Arbre Robert" est récente. L'évolution du parcellaire y a été rapide, mais avec une tendance contraire à celle qu'on aurait pu attendre. Lors de sa mise en culture, le bassin a été initialement divisé en trois parcelles d'un peu plus d'une quinzaine d'hectares. L'agriculteur, qui a repris la culture en 1989, a très rapidement observé des problèmes d'érosion et dès 1990, il redécoupe le bassin en sept parcelles de 5 à 8,5 hectares, découpage que l'on retrouve de nos jours (fig. I - 1 - 2 - 1 - e).

1 * Situation géologique et hydrogéologique

Le sous-sol est à cet endroit constitué de craie sénonienne blanche, sans silex. Au-dessous, on rencontre la craie du Turonien supérieur vers + 65 m, puis les marnes crayeuses du Turonien inférieur à environ + 50 m (fig. I - 1 - 2 - 1 - a, ci-après). Les couches sont inclinées vers le Sud-Ouest. Rappelons que la craie, roche friable, a été fortement influencée par des phénomènes d'érosion morphoclimatiques, d'où ce paysage ondoyant qui s'étend jusqu'à Guise et au delà de Saint-Quentin (carte géologique BRGM 1/50 000 VERVINS et carte hydrogéologique BRGM 1/50 000 VERVINS n°66).

En contrebas du bassin se trouve le puits d'alimentation en eau potable du réseau intercommunal. Il approvisionne cinq communes : Erlon, Marcy-sous-Marle, Dercy, Mortiers, Chalandry, soit plus de 1 500 habitants. Il puise, à 24 m de profondeur, dans la seule nappe aquifère facilement accessible de la région, celle de la craie que l'on rencontre à environ 5-6 m (son niveau statique est voisin de + 70 m). Cette nappe est alimentée par les eaux de pluie. En effet, la craie ici présente est une roche perméable et souvent fissurée. Les eaux de pluie, après avoir traversé lentement les limons, s'infiltrent jusqu'aux marnes, imperméables. Les eaux s'écoulent suivant la pente des couches, donc du Nord-Est vers le Sud-Ouest. Le vaste bassin d'alimentation s'étend au nord d'Erlon où il n'y a pas de source de pollution massive, mais exclusivement des activités agricoles. L'eau de la nappe est d'assez bonne qualité car filtrée par la craie. Les teneurs en nitrates^(*) y sont encore relativement faibles puisqu'elles avoisinent 20-30 mg/l (1ère Partie, fig. I - 3 - 2 - 1 - a, minimum 18 mg/l en 1974, maximum 41 mg/l en 1988, mesures annuelles réalisées par la DDASS). Cependant, elles tendent à augmenter depuis la mise en fonctionnement du puits en 1962. Cet accroissement est peut-être en rapport avec les années de sécheresse (1989-91), mais aussi avec les apports différés d'eau chargée en nitrates des apports agricoles. Des mesures réalisées à un pas de temps plus restreint confirment cette tendance à l'accroissement des teneurs en nitrates, mais ne montrent pas de variation saisonnière (tab. I - 1 - 2 - 1 a).

Figure I - 1 - 2 - 1 - a : Couches géologiques présentes à Erlon (d'après carte géologique 1/50 000, Vervins)

Du haut vers le bas :

Colluvions anciennes, quelques mètres.

Alluvions anciennes, 1 à 2 m.

Limons loessiques, 0,5 à 7 m.

Thanécien supérieur, sables et grès de Bracheux, 10 à 20 m.

Thanécien moyen, argile de Vaux-sous-Laon, 1 à 2 m.

Sénonien inférieur, craie blanche sans silex, 30 à 40 m.

Turonien supérieur, craie blanche à silex, 30 à 40 m.

Turonien moyen et inférieur, marnes vertes et bleuâtre, 30 à 40 m.

(*) Les nitrates ont été choisis comme paramètre indicatif car ils constituent un élément associé à l'agriculture. Il n'existe pas d'autre source d'apport dans le secteur (urbain, industriel), le plus proche village se situant à 3 km vers l'aval. Mais attention, les nitrates mesurés ne sont pas uniquement d'origine agricole. Le milieu naturel contribue lui aussi aux apports d'azote (cycle de l'azote : minéralisation de composés organiques, apports des roches). Ces apports sont moins massifs que les apports anthropiques mais ils sont loin d'être négligeables. Ils constituent le "bruit de fond".

Tableau I - 1 - 2 - 1 - a : Exemples de concentrations en NO₃ à l'AEP d'Erlon (conductivité 300-400 μ S/cm)

Dates	NO ₃ mg/l
22 septembre 1993	27
14 octobre 1993	28
16 novembre 1993	34
9 décembre 1993	33
6 janvier 1994	29
11 mars 1994	30

L'eau qui parvient à la nappe est relativement bien filtrée par la craie et a subi des dénitrifications. Si l'on compare les teneurs en nitrates de ces écoulements profonds à ceux rencontrés en subsurface, elles sont moins élevées. En effet, un drain à écoulement saisonnier (lors des hivers pluvieux), situé à l'aval du bassin versant, fournit au Vilpion une eau plus chargée en nitrates (les concentrations observées oscillent entre 30 et 38 mg/l). Les eaux de ce drain ne traversent qu'une couche de limons qui assure une moindre dénitrification et chargent les eaux de lessivage en nitrates.

Le Vilpion, qui draine la partie supérieure de la nappe, coule quelques centaines de mètres à l'aval du BVEC. Il affiche des teneurs en nitrates aussi peu élevées que celles de la nappe (18-25 mg/l, mesures annuelles DIREN, SREMA). L'évolution saisonnière de ces teneurs n'est pas aussi caractéristique que l'on aurait pu s'attendre. En effet, dans les petits cours d'eau, les teneurs en nitrates augmentent, en général, très sensiblement en période estivale et cet accroissement s'accompagne du phénomène d'eutrophisation. Mais aucun constat de cet ordre n'a été fait lors de la période de mesures. Quelques soit la période, les concentrations en nitrates sont comprises entre 19 et 23 mg/l. Cependant, les analyses de la DIREN réalisées en période de fortes pluies et de ruissellement, montrent une augmentation de certains paramètres. On note un accroissement des MEST (très fortes : 661 mg/l en février 1992, la Serre à Voyenne), de la turbidité, de la DBO₅, de l'azote ammoniacal, de la DCO (en février 1992, la Serre à Pont-à-Bucy et le Vilpion à Lugny), des composés phosphorés (Serre à Voyenne) et nitrates (Serre à Voyenne). La qualité du cours d'eau passe alors de 1B à 2 selon la grille de classification de 1972. Le Vilpion est un cours d'eau qui compte tenu de ses potentialités (peu de végétation aquatique) ne peut "digérer" les flux polluants (BAZERQUE, comm. orale 1993). Pourtant, les concentrations en nitrates mesurées entre 1993 et 1995 après des orages ou des pluies sont toujours inférieures à 30 mg/l.

2 * Les sols

Pour une étude fine, la carte pédologique du département de l'Aisne (1/50 000, Vervins) a été reprise et complétée (Maucorps, Marlet, Sarrazin, INRA SESCOF Orléans). Plusieurs séries d'observations et d'analyses pédologiques ont été effectuées afin d'aboutir à la carte présentée ci-après (fig. I - 1 - 2 - 1 - b). Cinq fosses pédologiques ont permis de réaliser deux profils et d'apprécier la profondeur des sols qui se révèle être très variable (fig. I - 1 - 2 - 1 - c).

La nature des sols sur le bassin est variée. Si les sols à texture limoneuse (limons moyens 19 % et limons argileux 76 %) sont largement dominants, on observe aussi des sols moins perméables à texture argileuse dans le bas du bassin (argile limoneuse et argile lourde 5 %). Il faut signaler la présence de silex et de cailloux calcaires. Ils constituent un facteur important, notamment vis à vis des risques d'érosion.

Cette dominance des limons argileux montre les effets de l'érosion. En surface, il reste très peu de limons appauvris en argile (limons moyens), sauf sur la tête du vallon et sur la partie sud du versant ouest, car ils ont été érodés.

Les profils révèlent ces effets de l'érosion. En montrant la variabilité de l'épaisseur des sols, ils mettent en avant une très forte dissymétrie des versants. Le versant est, exposé aux pluies et aux vents de l'Ouest, présente une couverture limoneuse bien plus réduite. Outre les bancs de silex, il laisse apparaître la craie plus ou moins altérée (photo . I - 1 - 2 - 1 - b).

Sur le versant est, la couverture limoneuse est hétérogène et peu épaisse (inférieure à 1 m). Localement, l'érosion des limons laisse apparaître des bancs de silex provenant des anciennes terrasses et des fragments de la craie sous-jacente. Un sol brun calcaire superficiel s'est développé dans l'argile de décarbonatation et juxtaposé à des rendzines anthropiques.

Par contre, sur le versant ouest, le profil est plus complet et plus épais (4 à 7 m de limons). Il comprend plusieurs couches de limons qui recouvrent la craie. On trouve d'abord un limon loessique ancien brun rouge dans lequel s'est développé un paléosol lessivé ou brun-lessivé. Il est surmonté de colluvions anciennes limoneuses et de deux limons loessiques décarbonatés, plus récents. Ces limons recouvrent des restes localisés de terrasses anciennes limono-caillouteuses (témoins de l'existence d'une rivière plus puissante et plus active). Vers le bas du bassin, au Sud, une seule couche de limon a été identifiée.

Dans le vallon sec, autres témoins de l'érosion, des dépôts meubles (colluvions) s'étalent, ils prennent une ampleur notable dans le bas du bassin où les couches de limons sont moins importantes (leur épaisseur varie de 2 m à 3,75 m).

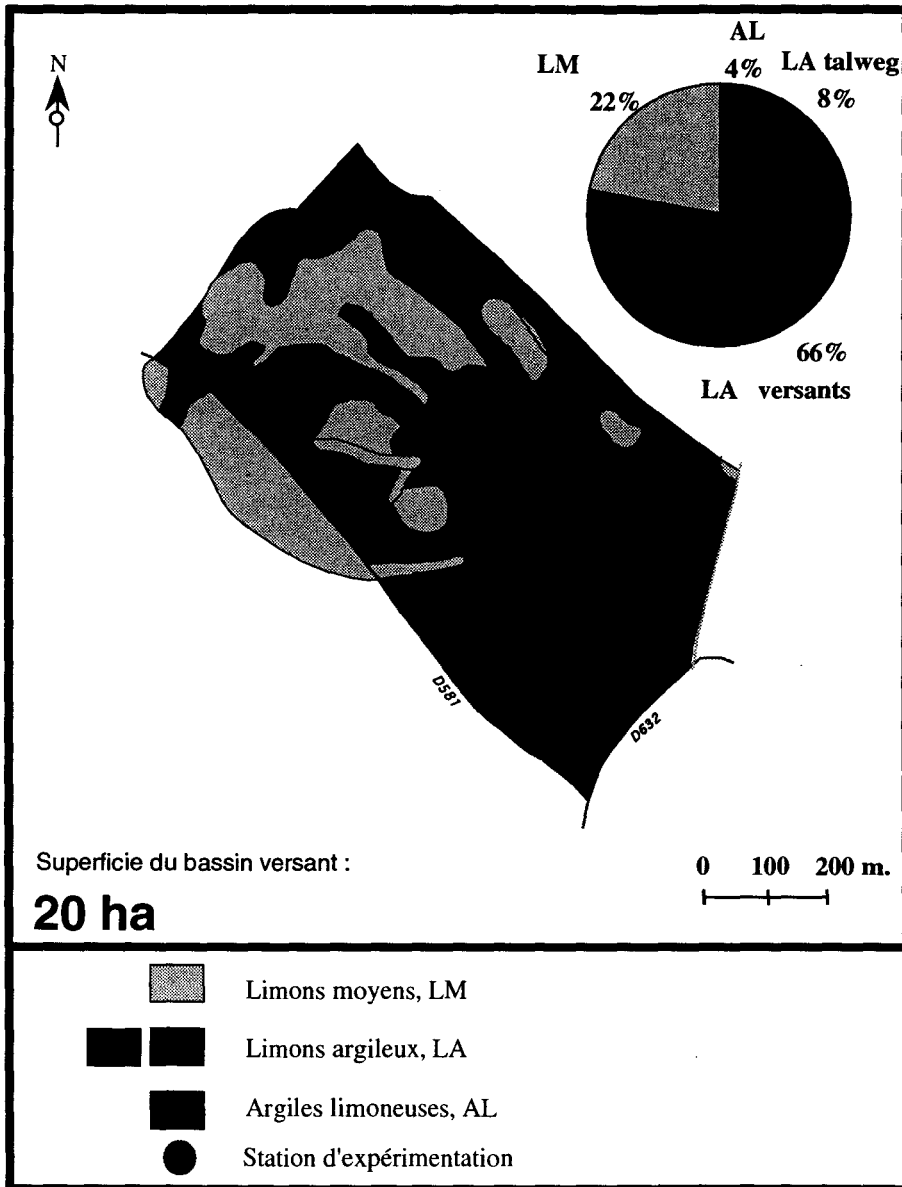
3 * Les pentes

Les variations du relief apparaissent nettement à l'oeil nu. Les altitudes extrêmes du bassin versant sont de 77 et de 115 m. Les versants de forme convexe et les talwegs sont bien dessinés dans le paysage. Leurs pentes se situent essentiellement entre 3 et 5 %. Elles atteignent même parfois 8 %. Toutefois, les fortes pentes ne s'étendent que sur de très faibles longueurs. Quant aux pentes inférieures à 2 %, elles sont inexistantes sur le bassin. Elles apparaissent au niveau de la plaine alluviale, une centaine de mètre en aval (fig. I - 1 - 2 - 1 - d).

4 * Les exploitations agricoles et l'occupation du sol

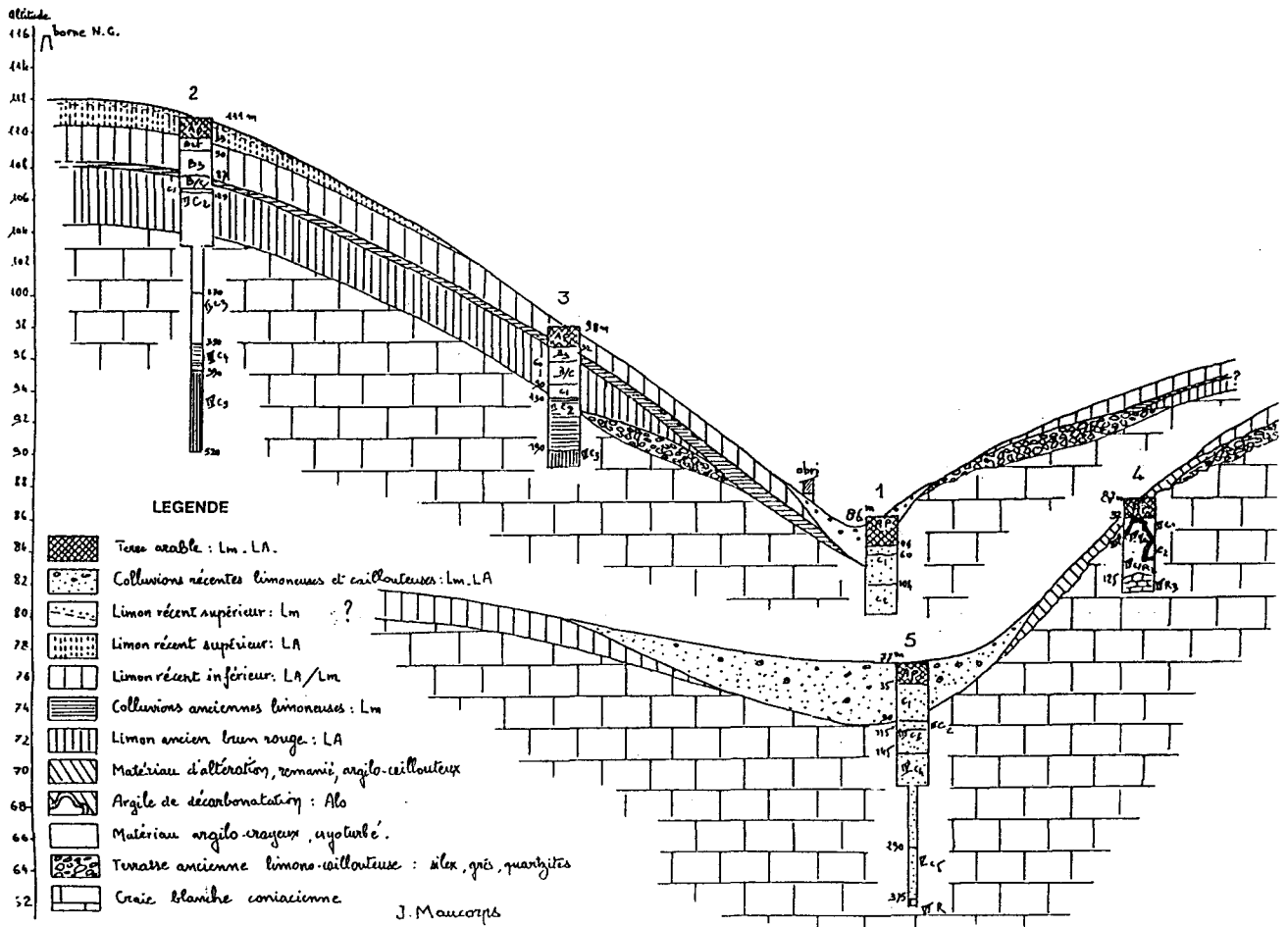
Sur la commune (890 ha), la superficie agricole utilisée concerne 836 ha, consacrés essentiellement à la culture (annexe 6). Les fourrages ou les surfaces toujours en herbe sont quasi inexistantes. Huit propriétaires-exploitants se partagent cette superficie. Les plus importants exploitants en surface sont C. Legros (207 ha sur la commune, 430 ha au total), F. Legros (200 ha), M. Chartier (160 ha), M. Demazure (135 ha), M. Jacquère (85 ha). En 1991, un hectare de terre y coûtait 20 000 francs. Les parcelles sont de taille variable (de 5 à 20 ha). Les cultures sont : les céréales (431 ha, au RGA de 1988), les betteraves (231 ha), les pommes de terre, les petit pois, les oignons (44 ha). Depuis quelques années, on constate une orientation vers la culture légumière, et plus particulièrement celle des oignons et des haricots, car ici contrairement au Plateau soissonnais, on peut pratiquer l'irrigation. Mais cette pratique n'est pas généralisée sur la commune (seul un agriculteur irrigue, 190 ha) car elle nécessite un matériel spécialisé pour l'irrigation en elle-même et surtout pour la culture des légumes. Le maïs est aussi très présent sur ces sols dont la réserve utile en eau est plus importante que sur le plateau. De plus cette culture est souvent associée aux assolements, car elle permet de reconstituer une partie des réserves en matières organiques du sol.

Figure I - 1 - 2 - 1 - b : Carte des textures de surface sur le bassin versant d'Erlon (d'après la carte de MM. Maucorps, Marlet, Sarrazin)



© A. ANGELIAUME
ENS-CNRS UMR 180 CNRS

Figure I - 1 - 2 - 1 - c : Profils pédologiques sur le bassin versant d'Erlon (d'après les profils de MM. Maucorps, Marlet, Sarrazin)



* Le remembrement en 1971

Il était déjà commencé avant que ne soit demandé le remembrement officiel. Depuis 1945, les parcelles sont de plus en plus grandes. Quelques haies et bosquets ont disparu mais ce sont surtout des talus typiques du paysage qui ont été victimes de ce redécoupage des terres.

D'après P. Legros, maire de la commune jusqu'en 1994, les phénomènes d'érosion se seraient progressivement accentués depuis lors. Il ajoute que ce constat est encore plus flagrant sur certaines communes voisines qui ont suivi la même évolution.

En 1929, sur la commune de Nouvion-et-Catillon, située un peu plus en aval sur le cours de la Serre, il y avait 100 ha de culture, dont un tiers de blé sur 30 à 40 parcelles. Aujourd'hui, les parcelles et les cultures sont les mêmes que sur tous les versants, et les problèmes d'érosion sont de plus en plus signalés.

5 * Quelques aspects des pratiques agricoles

Comme partout dans cette région de culture, on pratique des amendements et des apports de fertilisants assez importants. Pour une culture de blé par exemple, les apports atteignent 220 unités d'azote par hectare, ou pour une parcelle en betterave 120 à 140 unités d'azote (sauf en 1993 où les apports ont légèrement été réduits). Ces apports se répercutent sur les rendements : on obtient en général 80-90 q/ha pour le blé, idem pour le maïs (102 quintaux secs/ha en 1991).

L'irrigation est ancienne dans ce secteur, elle a commencé en 1967-68 sur pâture (sur "l'Arbre Robert", entre autres). Elle se poursuit aujourd'hui mais sur d'autres cultures (oignons, haricots) et sur d'autres secteurs de la commune. C'est une irrigation sans excès. Par exemple, M. F. Legros apporte environ 20 mm d'eau par semaine lorsqu'il ne pleut pas, ce qui correspond à une pluviométrie normale pour la région. En juillet 1995, M. C. Legros a commencé à irriguer une des parcelles du bassin plantée en haricots verts.

Les engins agricoles de toutes sortes sont largement utilisés.

Les décompactages ne sont réalisés qu'occasionnellement et ne concernent pas la totalité de la surface du bassin. Réalisés à l'aide d'un "France-cribs" (dents allant jusqu'à une profondeur d'environ 50 cm), ils n'ont lieu que tous les deux ou trois ans, car sinon il y a un risque de dilution de la terre arable. Ils sont réalisés uniquement sur les "ronds de terre froides", zones où le sol est plus lourd, plus argileux, plus froid et au ressuyage plus lent. Ils permettent d'aérer le sol qui sinon reste replaqué, humide et froid et ils assurent donc un réchauffement plus rapide. Ils se font dans tous les sens pour briser les trames existantes (les traces de roues, la semelle de labour et les fourrières).

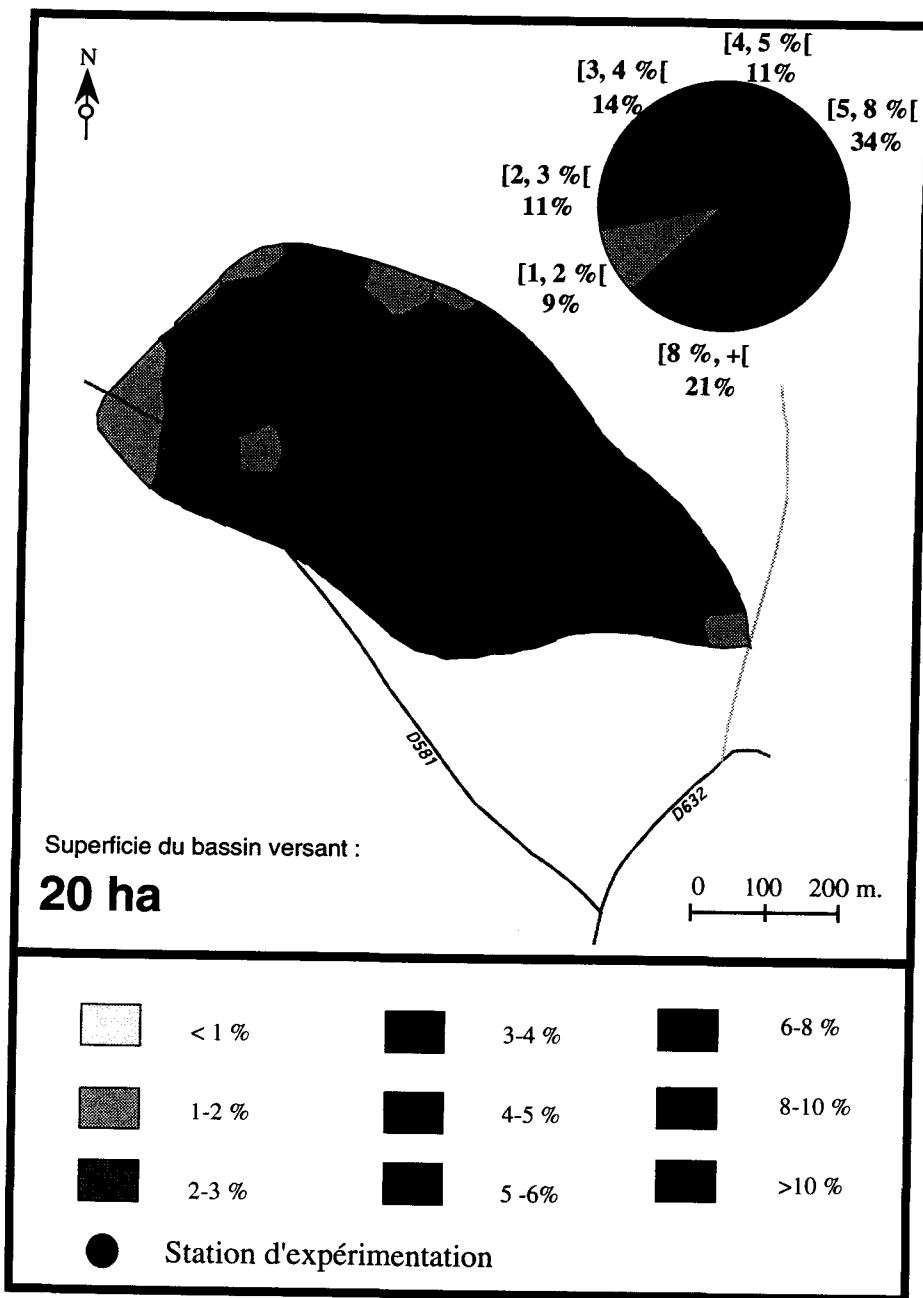
Le labour (passage de charrue à trois socs) est réalisé de façon traditionnelle à l'automne, sauf quand les conditions météorologiques (sols trop humides) et la charge de travail ne le permettent pas. Dans ce cas, il a lieu au printemps. Sa profondeur est variable en fonction de la culture à venir. Par exemple, elle est supérieure à 30 cm de profondeur pour une culture de betteraves.

Les pailles sont restituées au champ (sauf en 1995, récupération). Le déchaumage des céréales est systématique (vers la mi-août). Le déchaumage et l'enfouissement (des vinasses épandues sur les chaumes) sont réalisés par un "Smarag", outil à disques. En 1991-92, l'agriculteur a essayé le semis direct sans labour sur certaines parcelles mais les résultats n'ont pas été concluants.

Le déchaumage du maïs, plus tardif (mi-novembre) est précédé d'un apport d'azote liquide sur les fanes pour accélérer leur décomposition au cours de l'hiver.

Pour les céréales de printemps, la reprise du sol et les semis sont réalisés par deux engins différents qui se suivent (outils à dents + rouleau, puis semoir + rouleau).

Figure I - 1 - 2 - 1 - d : Carte des pentes d'après les courbes de niveau redessinées du bassin versant d'Erlon



© A. ANGELIAUME
ENS-CNRS UMR 180 CNRS

Photo I - 1 - 2 - 1 - b : Le BVEC d'Erlon et les "ronds de craie" sur les versants exposés à l'Ouest sur le bassin versant d'Erlon (A. Angéliaume, décembre 1994)

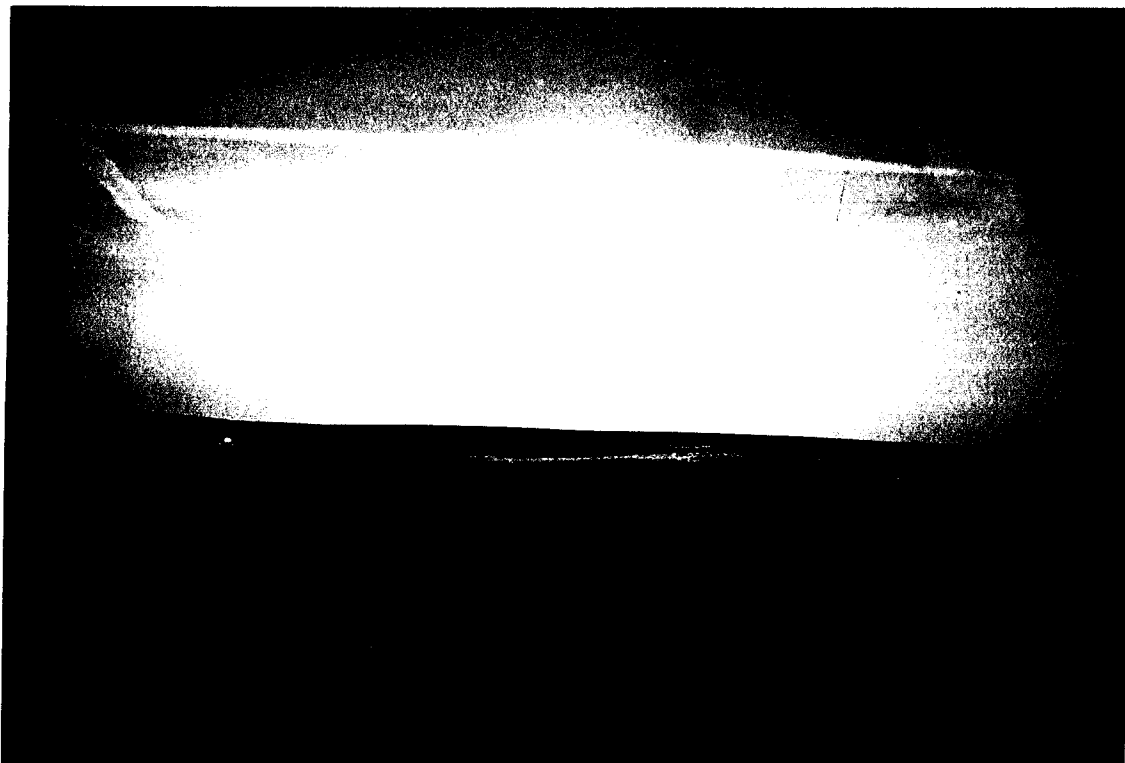
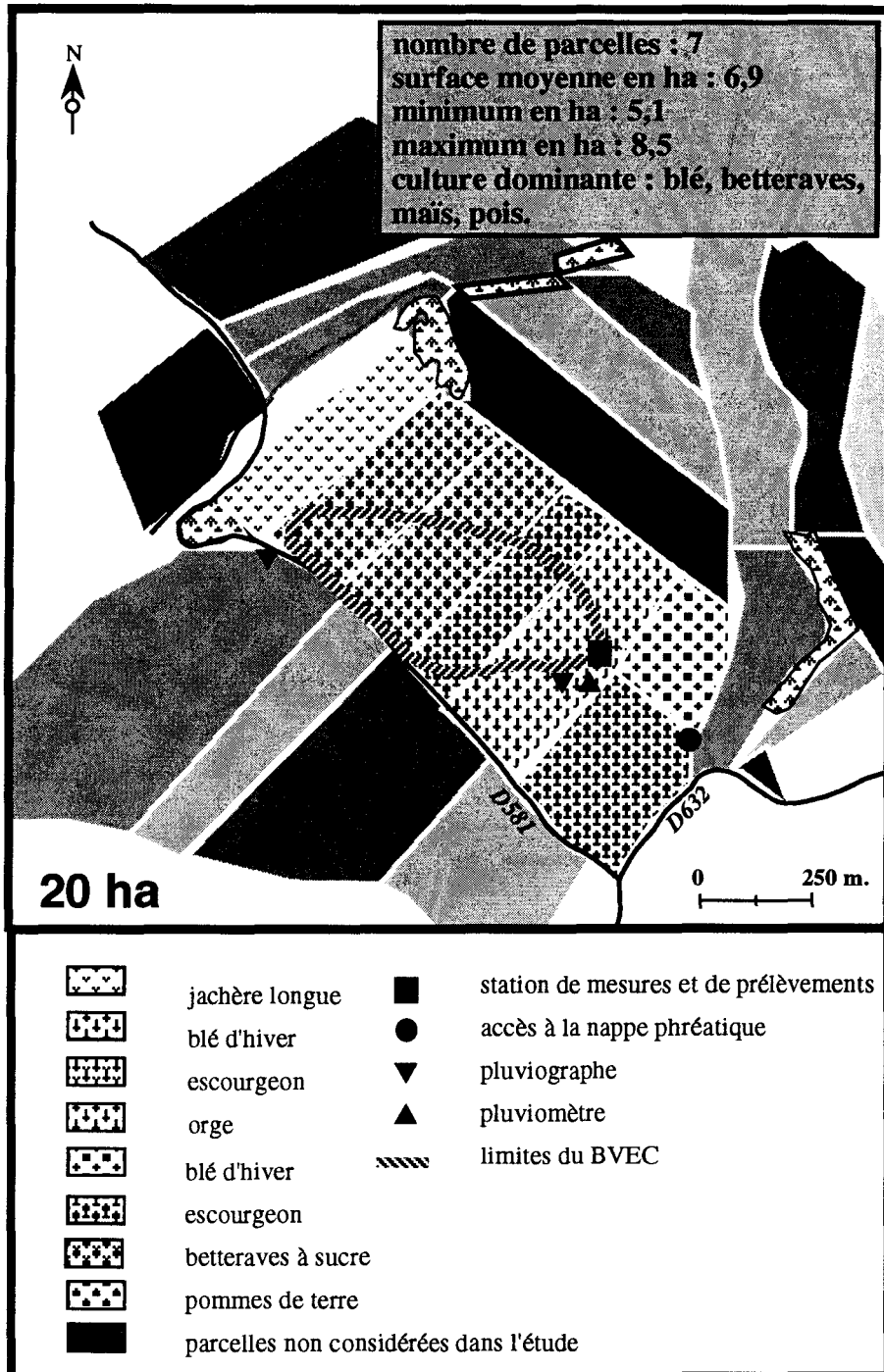


Photo I - 1 - 2 - 1 - c : Le sarclage des betteraves (A. Angéliaume, mai 1994)



Figure I - 1 - 2 - 1 - e : Limites du BVEC, parcelles et localisation des équipements à Erlon



© A. ANGELIAUME
 ENS-CNRS UMR 180 CNRS

En présence d'une surface de battance, l'agriculteur passe un outil à disques pour briser la croûte. Il facilite l'infiltration des eaux aux dépens du ruissellement (photo ci-dessus) (Poster Erosion des terres cultivées en Picardie, une menace pour la fertilité ?, Journées SHS, octobre 1994).

6 * La perception des phénomènes d'érosion

L'ensemble des agriculteurs est conscient de ce problème et souhaite y remédier. Ainsi G. Legros en 1990-91 divise ses parcelles initialement de 10-15 ha en parcelles de 6-7 ha (pas au dessous sinon les fourrières seraient trop importantes). Il souhaiterait voir aménager des bandes enherbées et des fossés-diguettes sur ces terres. MM. Demazure, Chartier et Jaquere ont participé à l'élaboration du projet d'aménagement des versants de la commune. Dans l'ensemble, ils sont prêts à appliquer des pratiques limitant le ruissellement comme le décompactage, etc.

I - 1 - 2 - 2 - Le bassin versant du "Grand Fossé" à Vierzy

Le bassin versant du Savoyard, d'une superficie d'environ 180 ha, est situé sur le Plateau soissonnais méridional, dans la partie orientale du terroir de Vierzy. Il s'allonge de l'Est vers l'Ouest, sur les communes de Parcy-et-Tigny et de Vierzy. Ce bassin en forme de haricot s'étend sur une longueur maximale de 2 250 m et une largeur variant de 750 à 1 250 m. Une route départementale et un chemin de terre le traversent selon la direction Nord-Sud et le divise en trois surfaces de superficies voisines. Ces deux axes provoquent une perturbation des écoulements qui sont collectés plus rapidement vers le talweg. Son exutoire se trouve en bordure du plateau, à l'amont d'un versant abrupt qui rejoint la commune de Vierzy, en fond de vallée. La commune, dans son ensemble, se trouve entourée par des versants dont la pente peut atteindre 20 % pour un dénivelé de 30 à 50 m. Les versants sont recouverts de prairies ou de bois ou parfois laissés à nu. D'aussi loin que remontent les témoignage (début du siècle), ce bassin a été consacré aux cultures. On y connaissait quelques arbres, mais pas de bosquet. L'évolution du parcellaire y a été négligeable sur la partie touchant la commune de Vierzy. Par contre, elle a été rapide sur le tiers est, partie concernant l'exploitation de J. C. Doncoeur. En 1956, le remembrement fait disparaître un chemin et rassemble 7 parcelles en 3.

1 * Situation géologique et hydrogéologique

Sous une épaisse couche de limon loessique et de colluvions de dépression, le sous-sol est constitué des marnes et caillasses de Lutécien supérieur (calcaire à Cérithes). Au-dessous, on rencontre le calcaire grossier du Lutétien moyen, puis le calcaire à Nummulites du Lutétien inférieur (fig. I - 1 - 2 - 2 - a). Encore au dessous, on trouve les sables de Cuise de l'Yprésien supérieur et localement l'argile de Laon, à l'origine de fronts de sources (carte géologique BRGM FERÉ-EN-TARDENOIS 1/50 000).

A quelques kilomètres au sud de Vierzy, se trouve le puits d'alimentation en eau potable du réseau intercommunal. Il puise dans la nappe aquifère des calcaires du Lutétien que l'on rencontre à environ 4-5 m (son niveau statique est voisin de + 105 m). Cette nappe est alimentée par les eaux de pluie. Cette eau est d'assez bonne qualité car filtrée par le calcaire. Les teneurs en nitrates y sont moyennes puisqu'elles avoisinent 35-39 mg/l (minimum 30 mg/l en 1978, maximum 40,1 mg/l en 1990, mesures annuelles réalisées par la DDASS ; un rapport du BRGM cite la valeur minimale de 2 mg/l en 1954) et les concentrations évoluent lentement depuis 1978. Toutefois, si on se réfère à la valeur donnée par le BRGM de 2 mg/l en 1954, l'augmentation a été considérable en l'espace de 25 ans (1954-78). Cet accroissement, très probablement lié à l'augmentation des apports d'azote minéral, semble stabilisé au cours de ces dernières décennies. Ces concentrations sont toutefois inférieures à celles observées dans les sources du front du plateau (tab. I - 1 - 2 - 2 - a, ci-après).

Figure I - 1 - 2 - 2 - a : Couches géologiques présentes à Vierzy (d'après carte géologique 1/50 000, Soissons)

Du haut vers le bas :

Limons loessiques, ou colluvions de fond de vallée (ou dépression), ou alluvions modernes (fond de la vallée de la Savière) quelques mètres,

Lutétien supérieur, calcaire à Cérithes, marnes et caillasses, moins d'un mètre,

Lutétien moyen, calcaire grossier, 15 -20 m,

Lutétien inférieur, glauconies grossières, calcaires à nummulites, 4 m,

Yprésien supérieur, sable de Cuise et localement argile de Laon, 0 - 4 m.

Tableau I - 1 - 2 - 2 - a : Exemples de concentrations en NO₃ d'une source des marnes et caillasses du Lutécien à Vierzy (conductivité 700 µS/cm)

Dates	NO ₃ mg/l
16 septembre 1993	74
13 octobre 1993	84
18 novembre 1993	76
8 décembre 1993	78
7 janvier 1994	74
10 mars 1994	70
31 mars 1994	74
12 septembre 1994	70
27 avril 1994	68
13 août 1994	68
25 mai 1994	66

2 * Les sols

La carte des sols a été réalisée au printemps 1993. Son levé a été effectué à partir d'une reprise de la carte des sols du département de l'Aisne (Maucorps, Marlet, Sarrazin, INRA SESCPF Orléans), complétée par 300 observations dont une centaine de sondages à 1,20 m. La précision obtenue, quant à la texture des horizons superficiels (terre arable et sous-sol), est excellente (MAUCORPS, 1993).

La couverture pédologique est surtout constituée de limons loessiques, à l'exception du point culminant du bassin (158 m), où affleurent les sables auversiens de la butte du Routis. Au point opposé, sur le versant au nord du talweg, un plaquage de limons argilo-sableux repose sur le calcaire grossier du Lutétien à faible ou moyenne profondeur soulignant la dissymétrie des versants. En effet, les sols du bassin versant présentent tous un certain degré de troncature dû à l'érosion hydraulique : les sols plus érodés et de plus grande extension sont situés sur ce versant Nord, à exposition Sud (MAUCORPS, 1993).

Les colluvions de fond de vallon sont de texture peu argileuse, constituées essentiellement aux dépens des horizons superficiels des sols, appauvris en argile. L'érosion est donc encore modérée et sans doute liée à la mise en culture relativement récente des loess du plateau. La terre arable a généralement une teneur en matières organiques assez faible à faible, mais son état calcique est satisfaisant. Néanmoins les risques de battance restent élevés sur les deux tiers de la superficie du bassin versant, en raison de l'extension des sols peu argileux, de la teneur élevée en limons grossiers de leur matériau et de leur manque de matières organiques (MAUCORPS, 1993).

Sur cette carte, on note une inégalité de la répartition des textures de surface sur les versants. Cette dissymétrie s'observe fréquemment sur les bassins versants de la région (MAUCORPS, 1993). Les versants nord ou est, plus exposés aux intempéries provenant du Sud-Ouest et de l'Ouest, sont plus érodés. Ici le versant nord, plus érodé, est plus riche en limon argileux (77 % de la superficie en LA et 72 % en LA- se retrouvent sur le versant nord). Du matériel limoneux ruisselé ou soliflué est largement présent sur ses pentes (72,6 % contre 27,4 % sur le versant opposé). Sur le versant sud, les limons moyens plus sensibles à la battance sont largement dominants : ils représentent plus de 50 % de ce versant.

Tableau I - 1 - 2 - 2 - a : Répartition en % des textures sur chacun des versants, Nord et Sud

Textures de surface	Versant nord	Versant sud
LA	55,5	44,5
LA/K80	77,0	23,0
LM/LA 20-40	10,2	89,8
LM+/LA 20-40	55,0	45,0
LM/II LA 40-60 OU 60-80 LOCT >100	72,6	27,4
LA-/LA 20-40	88,3	11,7
LM/LA 40-60	47,0	53,0
SL	58,8	41,2
LAS/K 20-40	100,0	0,0

Les traces de ruissellement et d'érosion laissées dans les textures superficielles :

La présence dans les talwegs principal et secondaires d'un sol limoneux d'apport colluvial (13,6 % de la surface d'ensemble, de sensibilité très forte à la battance) témoigne d'une érosion ancienne pluriséculaire. Ces dépôts constitués à partir de limons moyens (limons appauvris en argile) ont une très forte sensibilité à la battance et une sensibilité moyenne à l'incision.

Sur les versants, le matériel limoneux ruisselé et soliflué atteste lui aussi de nombreux déplacements.

3 * Les pentes

Les altitudes extrêmes du bassin versant sont de 130 et 156 m. Les versants se présentent sous forme de grandes ondulations. La carte des pentes montre que l'essentiel des pentes se situent entre 1 et 2 % mais aussi qu'elles peuvent dépasser 5 % . Les pentes sont modérées mais s'étendent sur de grandes longueurs. Le talweg principal, très allongé possède des pentes très faibles, toujours inférieures à 2 %.

4 * Les exploitations agricoles et l'occupation du sol

Sur la commune (1 273 ha), cinq exploitations se partagent une surface agricole de 1 016 ha, essentiellement de la culture (annexe 6). La superficie moyenne des exploitations est de 253,9 ha contre 104,5 ha à Erlon). Les parcelles sont de taille importante (de 12 à 60 ha). Les cultures sont celles de cette région de grande culture : céréales (506 ha d'après le RGA de 1988), betteraves (246 ha), pommes de terre et petit pois (121 ha).

5 * Quelques aspects des pratiques agricoles

Comme dans le Saint-Quentinois-Laonnois, on pratique des amendements et des apports de fertilisants assez importants. Ces apports se répercutent sur les rendements : on obtient en général 80-90 quintaux par hectare pour le blé, 60-65 tonnes par hectare pour la betterave, 40-45 tonnes/ha de pommes de terre, etc.

Les engins agricoles de toutes sortes sont également utilisés.

- Les labours sont profonds de 15-20 cm avant une culture de céréale et de 35 cm avant une culture de betterave (la betterave est une plante à pivot, son bon développement dépend de son enracinement, H. Moquet). Ils sont réalisés de façon traditionnelle à l'automne, sauf quand les conditions ne le permettent pas (passage de charrue de trois à cinq socs, les exploitations possèdent souvent les deux, les charrues à cinq socs sont auto-portées). Dans ce cas, le labour a lieu au printemps. Les tracteurs pèsent entre 5,5 (H. Moquet) et 7 (J. C. Doncoeur) tonnes pour une puissance de 110 ou 115 cv. Il y en a au moins deux dans chaque exploitations. Chez J. C. Doncoeur, en plus des deux tracteurs de 115 cv, il y en deux de 90 cv.

- Le déchaumage est presque systématique, sauf dans le talweg où les chaumes sont laissés en place pendant l'hiver.

- Les décompactages ne sont réalisés que dans les fourrières (H. de Bussy, comm. orale 1994).

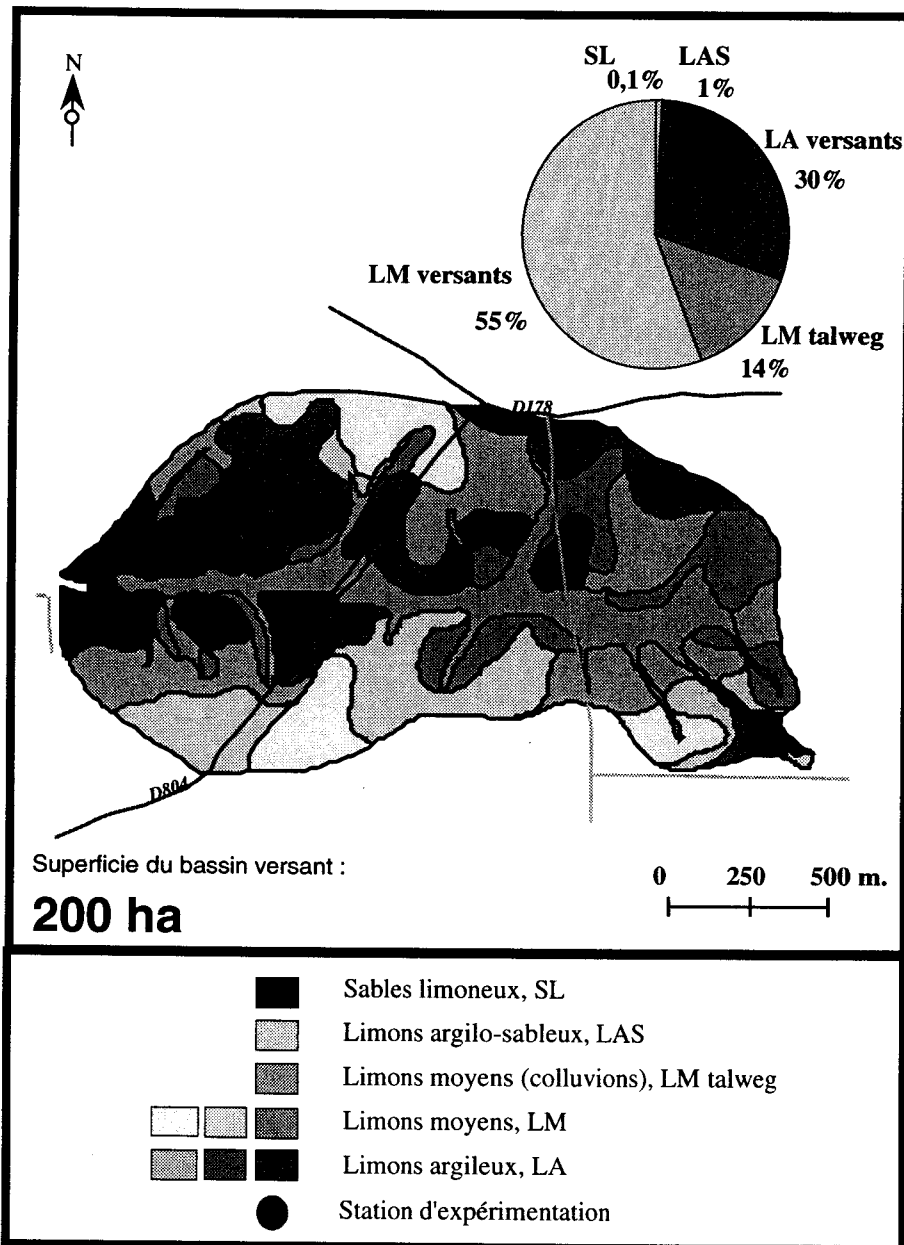
- Pour la préparation du sol, les agriculteurs disposent de herse rotatives (H. Moquet) ou alternatives (J. C. Doncoeur). Si la terre est bien saine, on utilise par exemple le Germinator (herse rotative et semoir combiné, 1 170 kg à 2 500 kg selon les modèles, celui de H. Moquet pèse 555 kg plus une rampe soit 1 600 kg) pour les semis de betteraves. Si la terre est plus tassée, cet agriculteur a recours à un Canadien Konskil (premier rouleau qui casse la croûte, dents qui soulèvent la terre, second rouleau qui rappaie la terre). Par exemple, pour ouvrir la terre avant un semis relevé de pois, on combine le Canadien Konskil, la herse rotative, un rouleau Kulkipaker (rouleau dentelé) et le semoir. Pour la préparation du sol avant un semis de betteraves, on utilise le Canadien Konskil, additionné du Germinator (terre fine et un peu rappuyée).

- Le relevé et le semis de betteraves se fait en deux temps : reprise du sol par une herse alternative (J. C. Doncoeur) ou herse rotative (H. Moquet) et un rouleau, puis semis par un semoir indépendant.

Le relevé et le semis de pois se fait en une seule opération, la herse alternative et le semoir sont combinés. Le résultat est un lit de semence très fin et très régulier. H. Moquet évite le sarclage des betteraves permettant de briser la croûte de battance. Cette pratique a pour effet d'enfourir et donc de diluer les produits phytosanitaires. MM. Doncoeur et Muzart cherchent à limiter les tassements. Le premier utilise des roues doubles pour tirer la herse alternative et le semoir combiné. Le second préfère les roues cages (armature métallique qui élargit la portée de la roue) sur sol humide.

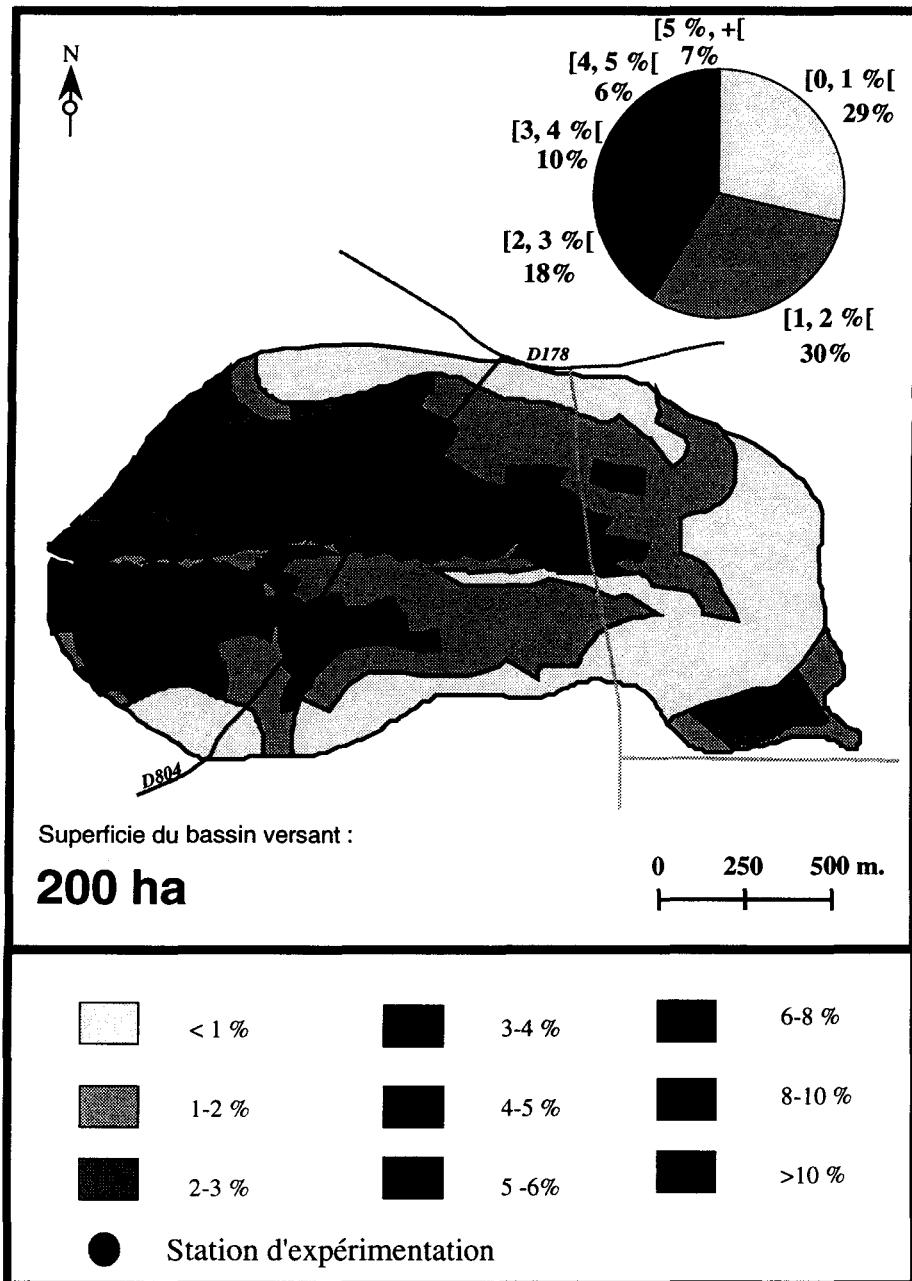
- Enfin, les pulvérisateurs de largeur 24 m avec des jets filets sont utilisés par tous les agriculteurs. Les épandages d'engrais solides se font avec un semoir à portée centrifuge.

Figure I - 1 - 2 - 2 - b : Carte des textures de surface sur le bassin versant de Vierzy (d'après la carte de MM. Maucorps, Marlet, Sarrazin)



© A. ANGELIAUME
ENS-CNRS UMR 180 CNRS

Figure I - 1 - 2 - 2 - c : Carte des pentes d'après les courbes de niveau redessinées de Vierzy



© A. ANGELIAUME
ENS-CNRS UMR 180 CNRS

Photo I - 1 - 2 - 2 - a - La station expérimentale à Vierzy (Angélieaume, janvier 1995)

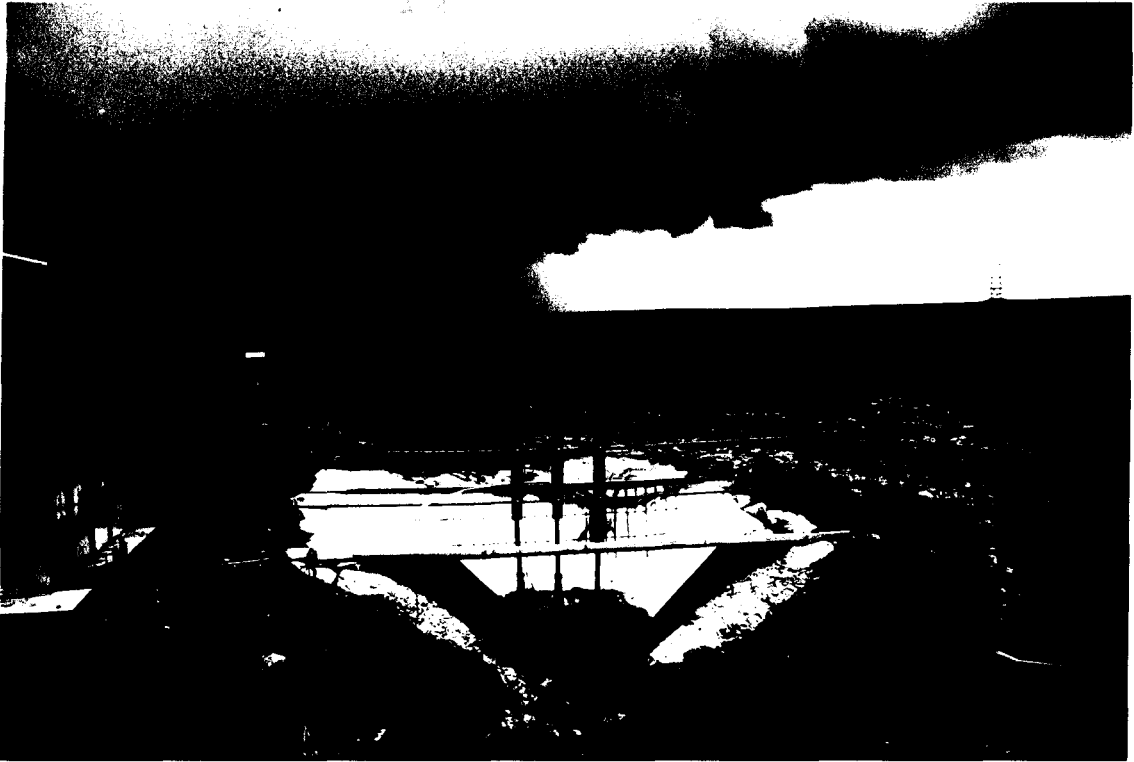
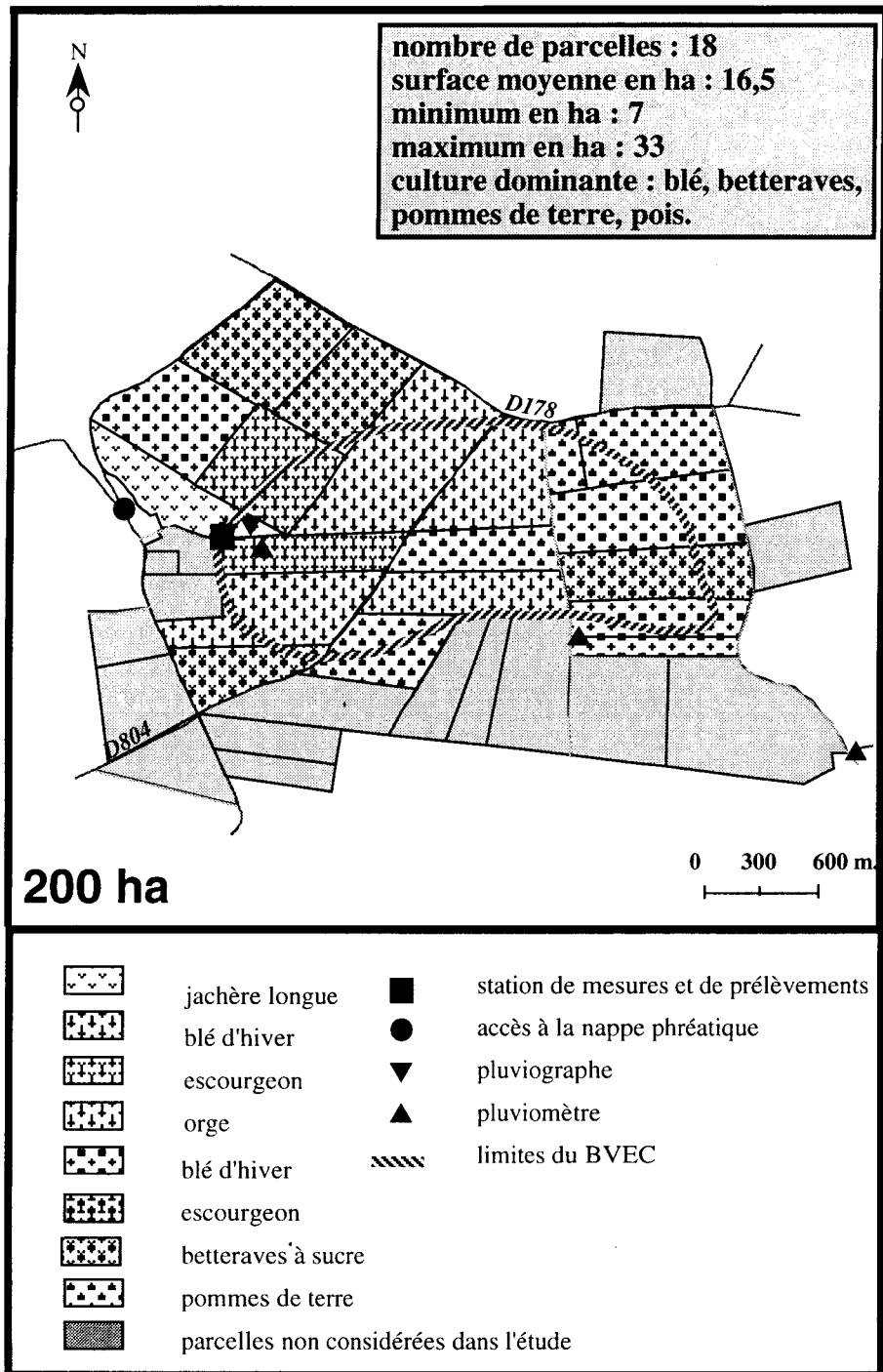


Photo I - 1 - 2 - 2 - b : Canadien Kongsil, outil à dent, H. Moquet (A. Angélieaume, juin 1994)



Figure I - 1 - 2 - 1 - d : Limites du BVEC, parcelles et localisation des équipements à Vierzy



Ces quelques lignes ne font qu'évoquer certains traits particuliers des pratiques agraires. Elles seront détaillées au besoin (2ème Partie, I - 4 - 2).

6 * La perception des phénomènes d'érosion

Le maire et les agriculteurs sont conscients de ce problème. Certains cherchent à y remédier, H. de Bussy a fait creuser une mare tampon en aval d'une de ses parcelles. H. Moquet souhaiterait un aménagement du "Grand Fossé" d'où proviennent les coulées boueuses. Il est prêt à laisser le talweg enherbé.

En résumé, ces deux bassins répondent bien aux critères de pentes, de sols et d'occupation du sol cités précédemment. L'échelle de travail choisie est celle du bassin versant élémentaire. Elle semble la plus appropriée pour plusieurs raisons rappelées brièvement dans le chapitre suivant.

I - 2 - L'échelle du bassin versant élémentaire

I - 2 - 1 - Définition

Un bassin versant élémentaire (BVE) est une unité élémentaire qui draine les écoulements de surface et souterrain vers un chenal à écoulement non pérenne. Il s'agit donc d'un volume constitué d'un système de pentes et d'un collecteur principal, le chenal à écoulement non pérenne. Dans un ensemble de vallons, chaque vallon correspond à un bassin versant élémentaire (LÜDWIG, 1989). Les limites du bassin versant correspondent aux lignes de partage des eaux. Ces limites sont stables, car conditionnées par la morphologie. Cependant, elles sont dans une grande mesure dépendantes des pratiques agraires.

Le bassin versant, unité opérationnelle isolée hydrauliquement, est défini par un périmètre et un talweg principal. Il possède un exutoire unique le connectant aux vallées parcourues par des cours d'eau permanents. Il correspond aux ramifications ultimes du réseau hydrographique temporaire qui peut se créer lors des pluies (BOIFFIN ET AL, 1988).

I - 2 - 2 - Intérêts

Les géographes considèrent le bassin versant élémentaire comme une échelle idéale dans l'étude des flux car il s'agit de l'unité géomorphologique fondamentale. Cet espace géographique peut être abordé dans quatre dimensions "dans la réalité, un bassin versant n'est pas seulement une portion superficielle du territoire ; c'est une portion d'espace à quatre dimensions [...], d'abord c'est une surface [...], ensuite cet espace se développe selon une certaine épaisseur [...], enfin intervient une quatrième dimension qui conditionne les phénomènes hydrologiques : le temps (au sens temps-durée" (M. CHARTIER, in COSANDEY, 1985).

Par ailleurs, les expérimentations sur parcelles indépendantes présentent un grand nombre de limites.

Par exemple les parcelles du Mont des Vaux à Cessières (02), sur lesquelles ont débuté les recherches sur l'érosion du Centre de Biogéographie, constituent aujourd'hui une référence sur l'érosivité du climat et sur le rôle de différents couverts végétaux (WICHEREK, 1988 ; WICHEREK, GREGOIRE, 1987 ; WICHEREK 1992). Mais, leur situation sur un versant de butte témoin font qu'elles ne sont plus représentatives des situations agricoles actuelles. Dans la région, de tels sites ne sont plus cultivés depuis plusieurs siècles. Les pentes sont trop fortes, les sols trop peu épais et les parcelles trop petites.

D'une façon générale, les expérimentations sur parcelles présentent des limites pour l'étude des flux. "Ces mesures apportent des informations plus ou moins précises sur l'efficacité des processus élémentaires dans un milieu donné, mais la réalité géographique, c'est-à-dire la vitesse moyenne de l'érosion à l'échelle d'une région leur échappe" (NEBOÏT, 1983).

Une parcelle présente en général une pente courte. Elle ne rend pas compte des changements de dénivellation (accélération des écoulements ou redéposition), des modifications qu'elle entraîne une succession de parcelles ayant des couvertures de surface différentes et de l'existence d'échanges entre les surfaces émettrices de ruissellement et celles émettrices de sédiments (DELAHAYE, 1992).

L'échelle parcellaire ne prend pas en compte la concentration des écoulements le long d'un versant, puis le long d'un talweg. Or, les terres limoneuses du nord-ouest du Bassin Parisien sont plus particulièrement sensibles aux formes d'érosion liées à la concentration du ruissellement, en particulier dans les vallons secs (talweg) (LUDWIG, 1989 ; BOIFFIN et al, 1988 ; AUZET, 1987 ; MONNIER et al, 1986).

A l'inverse, l'étude d'un bassin versant trop étendu et disposant d'un écoulement pérenne introduit des éléments perturbateurs (rejets d'habitations, fossés, etc.) ou régulateurs (marais, forêts, etc.). L'écoulement pérenne modifie la nature et la composition des flux (débit de base provenant de la nappe alluviale, turbulence des écoulements, ...).

A mi chemin entre la parcelle et le grand bassin versant, l'échelle du bassin versant élémentaire semble donc la mieux appropriée aux thèmes de recherches concernant les flux divers (transferts d'eau, de terre et de polluants).

L'échelle fonctionnelle (BV) est privilégiée pour pouvoir étudier la continuité du ruissellement, mais sans négliger l'échelle décisionnelle, celles des exploitations agricoles dont la répartition souvent discontinue. On considère donc l'espace dans un double fonctionnement (PAPY, 1992)

I - 2 - 3 - Identification d'un bassin versant élémentaire

Le repérage du BVE n'est pas toujours simple. C'est pourquoi des règles d'identification ont été proposées (Ludwig, 1989). Par exemple, pour distinguer un BVE d'une dépression morphologique de petite taille, la ligne de concentration majeure doit être supérieure à 300 m. Ou encore, pour distinguer un BVE d'un bassin versant complexe, la limite aval du BVE est choisie afin d'exclure tous les sites subissant des changements radicaux (confluence avec un autre bassin versant ou avec un cours d'eau, ou une zone d'habitation, ou des forêts...). La limite aval est fixée par le point de confluence, là où sortent les flux liquides et solides, c'est à dire l'exutoire du bassin versant.

Les limites des bassins sont tracées, dans un premier temps, suivant la ligne de partage des eaux, c'est-à-dire à partir des courbes de niveau (agrandissement au 1/5 000 de la carte IGN 1/25 000), puis des corrections du tracé initial sont apportées sur le terrain soit à la suite d'observations, soit à la suite de mesures topographiques.

Il faut signaler que le traçage des limites du bassin versant est soumis à une certaine marge d'erreur. Cette marge d'erreur est d'autant plus importante que le relief est peu accentué, elle est diminuée lorsque le relief est plus marqué (LUDWIG, 1989).

Les bassins versants sélectionnés pour l'étude sont à talweg sec ce qui présente certains avantages. Il n'existe pas de perturbation liée au débit du cours d'eau (débit de base, charriage de fond). Par contre, les exutoires des bassins ne se situent pas exactement au contact du cours d'eau. Les prélèvements réalisés ne reflètent donc pas exactement ce qui se rejoint car des dépôts ou des infiltrations sont possibles.

I - 3 - Suivi et équipement à l'exutoire des BVEC

I - 3 - 1 - Un suivi global

Un suivi des "entrées" et des "sorties" a été adopté dans l'objectif d'étudier tant le fonctionnement hydrologique des bassins versants, la nature et les modalités des transferts des polluants, le rôle des activités humaines, que l'impact sur les milieux avoisinants (rivière, eau de puits et de sources). En résumé, ce choix doit permettre d'étudier les réponses du milieu aux précipitations et aux activités humaines (fig. I - 3 - 1 - a). Les éléments de vulnérabilité et de risques mis en avant sont l'eau, la terre et les hommes. Pour chacun, un suivi de terrain s'impose.

I - 3 - 1 - 1 - L'eau et la terre : les risques climatiques et la vulnérabilité des sols

L'érosion est un phénomène de toutes les époques qui se produit à différentes échelles de temps : séculaire (en relation avec les changements climatiques ou la mise en culture des sols) à épisodique (en relation avec un orage). Le principal facteur en cause est la pluie. Pluies hivernales ou pluies d'orage, les pluies présentent un caractère aléatoire dans le temps et dans l'espace.

De plus, en ce qui concerne la qualité de l'eau, il faut considérer les apports météoriques tant quantitatif que qualitatif, puisque les eaux de pluie sont aussi chargée en éléments minéraux, des analyses sont donc réalisées.

L'eau de pluie intervient sur l'état de surface d'un sol, qu'il est important d'observer, car c'est un élément décisif pour le déclenchement du ruissellement et de l'érosion.

L'aspect perte de fertilité du sol est aussi considéré par l'étude des déplacements et de l'exportation de terre (quantification des pertes en terre, limons, matières organiques).

I - 3 - 1 - 2 - La terre et l'eau : les risques d'érosion des sols cultivés et de dégradation des eaux

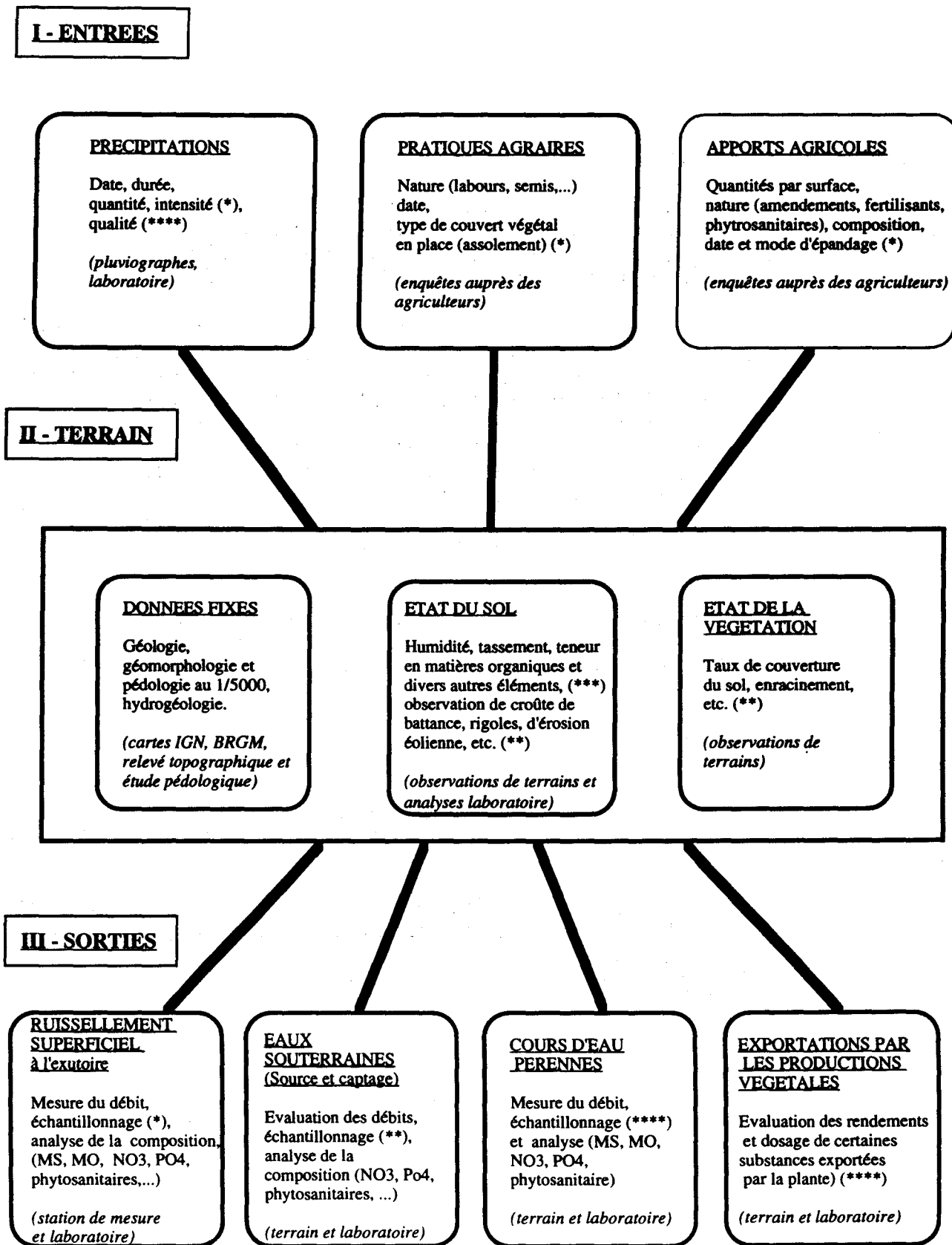
Les éléments perdus, synonyme de perte de fertilité du sol, constituent aussi une nuisance pour la collectivité et l'environnement. Il s'agit de la pollution diffuse. La recherche des polluants entraînés par ruissellement soulève plusieurs questions : quand et comment prélever, quoi analyser et sous quelle forme ? Autant de questions à prendre en compte dans l'établissement du protocole. Les éléments perdus par ruissellement constituent aussi une perte économique. La nature du travail du sol et des produits employés peuvent aussi être remis en question.

I - 3 - 1 - 3 - L'homme et la terre : les risques liés aux conditions d'exploitation du sol

Le travail du sol, la structure du parcellaire, l'utilisation de tel engin ou de tel produit répondent à certains besoins ou certaines habitudes. Des enquêtes menées auprès des exploitants agricoles sont utiles pour connaître les pratiques agraires et mieux observer leurs effets.

En résumé, un suivi des "entrées" et des "sorties" permet d'étudier les manifestations et les conséquences. Les lignes qui vont suivre sont consacrées à la description des équipements installés et du protocole adopté. Une station de mesure automatique installée à l'exutoire des bassins versants assure les relevés (quantité et intensité des pluies, volumes et débits des ruissellement) et les prélèvements d'eau de ruissellement (localisation des appareillage fig. I - 1 - 2 - 1 - e et I - 1 - 3 - 2 - d). Cet équipement est complété par des observations de terrain. Lors des relevés hebdomadaires de la station, on note les pratiques culturales, les états de surface, l'humidité des sols, le stade de développement de la végétation, la localisation des fourrières, les traces de roues, etc. (annexe 6). Toutes ces informations complètent les résultats de l'enquête réalisée auprès des agriculteurs, mise à jour régulièrement, en particulier pour les travaux cultureux (le questionnaire agriculteur et la fiche de relevés de terrain sont présentés en annexe ; les résultats sont figurés en annexe 21).

Figure I - 3 - 1 - a : Un suivi global



(*) mesures ou observations en continue

(**) mesures ou observations ponctuelles, mais régulière (hebdomadaires pour les parcelles, mensuelles pour les eaux souterraines...)

(***) mesures au cours de l'automne-hiver (septembre à janvier)

(****) mesures occasionnelles

I - 3 - 2 - Les mesures de débits

Un système de "bras collecteurs" rassemble et recueille les ruissellements arrivant à l'exutoire du bassin versant. Il les oriente vers une cuve équipée d'un déversoir triangulaire (fig. I - 3 - 2 - a), dans laquelle des lamelles de PVC permettent de stabiliser l'écoulement et d'éviter la formation de remous au niveau des sondes enregistrant les hauteurs d'eau (voir photo I - 1 - 2 - 2 - a).

Ces hauteurs sont mesurées par des sondes à ultrason et des sondes à pression, ces deux types de sondes étant complémentaires. Les sondes à ultrason sont idéales pour mesurer les petits débits en raison de leur grande précision (<1 mm). Les sondes à pression conviennent mieux pour les mesures de gros débits ; en particulier lorsque la charge en MES est importante (coulée de boue). Plus résistantes, elles ne sont pas perturbées par la présence de MES. Par contre, les résultats de ces sondes à pression ne sont pas utilisés pour les petits débits car ils sont relativement imprécis. De plus, ces sondes peuvent afficher des valeurs inexistantes ; notamment par temps très chaud ou très froid (elles sont sensibles à l'évaporation et au gel). Chaque site est équipé d'une sonde à pression et de deux sondes à ultrason (l'une nue, l'autre protégée par une "chaussette" qui empêche les MES de la colmater). Une station automatique CR2M enregistre les hauteurs affichées par les sondes ainsi que les pluies et les températures.

Le déversoir triangulaire par lequel s'écoule le ruissellement (fig. I - 3 - 2 - b et c) présente une ouverture à 90°. La section ainsi connue permet d'établir une relation hauteur/débit pour l'écoulement (fig. I - 3 - 2 - e). Les déversoirs triangulaires mesurent 60 cm de haut à Erlon et 70 cm à Vierzy ; soit un débit théorique maximum d'environ 40 000 l/mn. Les débits maxima observés sont d'environ 39 000 l/mn à Erlon (6-7 août 1995) et supérieurs à 33 000 l/mn à Vierzy (11 juillet 1995). Quant aux volumes maxima correspondant, ils avoisinent 2 600 m³ à Erlon et plus de 17 500 m³ à Vierzy.

La hauteur "zéro" est déterminée en fin d'écoulement. Au début du ruissellement, le niveau de l'eau dans la cuve est rarement à la base du "V" du déversoir (évaporation, alimentation en eau de la faune,...).

Les mesures des hauteurs d'eau, et donc des débits et des volumes, sont soumises à quelques imprécisions (légers remous dans la cuve, etc.). Ces incertitudes évaluées sont figurées à côté des valeurs de débits et de volumes dans les tableaux présentant les résultats complets (annexes 11, 12 et 13). Suivant la logique, plus les débits et les volumes sont élevés, plus la marge d'erreur est importante. C'est pourquoi les fortes valeurs sont souvent "arrondies".

Figure I - 3 - 2 - a : Equipement de la station d'Erlon de 1989 à 1994 (d'après WICHEREK, 1990)

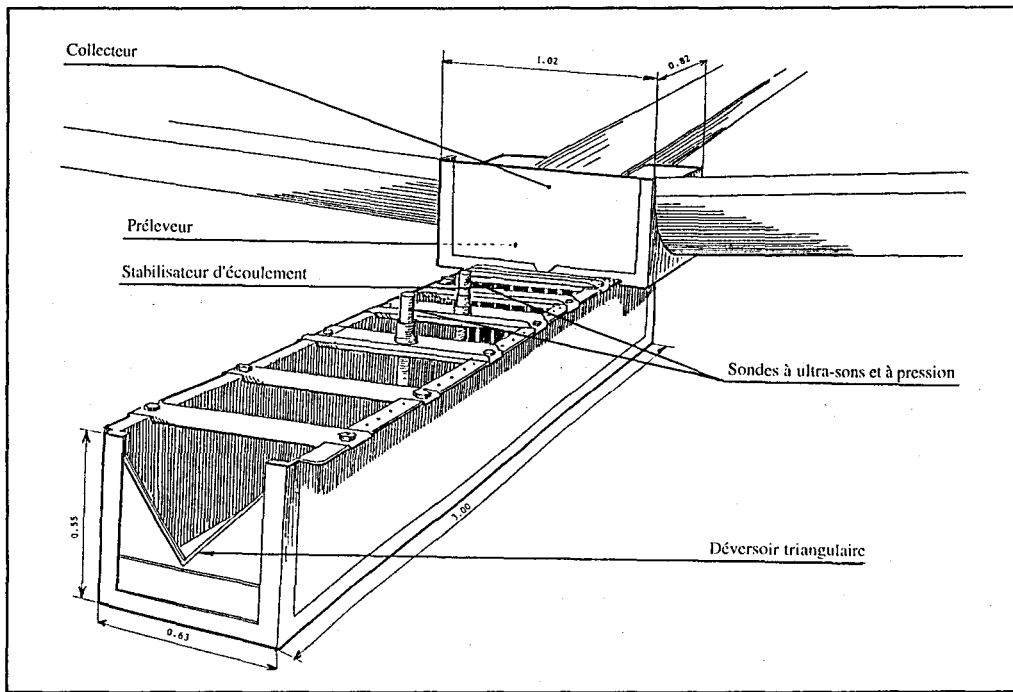


Figure I - 3 - 2 - b : Déversoir triangulaire (d'après THOMSON, 1958)

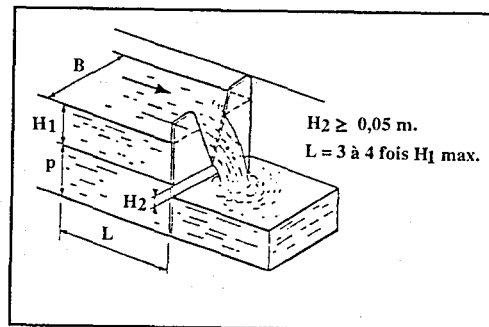


Figure I - 3 - 2 - c : Détail du déversoir triangulaire (d'après THOMSON, 1958)

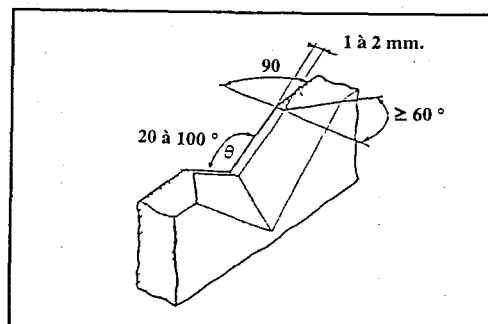


Figure I - 3 - 2 - d : Principe de fonctionnement de la station (d'après WICHEREK, 1990)

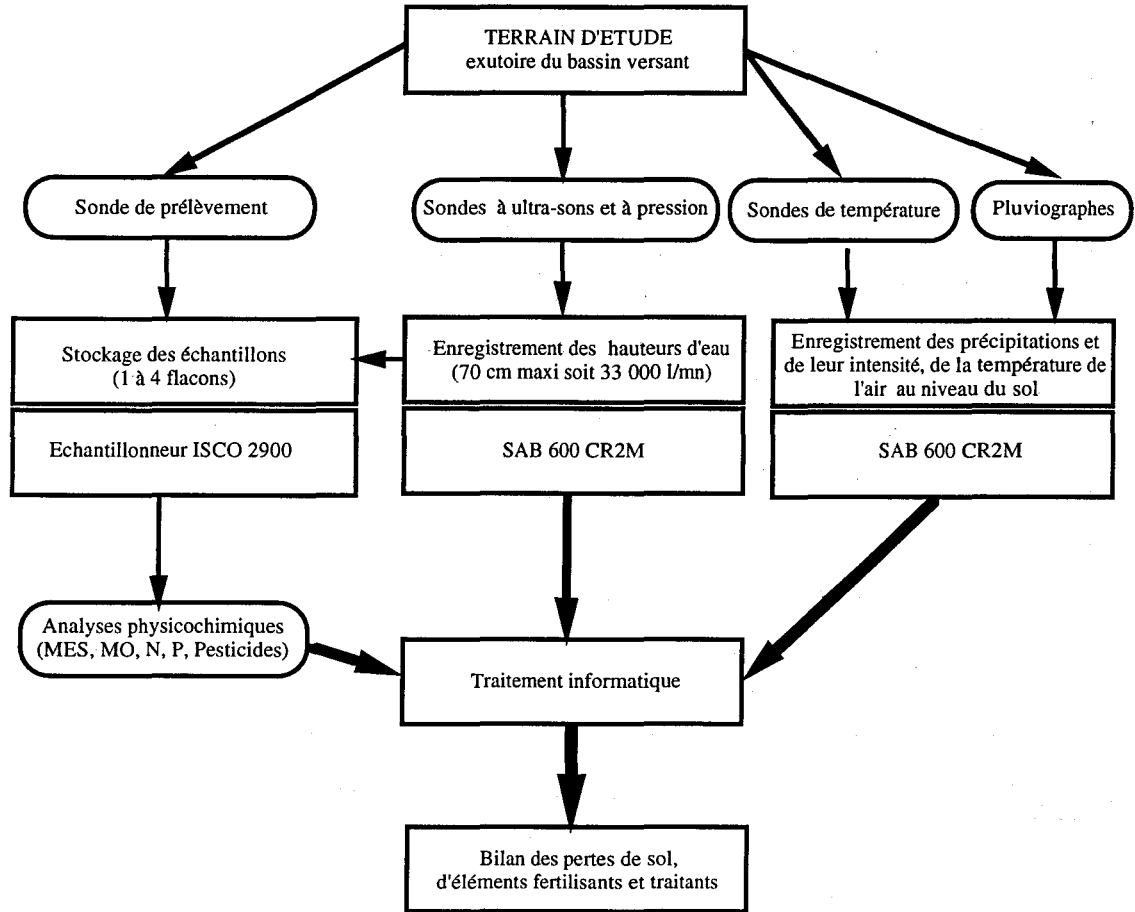


Figure I - 3 - 2 - e : Débit en fonction de la hauteur - cas d'un déversoir triangulaire, angle 90 ° (Normes ISO4377) - exemples

H: 10 mm	Q: 1.637282E-02 l/s	= .9823692 l/mn	= 58.94216 l/h
H: 20 mm	Q: 8.622844E-02 l/s	= 5.173706 l/mn	= 310.4224 l/h
H: 30 mm	Q: .2305167 l/s	= 13.831 l/mn	= 829.86 l/h
H: 40 mm	Q: .465009 l/s	= 27.90054 l/mn	= 1674.032 l/h
H: 50 mm	Q: .8029752 l/s	= 48.17852 l/mn	= 2890.711 l/h
H: 60 mm	Q: 1.256109 l/s	= 75.36654 l/mn	= 4521.992 l/h
H: 70 mm	Q: 1.834985 l/s	= 110.0991 l/mn	= 6605.945 l/h
H: 80 mm	Q: 2.549331 l/s	= 152.9598 l/mn	= 9177.59 l/h
H: 90 mm	Q: 3.408215 l/s	= 204.4929 l/mn	= 12269.57 l/h
H: 100 mm	Q: 4.420139 l/s	= 265.2083 l/mn	= 15912.5 l/h
H: 110 mm	Q: 5.593166 l/s	= 335.5899 l/mn	= 20135.4 l/h
H: 120 mm	Q: 6.934961 l/s	= 416.0976 l/mn	= 24965.86 l/h
H: 130 mm	Q: 8.452842 l/s	= 507.1705 l/mn	= 30430.23 l/h
H: 140 mm	Q: 10.15384 l/s	= 609.2304 l/mn	= 36553.82 l/h
H: 150 mm	Q: 12.04473 l/s	= 722.6836 l/mn	= 43361.02 l/h
H: 160 mm	Q: 14.13201 l/s	= 847.9206 l/mn	= 50875.24 l/h
H: 170 mm	Q: 16.42201 l/s	= 985.3206 l/mn	= 59119.24 l/h
H: 180 mm	Q: 18.92087 l/s	= 1135.253 l/mn	= 68115.15 l/h
H: 190 mm	Q: 21.63452 l/s	= 1298.071 l/mn	= 77884.26 l/h
H: 200 mm	Q: 24.56873 l/s	= 1474.124 l/mn	= 88447.44 l/h
H: 210 mm	Q: 27.72913 l/s	= 1663.748 l/mn	= 99824.88 l/h
H: 220 mm	Q: 31.12126 l/s	= 1867.275 l/mn	= 112036.5 l/h
H: 230 mm	Q: 34.75042 l/s	= 2085.025 l/mn	= 125101.5 l/h
H: 240 mm	Q: 38.62192 l/s	= 2317.315 l/mn	= 139038.9 l/h
H: 250 mm	Q: 42.74084 l/s	= 2564.45 l/mn	= 153867 l/h
H: 260 mm	Q: 47.1122 l/s	= 2826.732 l/mn	= 169603.9 l/h
H: 270 mm	Q: 51.741 l/s	= 3104.46 l/mn	= 186267.6 l/h
H: 280 mm	Q: 56.63204 l/s	= 3397.922 l/mn	= 203875.3 l/h
H: 290 mm	Q: 61.79001 l/s	= 3707.401 l/mn	= 222444 l/h
H: 300 mm	Q: 67.21965 l/s	= 4033.179 l/mn	= 241990.7 l/h

I - 3 - 2 - 1 - L'équipement des stations

Les stations sont aussi équipées de sondes de températures, de pluviomètres et de pluviographes. Les résultats sont enregistrés par une station automatique CR2M.

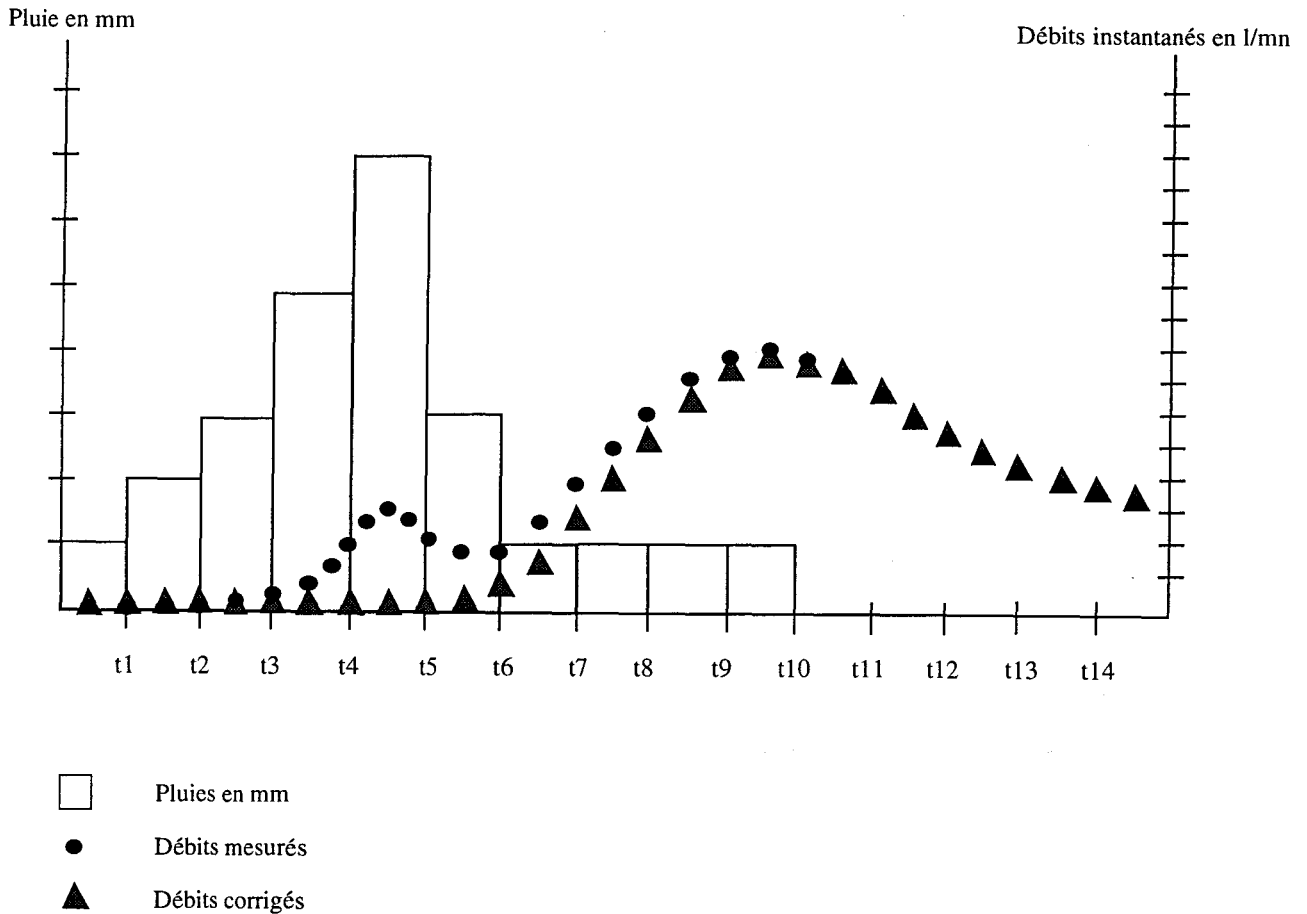
I - 3 - 2 - 2 - La correction des "effets pluviomètres"

Les bras collecteurs et la cuve recueillant les ruissellements représente une surface totalement imperméable. Toute l'eau de pluie interceptée par cette surface ruisselle. Il est donc nécessaire d'apporter une correction correspondant au débit évalué, et ceci en temps réel. Cette correction est d'autant plus indispensable qu'une averse seule peut simuler un événement par effet "pluviomètre". Suite à ces constatations, tous les débits inférieurs à 100 l/mn sont considérés avec défiance.

La première cuve installée à Erlon en 1989 couvrait 5,5 m². Pour une pluie de 10 mm, il fallait soustraire environ 55 l du volume total ruisselé. Actuellement, les surfaces des cuves sont évaluées à 15,7 m³ à Erlon et 16,8 m³ à Vierzy.

Le volume d'eau, provenant directement de la pluie, sans transit par le BV, est à soustraire en temps synchrone des débits instantanés (fig. I - 3 - 2 - 2 - a).

Figure I - 3 - 2 - 2 - a : Débits instantanés initiaux et débits instantanés corrigés (d'après G. CHENE)



I - 3 - 3 - L'échantillonnage des eaux de ruissellement

I - 3 - 3 - 1 - L'échantillonneur : les MES, les MO, les formes de N et P (solubles et fixés)

Un préleveur automatique ISCOO 2 900 (fig. I - 3 - 2 - d) permet d'échantillonner par aspiration des eaux de ruissellement pendant l'écoulement. Cet échantillonneur automatique se met en fonctionnement à partir d'une hauteur seuil fixée à 170 mm à Erlon (soit environ 8 à 9 l/mn) et 230 mm à Vierzy (soit environ 275 à 300 l/mn). Tant que la hauteur du ruissellement demeure supérieure à ce seuil, l'échantillonneur va prélever. En été, le caractère orageux des averses entraîne le plus souvent des écoulements violents, courts et rapides. Les prélèvements se font toutes les trois minutes à raison de 3 prélèvements par flacon. L'échantillonneur contenant 24 flacons, les prélèvements se poursuivent pendant plus de 3 heures. En hiver, les pluies plus longues et persistantes occasionnent des ruissellements beaucoup plus longs. La fréquence des prélèvements passe à 10 mn, soit plus de 12 heures d'autonomie. Pendant l'hiver 1993, cas extrême, les pluies et les ruissellements étant quasi continus, la fréquence avait été réglée sur 60 mn, soit 72 heures d'autonomie)

En résumé, le protocole actuel détermine ainsi les modalités de prélèvement :

seuil de hauteur : 170 mm à Erlon (8 à 9 l/mn) et 230 mm à Vierzy (275 à 300 l/mn)
fréquence des prélèvements : toutes les 3 mn en été et toutes les 10 mn en hiver
volume unitaire d'un échantillon : 170 ml
nombre de flacons : 24 flacons de 500 ml
nombre d'échantillons par flacon : 3
autonomie : 216 mn (plus de 3 heures et demi), en été, à 720 mn (12 heures), en hiver

I - 3 - 3 - 2 - Le prélèvement manuel pour les produits phytosanitaires

Les analyses de produits phytosanitaires nécessitent un volume d'au moins un litre. Les échantillons du préleveur, seulement de 500 ml, sont juste suffisants pour les dosages des MES, des MO, de l'azote et du phosphore. Des prélèvements manuels sont donc réalisés après le ruissellement, dans la cuve utilisée pour les mesures de débits (qui fait office de mare tampon). Ils sont toujours réalisés au même endroit. Leur composition étant sensiblement différente de celle des eaux de l'échantillonneur, on dose aussi les MES, les MO, etc.

I - 3 - 3 - 3 - Préparation des échantillons pour analyses

Les échantillons sont stockés dans des flacons en PTCFE (téflon inerte) et en verre (pour les produits phytosanitaires). Ils sont récupérés le plus rapidement possible après l'événement et conservés à 4 °C sans additif. Ils sont par la suite filtrés sous vide pour séparer la fraction solide de la fraction liquide (filtration sous vide sur filtre whatman G/GF, capacité de rétention : 0,7 µm). Enfin, ils sont acheminés vers les laboratoires d'analyse. Les MES et MO sont pesées au Centre de Biogéographie-Ecologie. L'azote, le phosphore et les chlorures sont dosées au laboratoire d'analyses de l'INRA de Thonon-les-Bains. Les produits phytosanitaires sont recherchés au laboratoire du CIRSEE au Pecq (fig. I - 3 - 3 - 4 - a).

I - 3 - 3 - 4 - Détermination de la charge solide et de la teneur en matières organiques

L'évaluation de la charge en MES se fait à partir des prélèvements de la station automatique pendant l'écoulement. Les MES sont déterminées par pesée des échantillons avant et après un passage de 24 heures dans une étuve (105 °C). La balance Roberval donnant une précision au millième, les erreurs sont négligeables.

Les MO sont estimées par pesée avant et après leur destruction à l'eau oxygénée. Ce produit ne détruit que les MO rapidement minéralisables. De plus, il laisse un résidu (conservateur de l'eau oxygénée) dont le poids augmente au contact de l'air (absorbe l'humidité). Pour palier cet inconvénient, les pesées doivent être réalisées soit immédiatement après sortie de l'étuve, soit après nettoyage de ce résidu très soluble par filtration. Le premier procédé est adopté pour les échantillons hivernaux peu volumineux. Le second est préféré pour les prélèvements au cours d'orages où la charge en MES plus volumineuse a nécessité plus d'eau oxygénée. La destruction des MO entraînent donc plusieurs sources d'erreurs qui peuvent atteindre 30 % (G. Chêne, comm. orale 1994). La réalisation de témoins permet d'éliminer ces résultats aberrants (3ème Partie, I - 4 - 2).

Deux questions ont été posées au cours de l'expérimentation :

- l'échantillon prélevé par la station automatique est-il bien représentatif de l'eau ruisselant ?
- quelle méthode de pesée des MES adopter ? par pesée directe après séchage, par centrifugation, par pesée du filtre de filtration.

1 - Bien que les ruissellements durent plusieurs heures, il est rare de se trouver sur place - compte tenu de l'éloignement des sites d'expérimentation - pour prélever un échantillon en même temps que la machine. Les résultats permettant une comparaison sont donc peu nombreux :

	Prélèvement station MES en %	Prélèvement manuel MES en %
19-20-21 décembre 1993 à Erlon	0,046 à 0,51	0,10
4-6 janvier 1994 à Erlon	0,09	0,06
6 janvier 1994 à Vierzy	0,11 à 0,14	0,02
25 janvier 1995 à Vierzy	0,11 à 0,14	0,06

Les ordres de grandeur sont comparables en période hivernale. toutefois, il est très regrettable de ne pas avoir d'échantillon au cours d'un orage.

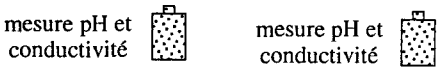
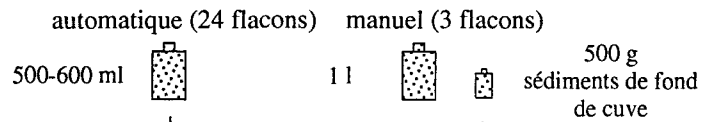
2 - La méthode de dosage des MES retenue, pesée après dessiccation à l'étuve, présente l'inconvénient d'inclure dans la matière pesée tous les éléments solubles, mais elle présente aussi l'avantage d'être facile à mettre en oeuvre. Si l'on compare avec les résultats obtenus par deux autres méthodes, pesée du filtre après filtration et pesée après centrifugation, les résultats ne présentent pas une grande marge d'erreur, bien que celle-ci augmente rapidement pour les plus fortes concentrations (fig. I - 3 - 3 - 4 - a). Par ailleurs, les résultats obtenus par centrifugation sont proches de ceux obtenus par pesée directe. On peut donc considérer que la méthode retenue donne des résultats corrects bien que légèrement surestimés. Pour être plus exact, il faudrait apporter une correction par rapport à la charge en éléments solubles (conductivité)

Centre de Biogéographie-Ecologie
Saint-Cloud

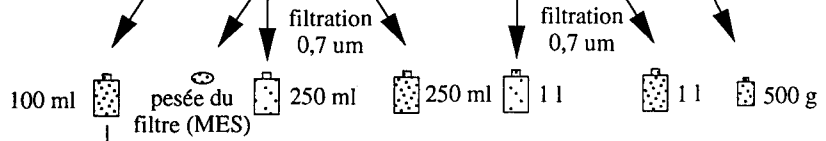
INRA Station de limnologie
Thonon-les-Bains

CIRSEE
Lyonnaise des eaux - Le Pecq

Echantillonnage



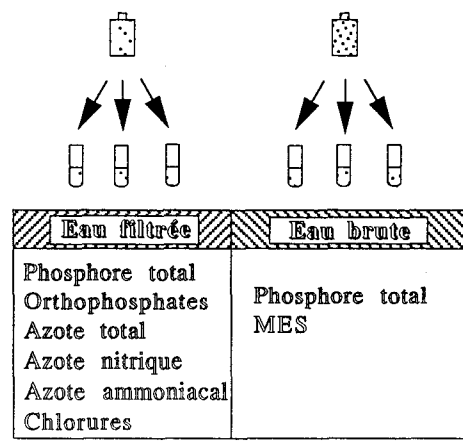
Près-traitement des échantillons



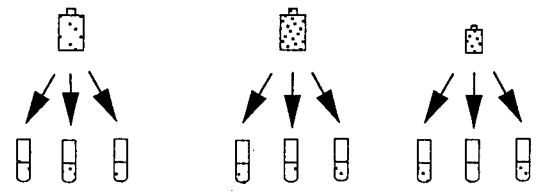
208
desseccation,
destruction et
évaluation MES,
carbonates et
matière organique

Envoi chronopost 4°C

Analyses physico-chimiques



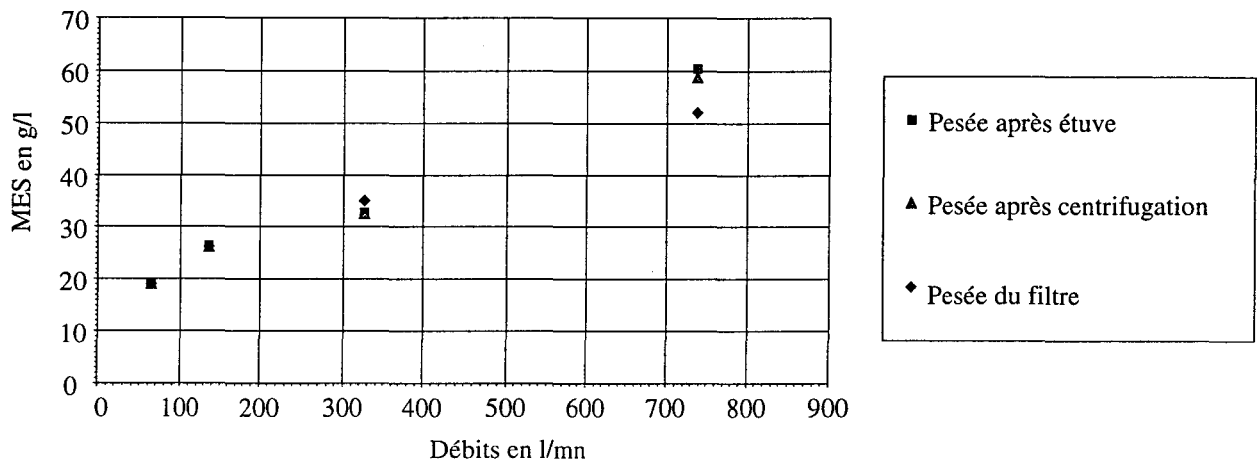
Recherche des produits phytosanitaires



Eau filtrée	Eau brute	Sédiments
Atrazine	Atrazine	Atrazine
Lindane	Lindane	Lindane
Métamitron	Métamitron	Métamitron
Chloridazone	Chloridazone	Chloridazone
Isoproturon	Isoproturon	Isoproturon
etc.	etc.	etc.

Figure I - 3 - 3 - 4 - a : Devenir des échantillons : schéma récapitulatif

Figure I - 3 - 3 - 4 - b : Comparaison des trois méthodes de dosage des MES pour les prélèvements du 24 mai 1994 à Erlon



I - 4 - Méthodologie de sélection des substances en vue du suivi analytique à l'échelle du bassin versant

I - 4 - 1 - L'enquête auprès des exploitations agricoles

L'enquête engagée auprès de la totalité des agriculteurs exploitant les bassins versants a pour but de récapituler toutes les pratiques agricoles (passages de machines, nature des engins, poids), afin d'évaluer leurs impacts sur le sol (tassement, dérayures, etc.). Elle permet, par ailleurs, de répertorier tous les produits utilisés (amendements, fertilisants, produits phytosanitaires), ainsi que les quantités et les dates d'application.

Lors d'un premier contact, les agriculteurs ont accepté de compléter un questionnaire apportant des informations générales sur l'exploitation (taille, répartition des productions, machines agricoles utilisées, date d'abandon de l'élevage, problèmes d'érosion rencontrés, etc.). Puis au cours de multiples visites, les pratiques culturales ont été répertoriées parcelle par parcelle. Cette enquête se poursuit afin de mettre à jour les apports dans le cas d'éventuels prélèvements.

I - 4 - 2 - Les matières fertilisantes

I - 4 - 2 - 1 - Amendements

Il s'agit des apports réalisés entre août et février pour la culture suivante. On distingue deux grandes formes d'apports pour l'entretien du sol : les fumures de fond organiques et minérales.

*** La fumure de fond organique**

Au cours des dix dernières années, les agriculteurs ont eu recours à différents produits (tab. I - 4 - 2 - 1 - a et b et annexe 19) : fumier (G. Moquet), compost de champignonnière "corps de meule" (H. Muzart), boues d'industries agro-alimentaire, boues d'industries chimiques "Hoechst" (H. de Bussy), boues d'industries papetières "AGRICEL" (J. C. Doncoeur), sous-produits "écumes" et "vinasses" de sucreries H. Moquet, H. Muzart, C. Doncoeur, G. Legros), résidus de vinification (C. Legros). Ces amendements apportent au sol une matière organique rapidement minéralisable (C/N faible, inférieur à 25). Ils contiennent de l'azote, mais aussi du phosphore, de la potasse et d'autres éléments en quantité variable (tab. I - 4 - 2 - 1 - b). L'azote organique présent dans ces produits sera donc "libéré" rapidement et transformé en azote minéral assimilable par les plantes. Ces produits, le plus souvent épandus en août, sur chaume de céréales, sont presque systématiquement enfouis par déchaumage (sauf lors de l'hiver 1993-94, sols trop gorgé d'eau après les très fortes pluies d'octobre et de décembre). Ils vont se minéraliser dans les sols au cours de l'hiver et contribueront peu aux pertes par ruissellement de surface. Par contre, il est probable qu'ils participent aux pertes d'azote par percolation.

Remarques :

- Ces apports contribuent peu à l'humification, c'est à dire à la fourniture de matière organique stable. Dans la région, l'humus stable est essentiellement originaire des pailles laissées après récolte, cette pratique étant généralisée sur les exploitations étudiées.
- Les apports d'écumes et de boues d'Hoechst (riches en CaCO_3) contribuent essentiellement au maintien de l'état calcique des sols.

Tableau I - 4 - 2 - 1 - a : Assollement sur les bassins versants depuis 1989 et apports de fumure de fond à Erlon

N°	NOM PARCELLE	PROPRIÉTAIRE	SURFACE (ha)	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
0 HAUT	ARBRE ROBERT	G. LEGROS	6,2					JACHERE	JACHERE L	JACHERE L	JACHERE L
0	ARBRE ROBERT	G. LEGROS	4,3	POIS	BLÉ H	BETT (1-2)	ORGE	JACHERE	BETT (1-2)	BLÉ H	BLÉ H
1	ARBRE ROBERT	G. LEGROS	5,07	BLÉ H	BETT (1-2)	BLÉ H	MAIS	MAIS	BETT (2)	BLÉ H	BLÉ H
2	ARBRE ROBERT	G. LEGROS	8,5	POIS	BLÉ H	BETT (1-2)	POIS	BLÉ H*	BETT (1-2)	haricots verts	BLÉ H
3	ARBRE ROBERT	G. LEGROS	8,5	BLÉ H	POIS	BLÉ H	BETT (1-2)	ORGE*	MAIS	haricots verts	BLÉ H
4	FOSSE D'ERMONT	G. LEGROS	6,3	BLÉ H	BETT (1-2)	POIS	BLÉ H	BETT(1-2)*	MAIS	MAIS	BLÉ H
5	FOSSE D'ERMONT	G. LEGROS	6,7	BETT (1-2)	BLÉ H	MAIS	MAIS	BETT (2)	ORGE	POIS	BLÉ H
6	FOSSE D'ERMONT	G. LEGROS	6,5	BETT (2)	BLÉ H	BETT (1-2)	BLÉ H	MAIS	POIS	BLÉ H	BLÉ H
7	FOSSE D'ERMONT	G. LEGROS	6,5	BETT (2)	BLÉ H	BETT (1-2)	POIS	BLÉ H	MAIS	MAIS	BETT

(1) Défécation : 15 t/ha

(2) Vinasse : 2 000 l/ha

* Analyses de sol et reliquat d'azote

BETT : betteraves sucrières

ESC : escourgeon

ORGE : orge de printemps

JACHERE L : jachère longue

Tableau I - 4 - 2 - 1 - b : Assollement sur les bassins versants depuis 1989 et apports de fumure de fond à Vierzy

N°	NOM PARCELLE	Propriétaire	S (ha)	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
0	PTE DE LA CABINETTE	MOCQUET	23,3	BLÉ	BETT (3)	BLÉ	COLZA	BLÉ	BETT (3)	BLÉ
1	FOURD A CHAUD	MOCQUET	18	POIS (3)	ORGE	BETT	BLÉ	BETT (3)	BLÉ	POIS
2	GRAND FOSSÉ	MOCQUET	12,12	BLÉ	POIS	BLÉ	BETT (3)	BLÉ	ORGE	BETT
3	LE PARADIS	MUZART	13	ORGE P	COLZA	BLÉ	ORGE P	JACH	JACH LONG	JACH LONG
4A	LE GRAND FOSSÉ	MUZART	11,26	BLÉ	FéVROLES	BLÉ	BETT	BLÉ	ORGE	BLÉ
4B	SOUS LA GARENNE	MUZART	10,62	BLÉ	POIS	BLÉ	BETT	BLÉ	POIS	BLÉ
5	LA GARENNE	MUZART	10,48	BETT (4-6)	BLÉ	ESCOURG	BETT	ORGE P	BETT	BLÉ
6	LE GROS NOYER	MUZART	10,5	BETT (4-6)	BLÉ	ESCOURG	BETT	ORGE P	BETT	BLÉ
7A	HANGAR DE MONT RAMBOEUF	MUZART	10,9	P DE T (4-6)	BLÉ	BETT (4)	BLÉ	BETT	BLÉ	BETT
7B	SOUS LA CROIX DE FOURCHE	MUZART	11,1	P DE T (4-6)	BETT	BETT (4)	BLÉ	BETT	BLE	BETT
7C	LA CROIX DE FOURCHE	MUZART	11,26	P DE T (4-6)	BETT	BETT (4)	BLÉ	BETT	BLE	BETT
8	LA CROIX FOURCHE	DE BUSSY	15	P DE T (4-6)	BLÉ	BETT (7)	BLÉ	P DE T	BLE	BETT
9A	VIEUX HANGAR	DE BUSSY	7	BLÉ	POIS	BLÉ	BETT	BLÉ	P DE T	BLÉ
9B	VIEUX HANGAR	DE BUSSY	14	BLÉ	P DE T (7)	BLÉ	BETT	BLÉ	BLE	BLÉ
10	L'ÉPINE ROUGE	DE BUSSY	16	BETT (7)	POIS	P DE T	BLÉ	BETT	BETT	P DE T
11	RAMONA	DE BUSSY	20,05	BLÉ	P DE T (7)	BLÉ	BETT	BLÉ	P DE T	BLÉ
12	SENTE DE NEUILLY	DE BUSSY	5,17	BETT	BLE	P DE T	BETT	BLÉ	P DE T	BLÉ
13	LA CROIX ROUGE	G. MOCQUET	13,14	BLE	P DE T	BLE	BETT	BLÉ (2)	P DE T	BLÉ
14A	LA MARE AUX CANES N	DONCOEUR	9,5	BLÉ	BETT (1)	POIS	BLÉ	ESCOURG	POIS	BLÉ
14B	LA MARE AUX CANES N	DONCOEUR	12	BLÉ	BETT (1)	POIS	BLÉ	BETT (1)	POIS	BLÉ
15	LA MARE AUX CANES C	DONCOEUR	19,5	POIS	BLÉ	BETT (1)	POIS	BLÉ (1)	BETT	BLÉ
16A	LA MARE AUX CANES S	DONCOEUR	12,5	BLÉ	BETT (1)	POIS	BLÉ	BETT (1)	POIS	BLÉ
16B	LA MARE AUX CANES S	DONCOEUR	10,5	BLÉ	BETT (1)	POIS	BETT	BETT (1)	POIS	BLÉ

(1) Agricol 30 t/ha

(2) Fumier 20 t/ha

(3) Vinasse 1,5 t/ha

(4) Vinasse : 2 t/ha

(5) Défécation : 15 t/ha

(6) Corps de meule

(7) Boue d'Hoescht

* Analyses de sol et reliquat d'azote

BETT : betteraves sucrières

ESCOURG : escourgeon

ORGE P : orge de printemps

JACH : jachère

JACH LONG : jachère longue

P DE T : pommes de terre

BLE : blé d'hiver

POIS : pois fourragés

- Les apports de fumure de fond ont toujours lieu avant une culture "exigeante" (betterave, pomme de terre) et après une culture de céréale. Ils se font tous les trois ou quatre ans, en relation avec l'assolement pratiqué par l'agriculteur.

Sur le bassin versant de Vierzy, les principaux assolements rencontrés sont :

blé/pois/blé/betteraves (H. Moquet, H. Muzart) l'orge remplace parfois le blé

blé/betteraves/blé/pommes de terre (H. Muzart, H. de Bussy)

blé/betteraves/pois/blé ou pois/blé/betterave/pois (C. Doncoeur)

Sur le bassin versant d'Erlon, les principales rotations sont les suivantes :

maïs/maïs/betteraves/céréales (G. Legros) céréales : blé le plus souvent, ou orge

maïs/pois/betteraves/céréales (G. Legros) céréales : blé le plus souvent, ou orge

- Les analyses moyennes et détaillées de tous les amendements de fond ont été fournies par les agriculteurs, les fournisseurs, la Chambre d'Agriculture (Collectif, 1994, Chambre d'Agriculture de Picardie) et le laboratoire d'analyses des matières fertilisantes de la Station Agronomique de Laon (tab. I - 4 - 2 - 1 - b, exemples détaillés en annexe 7).

Tableau I - 4 - 2 - 1 - a : Apports moyens de quelques fumures de fond organiques en Kg/T de produit brut (d'après les sources citées ci-dessus)

	mat. organ.	azote (NTK)	phosphore (P ₂ O ₅)	potassium (K ₂ O)	magnésium MgO	calcium CaCO ₃
AGRICEL	230-250	5	1	0,4	0,5	8
Hoechst	107-146	5-7,9	4,5-9,3	nc	nc	161-206
vinasse	350-500	25-40	2	60-80	0,5-1	7
écume	40-100	1,5-3	8-12	0,5-0,6	6-10	200-250
corps de meule	350-500	25-40	2	60-80	0,5-1	7

nc : non communiqué

On ne peut pas doser des formes d'azote ou de phosphore ayant pour origine les fumures de fond organiques. D'une part, parce qu'elles sont difficiles à dissocier des autres sources, d'autre part parce qu'elles sont liées à la minéralisation, processus très aléatoire dans les sols.

* La fumure de fond minérale

Les produits répertoriés sont les suivants (voir le détail par parcelle en annexe 19):

- "Chlorure de potasse" (H. Moquet, J. C. Doncoeur)

La potasse est fournie sous forme d'oxyde de potasse, K₂O, de concentration 60 % (60 unités de K pour 100 kg). Ce produit apporte aussi une petite quantité de chlorures. Ce fait est important à noter car les chlorures sont analysés dans les eaux de ruissellement et utilisés comme indicateurs du temps de contact entre l'eau de pluie et le sol (J. M. Dorioz, INRA). La formulation est solide et la potasse est peu soluble ; les risques d'entraînement par les eaux de ruissellement sont donc réduits.

- "Super 45" ou "Super 46" ou "Superphosphate" (H. Moquet, J. C. Doncoeur)

Ces produits apportent 45 ou 46 % d'acide phosphorique (45 ou 46 unités de P pour 100 kg), une faible quantité de SO₄ et de chaux. Leur formulation est aussi solide, limitant les risques d'entraînement.

- "0,13,26" ou "0,14,42" ou "0,20,20+6" ou "0,14,24+8" (H. de Bussy, G. Legros)

De formulation solide, ces engrais composés apportent dans l'ordre de l'azote, du phosphore, de la potasse et parfois de la magnésie. Par exemple le "0,14,24+8" apporte 0 unité d'azote, 14 unités de P, 24 unités de K et 8 unités de Mg pour 100 kg.

Ils sont apportés annuellement en quantité variable selon les cultures, selon les précédents et selon les sols (voir tab. I - 4 - 2 - 2 - a et annexe 19).

Remarques :

- Comme pour les fumures de fond organiques, les fumures de fond minérales se font avant des cultures "exigeantes" comme la betterave, la pomme de terre ou "moyennement exigeantes" comme le pois et le maïs. Par contre, les agriculteurs font souvent des impasses avant le blé, sauf si un déficit du sol est constaté par analyse, ce qui est très rare. Les agriculteurs font analyser leurs sols environ tous les cinq ans, pour réévaluer les réserves, sauf G. Legros qui se base sur une évaluation des importations et des exportations.

- L'azote est utilisé comme fumure de fond par G. Legros sur les chantiers de récolte de maïs. Après la récolte, vers la mi-novembre, 39 unités d'azote liquide (N39 %) sont épandus pour accélérer la décomposition des fanes. Puis, le tout est enfoui par déchaumage après une dizaine de jours. Pendant cette courte période, l'azote épandu est très sensible à l'entraînement par ruissellement.

I - 4 - 2 - 2 - Fertilisants "printaniers"

Apportés aux cultures de février à mai, il s'agit presque uniquement d'azote. L'azote sous forme liquide a été adopté par presque tous les agriculteurs pour des commodités d'épandage (tous disposent d'un pulvérisateur à rampe de 24 m de large). Il s'agit du N39 % (39 unités d'azote pour 100 l). Néanmoins, certains utilisent encore de l'azote solide (essentiellement N27 % et N33 %). Il s'agit de H. Moquet et de H. Muzart. Les apports d'azote sous forme solide se font uniquement sur céréales en février et début mars. L'azote solide limite les risques de brûlure des jeunes feuilles et est moins rapidement mobilisé par les eaux de ruissellement.

Tableau I - 4 - 2 - 2 - a : Fourchette des apports en N, P, K pour différentes cultures sur les bassins versants, récapitulation des informations fournies par les agriculteurs

	N (*)	P (**)	K (***)
	u/ha/an	u/ha/an	u/ha/an
blé	170-220	50-100	100
orge	120	70-80	80-100
betterave	120-150	70-120	120-290
pomme de terre	150-180	100	280-290
pois	0	60	120
maïs	156	90-100	120

(*) 1 unité d'N correspond par exemple à 2,5 litres de solution nitrée à 39 % ou à 3,7 % d'ammonitrate solide à 27 %.

(**) 1 unité de P correspond par exemple à 1,67 kg de chlorure de potasse à 60 % ou à 7,7 kg de "0,13,26".

(***) 1 unité de K correspond par exemple à 2,2 kg de Super 45 ou 3,85 kg de "0,13,26".

NB : La liste des fertilisants est non exhaustive. Par ailleurs, un complément est aussi être apporté sous forme de boues, vinasses, fumier... L'annexe 19 dresse un bilan de tous les apports en N, P, K et Mg par parcelle, de 1993 à 1995 que ce soit sous forme minérale ou sous forme de fumure de fond.

Remarques :

- Les apports d'azote sur blé (ou orge) se font par apports fractionnés (trois ou quatre apports selon les besoins ; un des agriculteurs à recours au test "Jubil" pour évaluer l'apport le plus juste à faire).

- Paramètres sélectionnés pour analyse :

Des trois types de fertilisants NPK, on a retenu, tout d'abord l'azote, sous forme ammoniacal et nitrique.

La forme nitreuse a été écartée en raison de son caractère éphémère (stade très court dans le cycle de l'azote). La forme ammoniacale, comme la forme nitreuse, est caractérisée par son manque de stabilité et, en général, par de faibles concentrations, mais son rôle dans les phénomènes d'eutrophisation a arrêté notre choix. La forme nitrique, la plus commune et la plus connue, intervient aussi de façon privilégiée dans les processus d'hypertrophisation. De plus, c'est l'un des principaux paramètres de potabilité d'une eau (la célèbre limite de 50 mg/l) et de détermination de la qualité des cours d'eau (grille d'appréciation).

Le phosphore a également été choisi pour son rôle décisif dans l'eutrophisation des cours d'eau. Il a la particularité d'être peu soluble et de se fixer sur les sédiments. C'est souvent sous cette forme fixée, qu'il rejoint les cours d'eau. Il a donc été analysé sous les deux formes : dissous (les orthophosphates représentent la presque totalité du phosphore dissous) et fixé. En fait, on réalise un dosage sur l'eau brute et un sur l'eau filtrée, la différence, donne le phosphore fixé.

Deux autres paramètres annexes sont mesurés.

La conductivité, très bon indicateur de la minéralisation de l'eau, permet d'avoir une idée du temps de contact entre l'eau de pluie et les sols. A titre d'exemple, la conductivité de l'eau de pluie est toujours inférieure à 25 $\mu\text{S}/\text{cm}$, celle des eaux de ruissellement de surface avoisine 100 à 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, celle des eaux de ruissellement subsuperficiel (sur la semelle de labour) peut atteindre 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (mesures 1994-1995).

Dans la même optique, les chlorures sont dosés afin d'évaluer le temps de contact entre les eaux et les sols.

I - 4 - 3 - Le cas plus délicat des produits phytosanitaires

La sélection des produits phytosanitaires à analyser est plus complexe que celle des éléments fertilisants. Cette difficulté est liée à la grande variété des produits commercialisés (plus 3 500 spécialités commerciales), à la variété des matières actives qui les composent (environ 450 matières actives homologuées en France) (BELAMIE et al, 1998) et aux multiples caractéristiques de ces matières actives (description de ces caractéristiques en annexe 8). Sur l'ensemble des deux bassins versants, soit près de 230 ha et six exploitants, on ne recense pas moins de 96 produits différents utilisés entre 1990 et 1995, soit plus de 116 matières actives (liste en annexe 9). Les noms des produits changent fréquemment, mais les matières actives restent sensiblement les mêmes. Quelques exemples de traitements par parcelle sont présentés en annexe 2 et 21.

Pour réaliser la sélection des matières actives à analyser, parmi celles utilisées sur les bassins versants, on a opéré par étapes:

- Dans un premier temps, la méthode des scores a permis de réaliser un premier classement des matières actives basé sur leur persistance, leur toxicité, les quantités épandues et la fréquence de citation dans les textes réglementaires. La solubilité et le Kd (coefficient d'adsorption par les sols) ne sont pas pris en compte, car on s'intéresse tant aux matières solubles que fixées sur sédiments érodés. Cependant ces paramètres sont notés en tant que facteurs explicatifs.

- Dans un second temps, on a extrait de cette liste les matières actives pouvant être analysés par le laboratoire du CIRSEE. Suite à un accord passé avec ce laboratoire, cinq matières actives analysées par une même technique (analyse par extraction liquide-liquide au dichlorométhane, puis séparation détection par couplage Chromatographie gazeuse-spectrométrie de masses) devaient être retenues.

- Le choix final a été réalisé :

- en tenant compte des matières actives faisant l'objet d'une surveillance dans les nappes et les cours d'eau ;
- en essayant dans la mesure du possible de choisir des herbicides, des fongicides et des insecticides ;
- en essayant dans la mesure du possible de les sélectionner dans différentes parcelles du bassin, pour avoir plusieurs longueurs de déplacement et diverses cultures.

Pour les trois dernières années, les matières sélectionnées sont présentées ci-dessous (tab. I - 4 - 3 - a). Les caractéristiques de certaines de ces matières actives sont rappelées en annexe 10.

Tableau I - 4 - 3 - a Les matières actives sélectionnées pour les trois dernières années

1993		1994		1995	
Erlon	Vierzy	Erlon	Vierzy	Erlon	Vierzy
lindane	éthofumesate	lindane	isoproturon	lindane	métamitron
atrazine	chloridazone	atrazine	2,4 mcpa	atrazine	chloridazone
isoproturon	isoproturon	isoproturon	manèbe	iprodone	isoproturon
métamitron	métamitron	métamitron	métamitron	2,4 mcpa	2,4 mcpa
prochloraze	deltaméthrine	chloridazone	chloridazone	deltaméthrine	endosulfan

I - 5 - Suivi des parcelles

Parallèlement aux enquêtes menées auprès des agriculteurs et concernant le travail du sol, un certain nombre d'observations de terrains a été réalisé. Ces observations doivent servir à interpréter les analyses et expliquer les ruissellements. Elles concernent plusieurs points : l'occupation du sol, les états de surface, le taux de couverture du sol, etc. Les critères des relevés sont rappelés ci-dessous.

I - 5 - 1 - Occupation du solOS : occupation du sol

Abréviations	Définitions
L	labour
CR	chantier de récolte
C	déchaumé
D	chaume
S	semis
BH	blé d'hiver
BETT	betteraves
O	orge
E	escourgeon
BP	blé de printemps
C	colza
L	lin
PDT	pommes de terre
P	pois
JC	jachère cultivée
JN	jachère non-cultivée
M	maïs
H	haricots

I - 5 - 2 - Etats de surface des parcelles : rugosité et battanceR : rugosité

Code	Dénivelé	Exemples
5	inférieur à 1 cm	semis très battu, chantier de récolte très tassé,
4	1 à 3 cm	semis battu ou roulé, lit de semence affiné,
3	3 à 8 cm	semis motteux et très motteux, déchaumage sans résidus,
2	8 à 15 cm	déchaumage avec paille, labour fin,
1	plus de 15 cm	labour grossier

CSt : croûte structurale et CSd croûte sédimentaire

	CSt	CSd
1 (F0)	CSt sur 0 % à 50 % de la surface	CSd sur 0 % de la surface
2 (F1)	CSt sur 50 à 100 % de la surface	CSd sur 0 % de la surface
3 (F1-2)	Cst sur 50 à 100 % de la surface	CSd 0 à 50 % de la surface
4 (F2)	CSt sur 25 à 50 % de la surface	CSd sur 50 à 75 % de la surface
5 (F2+)	Cst sur 0 à 25 % de la surface	CSd sur 75 à 100 % de la surface

F0 : sol récemment travaillé, fragmentaire, poreux et meuble

F1 : premier stade de la dégradation du sol, croûte structurale développée simultanément sur toute la surface du sol

F1-2 : extension des croûtes sédimentaires qui apparaissent d'abord dans les micros dépressions, puis s'étendent progressivement

F2 et F2+ : croûtes sédimentaires en contact

(LUDWIG, 1992, d'après BOIFFIN)

I- 5 - 3 - Végétation : stade de développement et taux de couverture**Vst : végétation stade de développement**

Codes	Céréales	Betteraves	Chaume et déchaumé
5	semis	semis	pailles et déchaumé
4	2 feuilles	2 feuilles	pailles et déchaumé et repousses
3	10-15 cm	6 feuilles	
2	tallage	petite racine	chaumes
1	épis	belle racine	chaumes et repousses
0	grain	grosse racine	

(suite)

Codes	Pois protéagineux	Pommes de terre	Maïs
5	semis	semis	semis
4	levée	levée	levée
3	fleurs	10-15 cm	50 cm - 1 m
2	gousses	début fleurs	épis
1	grains	fin fleurs	grains laitoux
0	grains secs	défanage	grains secs

Vc : végétation taux de couverture du sol

Codes	Taux de couverture du sol
5	moins de 5 %
4	5 à 10 %
3	10 à 50 %
2	50 à 90 %
1	90 à 100 %

I - 5 - 4 - Traces de roue et d'érosion**TR : traces de roues de tracteurs**

Codes	Traces
1	aucune
2	peu marquées
3	marquées localement
4	marquées sur une grande partie de la parcelle
5	très marqués à chaque passage de roues

F : fourrières

1 : non
2 : oui

R : ruissellement observé depuis le dernier passage (et localisation)

1 : non
2 : oui

Travaux observés

1 : non
2 : oui

I - 5 - 5 - Combinaison des facteurs

Le SIG permet, par exemple, de combiner les facteurs rugosité, occupation du sol, développement de la végétation, mais aussi pentes, textures de surface, etc.

Tableau I - 5 - a : Exemple de combinaison entre les facteurs battance et développement de la végétation

1 : très faible potentialité à ruisseler
5 : très forte potentialité à ruisseler

		battance				
		1	2	3	4	5
dévelop- -pement de la végétation	1	1	1	2	2	3
	2	1	2	2	3	3
	3	2	2	4	4	4
	4	2	3	4	5	5
	5	3	3	4	5	5

Tableau I - 5 - b : Exemple de combinaison entre les facteurs occupation du sol et rugosité

1 : très faible potentialité à ruisseler
 5 : très forte potentialité à ruisseler
 - : situation très improbable

		rugosité				
		1	2	3	4	5
occu- -pation du sol	sol nu	5	4	3	2	1
	déchaumé	-	3	2	1	-
	chaume	4	2	4	-	-
	jachère cultivée	4	3	2	-	-
	jachère non-cultivée	3	2	1	-	-
	blé d'hiver	4	3	2	-	-
	escourgeon	4	3	2	-	-

Tableau I - 5 - c : Exemple de combinaison entre les facteurs texture de surface et rugosité

1 : très faible potentialité à ruisseler
 5 : très forte potentialité à ruisseler

		texture de surface		
		A, AL, LL	LAS, LA	LS, LM, SL
		1	2	3
rugosité	1	1	1	1
	2	1	1	2
	3	2	2	3
	4	2	3	4
	5	3	4	5

Ces observations ont permis de réaliser des schémas de synthèse, sorte de calendrier représentant l'occupation du sol, le développement de la végétation, les états de surface, le travail du sol et les traitements. Les résultats globaux sont figurés en annexe 21. Elles ont aussi abouti à la présentation de cartes (2ème Partie, fig. II - 1 - 2 - 5 - a à e).

II - Trois années de mesure : du ruissellement, quand, comment, pourquoi ?

II - 1 - Fréquence des ruissellements et facteurs déclenchants

Les deux bassins versants sont naturellement bien drainés. Dans ces conditions, aucun ruissellement lié à une saturation du niveau sus-jacent aux couches imperméables n'a été observé. Par contre, les ruissellements peuvent être consécutifs à une saturation de la couche superficielle travaillée ou à une dégradation de la structure fragmentaire superficielle. Il existe donc deux situations engendrant du ruissellement liées, entre autres, aux conditions pluviométriques.

II - 1 - 1 - Des ruissellements plus fréquents à Erlon qu'à Vierzy

Rappelons un constat évoqué auparavant : il est plus rare d'observer un ruissellement à Vierzy, en région de plateau, qu'à Erlon, en région de colline (ANGELIAUME, et al, 1995). Sur la période étudiée, février 1993 à décembre 1995, on a observé six "événements" de ruissellement à Vierzy, c'est-à-dire jours ou groupes de jours où il y a eu un écoulement (14-15 octobre 1993, 13 décembre 1993, 20-21 décembre 1993, 3 janvier 1994, 25-28 janvier 1995, 11 juillet 1995). Sur la même période les ruissellements dénombrés à Erlon sont supérieurs à 100.

II - 1 - 1 - 1 - Répartition saisonnière des ruissellements

Sur les deux sites, des ruissellements peuvent se produire en toute saison (tab. II - 1 - 1 - a, page suivante). Toutefois à Vierzy, les ruissellements ont lieu plus fréquemment en automne-hiver. En été, ils sont beaucoup plus rares, car liés à de très violents orages. A Erlon, notablement plus nombreux, ils ont lieu en toute saison.

Les petits ruissellements étant très fréquents à Erlon, seuls les ruissellements dont le débit instantané maximum est supérieur à 1 l/mn et dont le volume total écoulé est supérieur à 500 l sont cités. La même règle a été adoptée à Vierzy. Toutefois, les petits ruissellements y sont très rares. Seulement trois cas ont été relevés entre 1993 et 1995 : 25-28 janvier 1995, 18-20 avril 1995 et 22-24 décembre 1995. Ces seuils sont apparus nécessaires pour différencier les ruissellements notables des ruissellements que nous appellerons de "proximité". En effet, certains écoulements liés à un fort tassement du sol autour de la station, à un début de ruissellement dans une trace de roue, etc. se produisent. On ne peut considérer qu'il s'agisse de vrai ruissellement mettant l'ensemble du bassin à contribution. Ils ne figurent donc pas dans le tableau.

Tableau II - 1 - 1 - a : Répartition saisonnière des ruissellements sur les deux sites

1993 - 1994 - 1995	Erlon	Vierzy
Printemps	30 avril 93 28 mai 93 4 avril 94 18 mai 94 24 mai 94 2 juin 94 4 juin 94	
Eté	24 juillet 94 28 juillet 94 9-13 août 94 19 août 94 6-7 août 95 23 août 95 7-9 septembre 95 11 septembre 95 25 septembre 95 27 septembre 95	11 juillet 95
Automne	10 novembre 93 13-15 novembre 93 8 décembre 1993 10-14 décembre 93 15-18 décembre 93 19-21 décembre 93	14-15 octobre 93 13 décembre 93 20 décembre 93 20-21 décembre 93
Hiver	12 janvier 93 22-26 décembre 93 4-5 janvier 94 10-12 janvier 94 13-16 janvier 94 20 janvier 94 25 janvier 95 29 janvier 95 10-12 février 95 5 mars 95	3 janvier 94 25 janvier 95

Ainsi, les ruissellements sont beaucoup plus nombreux à Erlon qu'à Vierzy. Une pluviométrie différente pourrait apparaître comme un facteur explicatif de ce surnombre.

II - 1 - 1 - 2 - Hétérogénéité spatio-temporelle des pluies entre Erlon et Vierzy

Appartenant au domaine climatique océanique tempéré, la région présente une pluviométrie relativement faible, mais où la variation intra-annuelle et inter-annuelle peut être élevée. De même, la variabilité spatiale est loin d'être négligeable. Cette donnée d'entrée est à tel point primordiale qu'une cartographie fine des champs de pluie est même parfois réalisée (AMBROISE et al, 1995 ; ADJIZIAN-GERARD, AMBROISE, 1995 ; HUMBERT, 1995) afin de montrer et de prendre en compte les relations étroites liant la topographie locale aux précipitations. Cette variabilité spatiale s'observe aussi bien à grande qu'à petite échelle, en toute saison et en particulier en période printanière et estivale (intensités très variables). C'est pourquoi l'installation d'un pluviographe sur le site de chacune des stations a été indispensable (localisation des appareillages de mesure sur les BVEC, 2ème Partie fig. I - 1 - 2 - 1 - e et I - 1 - 2 - 2 - d).

Globalement, plus on se déplace vers le nord-est du département, plus la lame d'eau annuelle est importante, en relation avec une augmentation du relief vers la Thiérache. Ainsi, il doit pleuvoir davantage sur le BVEC d'Erlon que sur celui de Vierzy.

*** Comparaison des pluies à Erlon et à Vierzy**

Sur la période des trois années considérées, il a plu davantage à Erlon qu'à Vierzy : 2 022,8 mm contre 1 986,4 mm. La différence n'est pas importante et n'est pas toujours en faveur d'Erlon (tab. II - 1 - 1 - a).

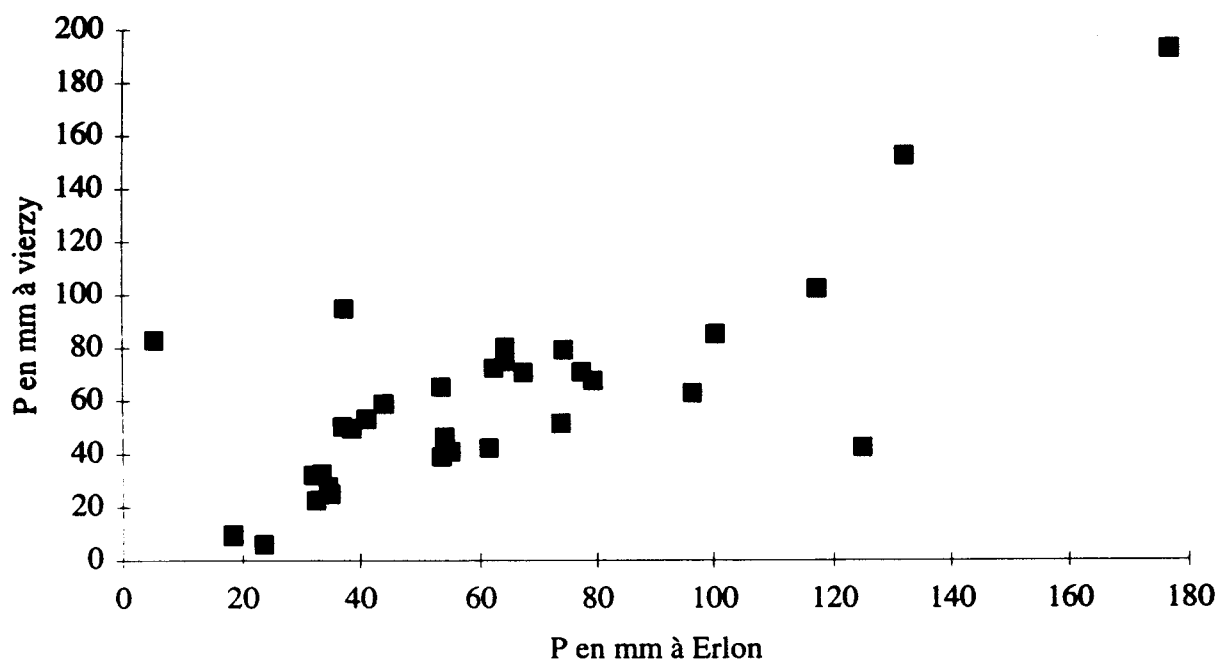
Tableau II - 1 - 1 - 2 - a : Comparaison des pluies annuelles à Erlon et à Vierzy (en mm)

	Erlon	Vierzy
1993	607,2	654,9
1994	680,1	599,0
1995	735,5	732,5
total	2 022,8	1 986,4

La corrélation existant entre les précipitations mensuelles sur les deux sites pour la même période (1993 à 1995) montre pourtant une tendance à une pluviométrie supérieure à Erlon (fig. II - 1 - 1 - a).

Figure II - 1 - 1 - 2 - a : Pluies mensuelles à Vierzy en fonction des pluies mensuelles à Erlon

$$y = 0,78 x + 12,14 \text{ et } r^2 = 0,58$$



De plus, la lame d'eau journalière moyenne est légèrement supérieure à Erlon : 4,7 mm contre 4 mm. Toutefois, les variations de cette lame d'eau sont souvent importantes (tab. II - 1 - 1 - 2 - b) et les pluies journalières n'apparaissent pas corrélées (fig. II - 1 - 1 - 2 - b).

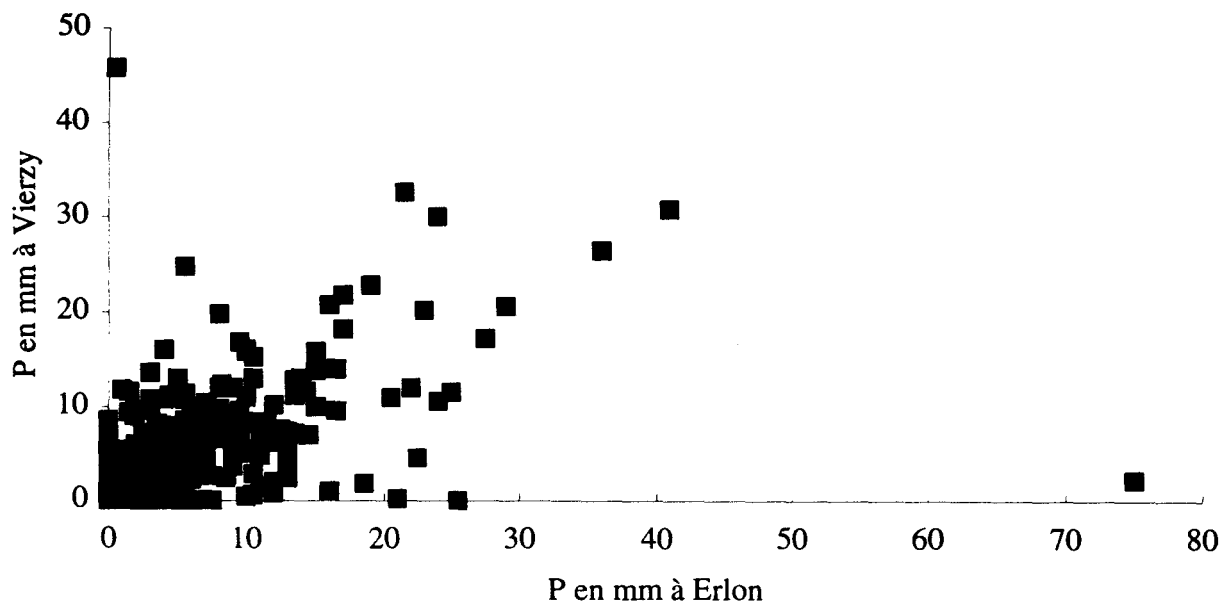
Tableau II - 1 - 1 - 2 - b : Comparaison des pluies journalières à Erlon et à Vierzy pour la période 1993 - 1994 - 1995

	Erlon station			Vierzy station			Erlon château d'eau		
	précipitations BV en mm	intensité max en 1 mn en mm/h	intensité max en 1 h en mm/h	précipitations BV en mm	intensité max en 1 mn en mm/h	intensité max en 1 h en mm/h	précipitations BV en mm	intensité max en 1 mn en mm/h	intensité max en 1 h en mm/h
moyenne	4,7	12	2,4	4,0	10	1,3	2,6	6	1,4
écart type	6,5	24	4,7	5,2	16	1,9	4,6	18	3,2
médiane	2,5	6	1,5	2,2	3	0,5	0,8	0,0	0,5
maximum	75,0	210	72,6	45,8	108,0	17,6	53,7	192	50,8
minimum	0,1	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
nombre de valeurs	426	367	367	493	491	488	391	391	391
variance	42,6	6	22,0	27,4	245	3,8	21,3	6	10,3
nombre de jours sans pluie	544			490			204		
nombre de jours sans mesure	33			21			409		
nombre total de jours considérés	1 004			1 004			1 004		

Nota bene : 0,0 indique une valeur inférieure à 0,01

Figure II - 1 - 1 - 2 - b : Pluies journalières à Vierzy en fonction des pluies journalières à Erlon

$$y = 0,74 x + 0,61 \text{ et } r^2 = 0,41$$



La période de mesures sur les sites étant trop courte pour pousser plus loin les comparaisons, la pluviométrie de deux stations Météo-France a été comparée pour la période 1960-1995 : Pouilly-sur-Serre proche d'Erlon et Parcy-et-Tigny, près de Vierzy. Ces stations ont des caractéristiques topographiques voisines des deux sites quant à l'altitude et l'exposition.

*** Comparaison des pluies à Parcy-et-Tigny et à Pouilly-sur-Serre**

Sur 35 ans, la pluviométrie annuelle est globalement supérieure à Parcy-et-Tigny qu'à Pouilly-sur-Serre (fig. II - 1 - 1 - 2 - 2 - c). Mais ce n'est pas toujours le cas : en 1982, il a plu 864 mm à Pouilly-sur-Serre et 649 mm à Parcy-et-Tigny, soit 215 mm de plus. Ceci s'explique par des mois d'hiver pluvieux (en janvier, 87 mm contre 69 mm et en mars, 90 mm contre 47 mm) et par d'importantes averses estivales (en juin, 132 mm contre 62 mm). Sur ces 35 ans, on n'a pas noté d'augmentation significative de la pluviométrie.

La différence de pluviométrie entre les deux sites est accentuée pour certains mois. De mai à septembre, l'hétérogénéité spatiale des pluies est davantage prononcée (tab. II - 1 - 1 - 2 - c, ci-après).

Figure II - 1 - 1 - 2 - c : Pluies annuelles à Pouilly-sur-Serre en fonction des pluies annuelles à Parcy-et-Tigny de 1960 à 1995

$$y = 0,73 x + 243,8 \text{ et } r^2 = 0,58$$

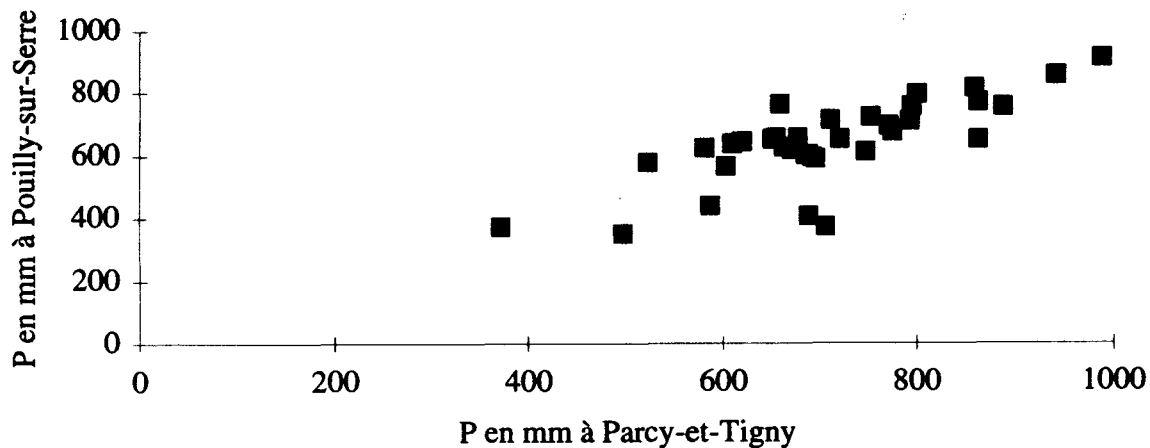


Tableau II - 1 - 1 - 2 - c : Pluies mensuelles moyennes et corrélation de 1960 à 1995

$y = a x + b$ y : Pouilly-sur-Serre x : Parcy-et-Tigny	a	b	r^2
janvier	0,98	0,29	0,92
février	0,95	0,17	0,92
mars	0,99	-0,25	0,87
avril	1,06	-1,58	0,88
mai	0,95	0,22	0,67
juin	0,65	0,16	0,57
juillet	0,76	-0,006	0,55
août	0,96	-0,77	0,72
septembre	0,95	0,37	0,69
octobre	1,01	-3,13	0,91
novembre	1,13	0,09	0,82
décembre	0,96	8,39	0,89
années	0,73	244	0,58

Figure II - 1 - 1 - 2 - d : Pluies mensuelles de janvier de 1960 à 1995

$$y = 0,98 x + 0,29 \text{ et } r^2 = 0,92$$

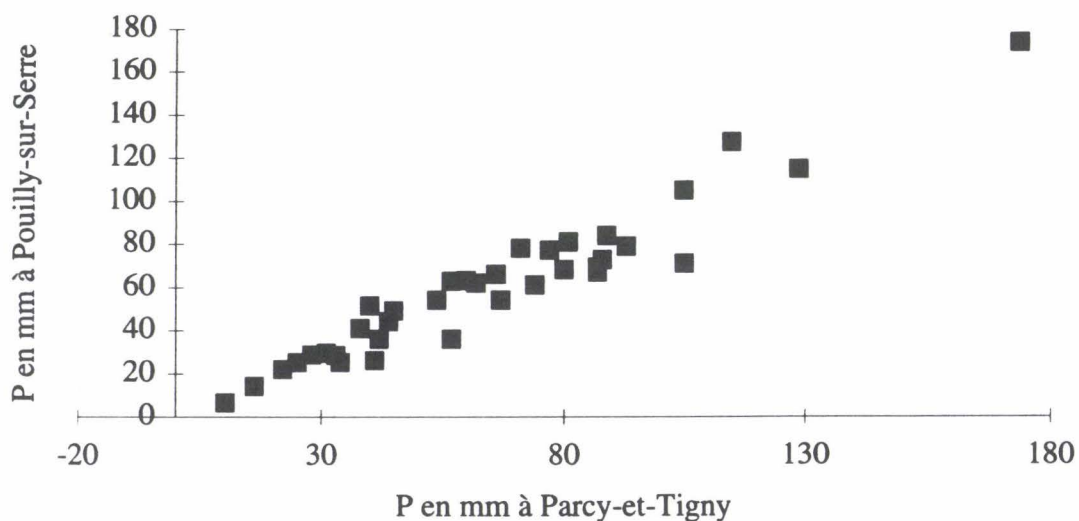
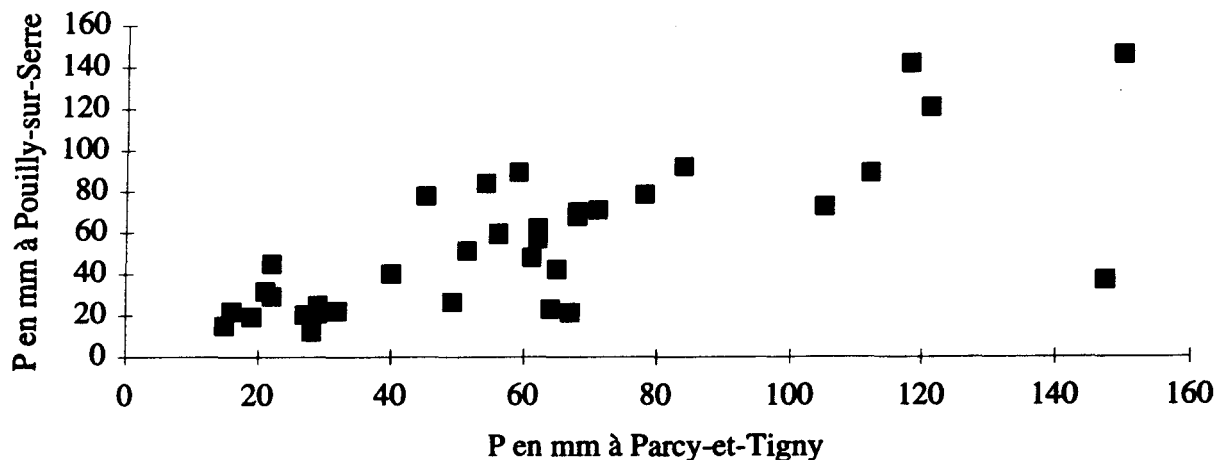


Figure II - 1 - 1 - 2 - e : Pluies mensuelles de juillet de 1960 à 1995

$$y = 0,76 x - 0,006 \text{ et } r^2 = 0,55$$



Cette hétérogénéité spatiale est toute relative, car la répartition des pluies semble aussi très variable à l'échelle de quelques centaines de mètres.

* Comparaison des pluies à la station d'Erlon et au château d'eau d'Erlon

Deux pluviographes sont installés sur le BVEC d'Erlon à une distance d'environ 800 m (2ème partie, fig. I - 1 - 2 - e) : l'un à l'exutoire, l'autre sur le haut du bassin, au château d'eau(*).

La comparaison des pluies annuelles, mensuelles et même journalières montre une très nette différence. Il pleut nettement moins sur la partie haute que sur la partie basse du bassin.

L'aval reçoit 29 % de précipitations de plus que l'amont (WICHEREK et al, 1993). Cette différence est accentuée lors des orages.

(*) La fréquence de basculement des pluviographes est différente : 0,5 mm à la station et 0,2 mm au château d'eau. Or il a été montré qu'un pluviographe plus sensible (0,2 mm) tend à sous-estimer les lames d'eau tombées avec une très forte intensité et celles tombées de façon très éparées (F. Grégoire, comm. orale). Pour de fortes intensités, il y a moins de basculement qu'il ne devrait y en avoir et pour des pluies très espacées dans le temps il peut y avoir évaporation. Pour une faible pluie, le pluviographe à 0,5 mm sous-estime plus que celui à 0,2 mm et, inversement, pour une forte pluie, le pluviographe à 0,2 mm sous-estime plus que celui à 0,5 mm. Pour vérifier la validité des données, les pluviographes ont été étalonnés à l'aide d'un volume d'eau connu (G. Chêne, comm. orale). Par ailleurs, les résultats enregistrés sont comparés avec ceux des relevés hebdomadaires du pluviomètre (G. Chêne, comm. orale). Toutefois, d'éventuelles petites inexactitudes ne suffisent pas à expliquer les différences de lame d'eau entre ces deux sites distants de quelque 800 m. Par exemple, lors de l'orage du 8 mai 1995, on a relevé 73 mm au château d'eau et 102,5 mm à la station.

Contrairement à ce que l'on pourrait penser, cet écart est plus important en automne-hiver (janvier/février/mars et octobre/novembre/décembre), périodes où les précipitations sont maximales (45 à 46 % de plus). Cette différence est moins importante en été et au printemps (environ 20 %). Toutefois, lors d'une forte averse à caractère orageux la différence de lame d'eau peut être considérable, ainsi que l'intensité (tab. II - 1 - 1 - 2 - e).

Tableau II - 1 - 1 - 2 - d : Pluies à la station d'Erlon et au château d'eau d'Erlon - moyennes trimestrielles (d'après WICHEREK et al, 1993)

<i>Périodes</i>	<i>Amont</i> (en mm)	<i>Aval</i> (en mm)	<i>Aval /</i> <i>Amont</i>
du 01-07-89 au 30-09-89	125,4	136,5	1,09
du 01-10-89 au 31-12-89	127,1	174,0	1,37
du 01-01-90 au 31-03-90	135,3	186,5	1,38
du 01-04-90 au 30-06-90	143,5	163,5	1,14
du 01-07-90 au 30-09-90	85,7	107,5	1,25
du 01-10-90 au 31-12-90	156,0	222,0	1,42
du 01-01-91 au 31-03-91	109,8	156,5	1,43
du 01-04-91 au 30-06-91	92,8	119,0	1,28
du 01-07-91 au 30-09-91	115,0	130,0	1,13
du 01-10-91 au 31-12-91	119,3	165,0	1,38
du 01-01-92 au 31-03-92	101,4	147,0	1,45
du 01-04-92 au 30-06-92	196,2	235,5	1,20
du 01-07-89 au 30-06-92	1507,5	1943,0	1,29

Tableau II - 1 - 1 - 2 - e : Pluies à la station d'Erlon et au château d'eau d'Erlon - pluies journalières supérieures à 10 mm - comparaison des lames d'eau et des intensités

jour	station	station	station	station	chateau d'eau	chateau d'eau	chateau d'eau	chateau d'eau
	précipit	intensité max	intensité max	intensité max	précipit	intensité max	intensité max	intensité max
	en mm	en 1 mn	en 10mn	en 1 h	en mm	en 1 mn	en 10 mn	en 1 h
		en mm	en mm	en mm		en mm	en mm	en mm
06-août-95	75,0	3,5	25,0	72,6	53,7	2,6	16,7	50,8
20-déc-93	41,0	0,5	4,0	7,9	30,7	0,5	3,8	6,6
05-oct-93	36,0	1,0	6,5	17,6	23,7	0,6	3,6	10,4
07-août-95	27,5	2,0	8,3	24,6	19,3	1,5	7,1	17,1
14-oct-93	23,0	0,5	2,0	4,3	15,4	0,3	1,3	3,4
28-mai-93	21,0	1,0	5,3	14,1	15,2	0,8	3,2	10,4
23-août-95	17,0	2,5	14,3	16,8	15,1	3,2	13,6	15,1
30-avr-93	18,5	1,0	5,8	16,8	14,7	0,7	4,1	13,7
16-jan-94	13,0	0,1	0,5	2,3	14,7	0,1	0,5	2,6
12-jan-93	20,5	0,2	1,1	4,6	14,4	0,1	0,9	3,4
27-jul-93	22,0	0,5	2,0	6,2	14,3	0,3	1,6	4,6
24-sep-95	13,5	0,5	1,8	5,5	12,6	0,0	1,8	5,7
10-déc-93	15,0	0,3	1,8	8,8	12,5	0,2	1,6	7,4
04-avr-94	24,0	0,1	0,9	4,4	11,9	0,2	0,8	2,0
07-sep-95	15,0	0,5	1,8	5,3	11,3	0,8	2,3	4,6
02-jun-94	16,5	0,5	2,0	3,2	10,7	0,2	1,0	1,9
19-déc-93	20,5	0,2	1,5	6,3	10,5	0,1	0,9	3,9
12-déc-93	16,0	0,1	0,7	3,3	10,1	0,1	0,5	2,2
08-sep-95	17,0	0,5	2,8	5,1	9,5	0,4	1,5	3,1
15-jul-93	13,0	0,5	3,4	6,1	8,5	0,5	2,1	4,0
11-jan-93	12,5	0,1	1,0	2,0	6,6	0,2	0,8	1,3
17-déc-93	12,0	0,1	0,6	2,8	7,5	0,1	0,4	2,1
14-jul-93	11,0	0,3	1,8	4,4	6,4	0,2	1,0	2,6
22-août-93	11,0	0,5	4,5	9,2	9,8	0,8	4,0	8,1
04-oct-93	11,0	0,1	1,1	2,8	6,2	0,1	0,8	1,6
24-avr-94	10,5	0,5	3,7	5,0	8,0	0,7	2,3	3,0
03-jul-95	10,5	1,0	5,2	7,2	8,1	0,8	3,8	4,9
19-jul-93	10,0	0,5	3,1	4,5	6,4	0,4	1,7	2,2
13-oct-93	10,0	0,5	1,4	3,5	9,2	0,2	1,4	3,2

Cette différence de pluviométrie entre la station et le château d'eau s'explique essentiellement par le relief : les perturbations suivent la trajectoire des vallées. L'orientation de la vallée, Ouest-Est, est particulièrement favorable à la canalisation des perturbations qui suivent cet axe jusqu'à la Thiérache.

Vis à vis du déclenchement du ruissellement et de l'érosion, si l'on ne considère que les pluies de la station qui sont presque toujours supérieures à celles observées sur le haut du bassin, cela peut entraîner des erreurs d'interprétation pour plusieurs raisons :

- on sous-estime le coefficient de ruissellement, car on considère un volume d'eau tombé supérieur au volume réel.

- on considère - dans des conditions uniformes de sols et cultures - que le ruissellement provient de toutes les parcelles. Bien souvent, on constate l'existence d'une zone de formation du ruissellement (sur les zones planes amont) qui alimente abondamment en eau une zone de concentration du ruissellement et d'incision. Dans le cas présent le ruissellement provenant des versants proches de l'exutoire doit être plus important que celui provenant de l'amont du bassin.

Cette hétérogénéité est remarquable, car elle est présente sur un petit espace et non négligeable en volume. Dans l'étude précise des événements de ruissellement, les deux sources de données sont citées, mais ce sont la lame d'eau et les intensités mesurées à la station qui sont retenues pour les calculs de coefficients de ruissellement et les interprétations. En effet, on considère que la lame d'eau qui tombe à la station est aussi celle reçue par les sols les plus proches de l'exutoire, c'est-à-dire les sols les plus susceptibles de contribuer aux ruissellements. De plus, le pluviomètre de la station confirme en permanence les lames d'eau enregistrées par le pluviographe.

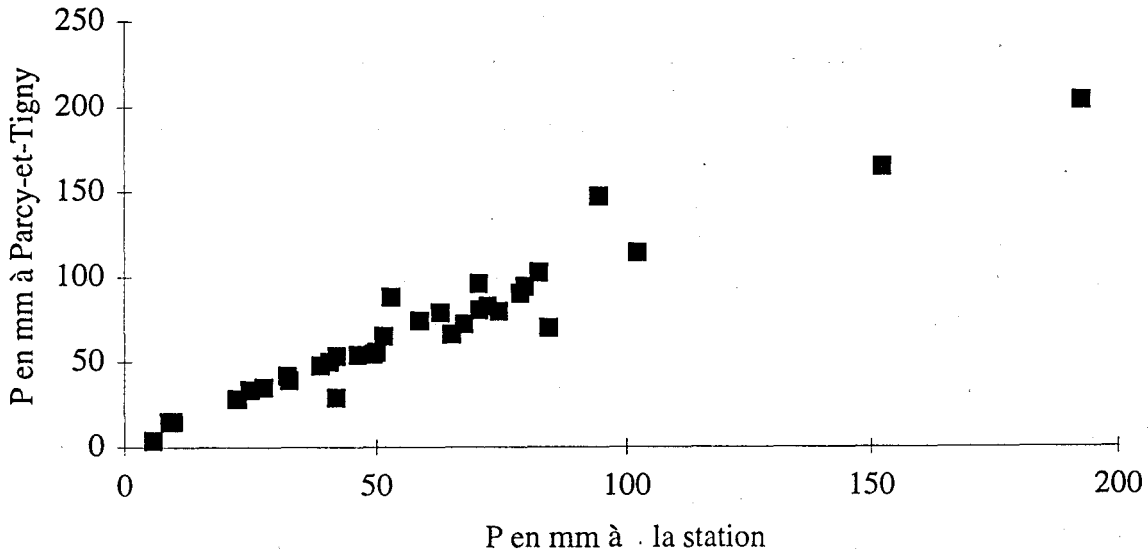
* Comparaison des pluies à la station de Vierzy et à Parcy-et-Tigny

Un pluviographe (et un pluviomètre) à la station (extrémité ouest) et un pluviomètre à Parcy-et-Tigny (extrémité est) équipent le BVEC (fig. I - 1 - 2 - 2 - d). Que l'on considère les pluies mensuelles ou journalières (*), il pleut plus à Parcy-et-Tigny. Cette différence s'explique probablement par la situation protégée du pluviographe de la station et par une altitude supérieure du pluviomètre de Parcy-et-Tigny. Les données enregistrées à Parcy-et-Tigny sont malheureusement moins intéressantes car elles résultent d'un relevé manuel, donc sans aucune valeur d'intensité.

(*) La comparaison des pluies journalières est délicate car les relevés manuels sont réalisés tous les jours à 8 heures du matin. Les valeurs obtenues à la station s'étalent de 0 à 24 heures. Il faut donc reprogrammer la station automatique pour obtenir un cumul de 8 heures à 8 heures le lendemain.

Figure II - 1 - 1 - 2 - f : Pluies mensuelles à Parcy-et-Tigny en fonction des pluies mensuelles à la station de Vierzy

$$y = 0,86 x - 0,76 \text{ et } r^2 = 0,93$$



Il existe donc une nette différence de pluviométrie entre les deux sites, ainsi qu'une forte hétérogénéité locale qui ne facilite pas les comparaisons entre Erlon et Vierzy.

La pluviométrie, généralement supérieure à Erlon, ne constitue pourtant pas le facteur explicatif du surplus de ruissellements observé sur ce site. On le constate dès que l'on observe les pluies nécessaires au déclenchement du ruissellement. Il existe en effet des conditions limites (seuils de pluie minimale) au déclenchement du ruissellement propre à chacun des sites.

II - 1 - 2 - Des seuils de pluie nécessaires au déclenchement du ruissellement

En comparant les précipitations où des ruissellements ont été observés (ensemble des résultats en annexe 11), on constate l'existence de seuils de pluie minimale nécessaires au déclenchement du ruissellement. Ces seuils concernent les pluies journalières, les pluies antérieures cumulées ou les intensités et sont modulés en fonction de l'occupation du sol.

II - 1 - 2 - 1 - Une lame d'eau journalière supérieure pour le ruissellement. Vierzy

L'observation des résultats (annexe 11 et des figures II - 1 - 2 - 1 - a et b) montre qu'à Erlon, les ruissellements se déclenchent pour des précipitations très variables, quelques millimètres suffisent. Alors qu'à Vierzy, les ruissellements se déclenchent en général pour des lames d'eau supérieures à 16 mm journaliers.

A Erlon, la situation est beaucoup moins nette qu'à Vierzy. Pour des conditions favorables d'état de surface (peu de labour, battance, culture peu développée), une lame d'eau de 20 mm peut déclencher un ruissellement, mais ce n'est pas toujours le cas. Par ailleurs, quelques millimètres suffisent parfois à entraîner un ruissellement notable, comme le 10 février 1995 (4 mm, 0,5 m³) ou le 23 décembre 1993 (3mm, 11 m³), alors qu'une pluie 24 mm le 22 janvier 1995 n'entraîne pas de ruissellement. Toutefois, une grande partie des ruissellements se déclenchent pour les hauteurs d'eau inférieures à 16 mm, valeur qui semble être un minimum pour Vierzy.

Figure II - 1 - 2 - 1 - a : Pluies journalières en mm à Erlon de 1993 à 1995 et dates des ruissellements (légende ci-après)

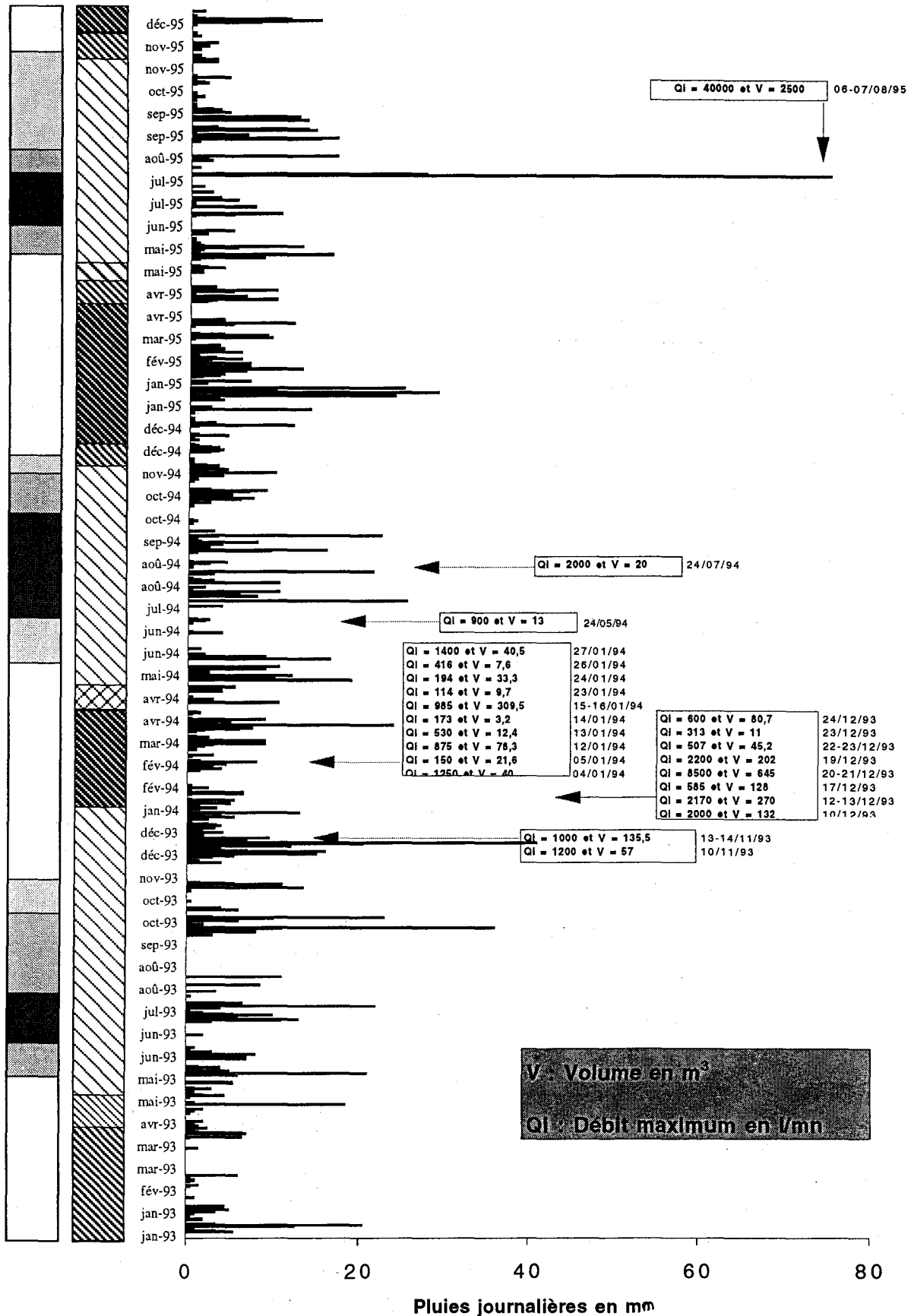
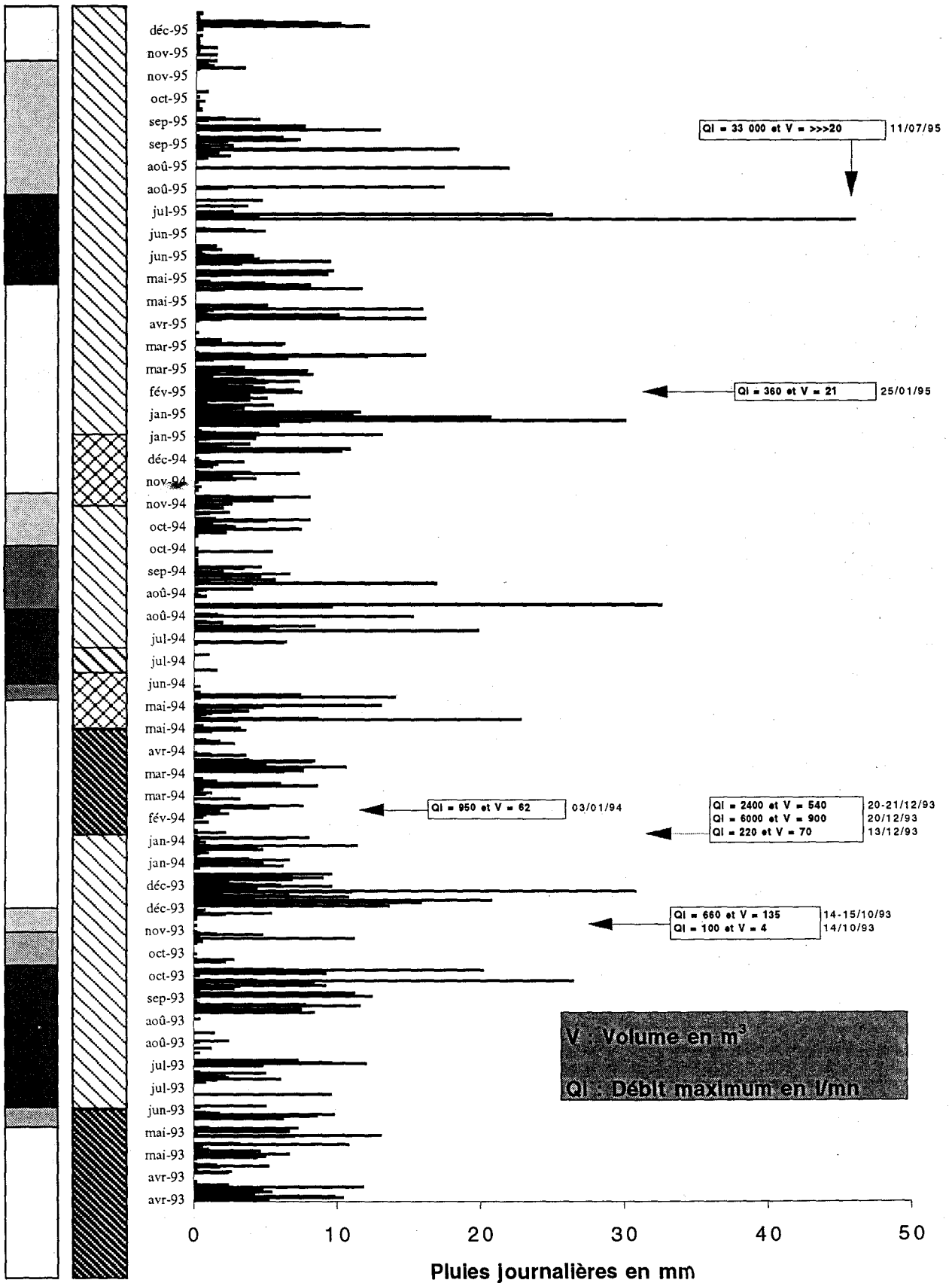


Figure II - 1 - 2 - 1 - b : Pluies journalières en mm à Vierzy de 1993 à 1995 et dates des ruissellements
(légende ci-après)







Légende :






Le graphique de droite reprend les résultats figurant en annexe 11.

Les deux colonnes de gauche constituent une synthèse des résultats présentés en annexe 21. La taille réduite du document fait que les dates de changements d'états ne sont pas exactement placées. Pour plus de précisions, on peut se reporter à l'annexe.

Développement du couvert végétal

	+ de 50 % de la surface du BV densément couvert
	+25 à 50 % de la surface du BV densément couvert
	0 à 25 % de la surface du BV densément couvert
	0 % de la surface du BV densément couvert

Etats de surface

	+ de 50 % de la surface du BV à très forte rugosité (labour)
	0 à 50 % de la surface du BV à très forte rugosité (labour)
	+ 50 % de la surface du BV ni à forte rugosité, ni fortement battante (semis plus ou moins récent)
	0 à 50 % de la surface du BV battante ou fortement tassés par les récoltes
	+ de 50 % de la surface du BV battante ou fortement tassés par les récoltes

II - 1 - 2 - 2 - Un cumul des pluies antérieures indispensable ou une forte lame d'eau, Vierzy

A Vierzy comme à Erlon, la lame d'eau nécessaire au ruissellement diminue alors que le total des pluies antérieures cumulées augmente (récapitulation des résultats en annexe 12).

Mais ce constat est plus marqué pour Vierzy. Sur la période considérée, une averse de plus de 50 mm entraîne toujours un ruissellement à Vierzy quelle que soit la pluie antérieure (cas du 11 juillet 1995, 103 mm, 10,5 mm sur les dix jours précédents à notre station). Des ruissellements antérieurs à la période d'étude et signalés par les agriculteurs répondent aussi à ce critère. Par exemple, le 11 janvier 1993, un ruissellement a été observé pour une pluie de 51,7 mm et un cumul de 13,9 mm les dix jours précédents. Le 8 mai 1968, la commune a été envahie par une coulée consécutive à une lame d'eau de 48 mm à Parcy-et-Tigny. Le 16 mai 1988, elle a de nouveau été sinistrée suite à un orage de 40 mm à Parcy-et-Tigny, 60,8 mm à la sucrerie de Vierzy ; le point fort de l'orage étant localisé sur Serches (77 mm) et Ciry (110 mm).

Ce seuil de 40-50 mm lors de l'averse est indispensable (fig. II - 1 - 2 - 2 - a). En effet, plusieurs orages avec des intensités marquées, mais dont la lame d'eau était inférieure à 40 mm, n'ont entraîné aucun ruissellement : 19,8 mm le 28 juillet 1994, 22,8 mm le 14 mai 1994 et 32,6 mm le 19 août 1994.

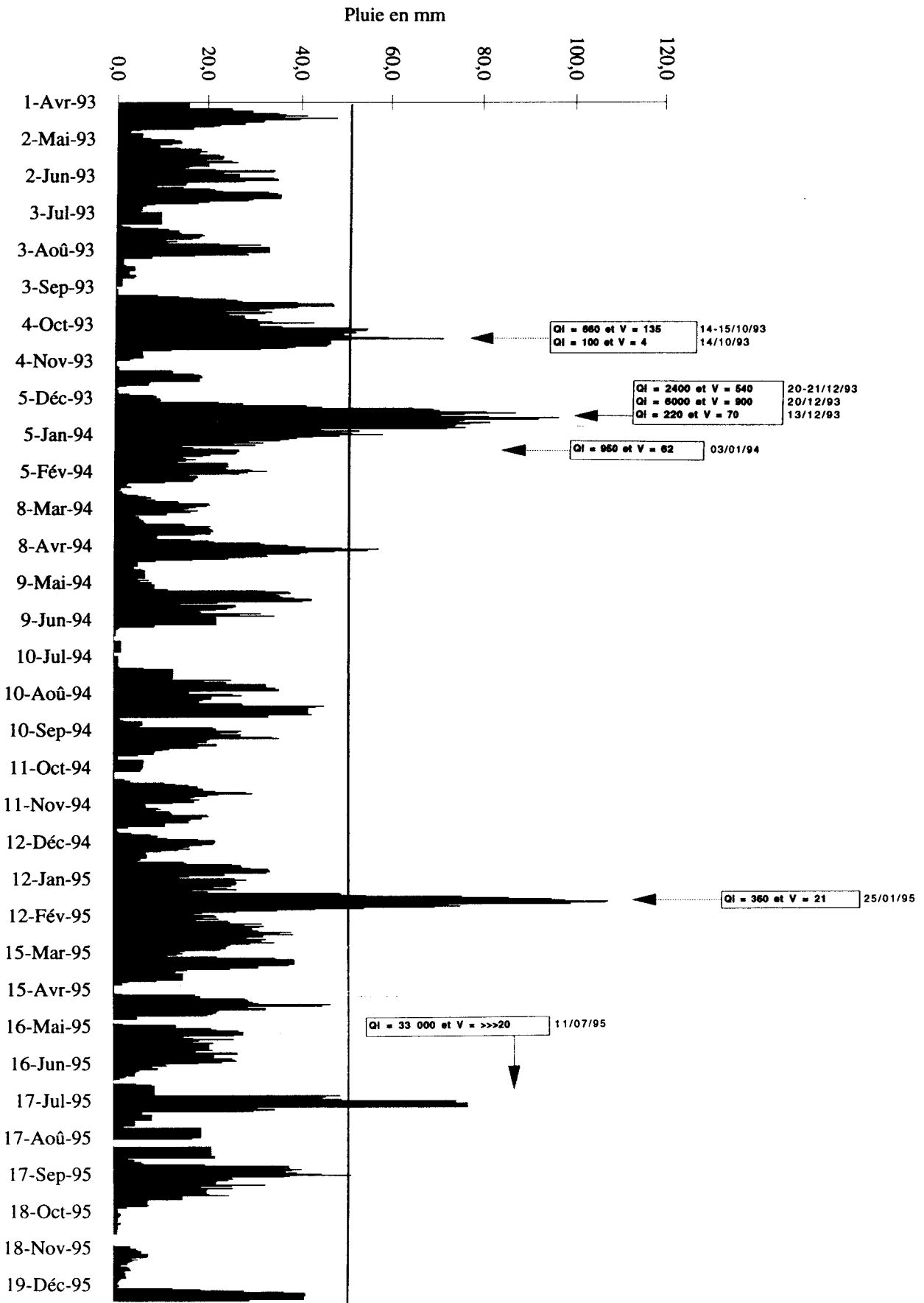
Le cumul intervient sur le déclenchement des ruissellements pour des lames d'eau journalières inférieures à 50 mm. Une pluie de 20 mm entraîne un ruissellement si les pluies antérieures dépassent 50 mm et une pluie de 8,5 à 9 mm journaliers entraîne un ruissellement, si on a au moins 90 mm les dix jours précédents. Le ruissellement observé pour 8,5 mm correspond à des conditions très particulières : pluie quasi continue depuis quatre jours et un total de 96 mm sur les dix jours précédents. Il semble donc qu'une certaine saturation des sols soit indispensable pour que le ruissellement se forme sur les pentes modérées du bassin de Vierzy. Ce constat ne peut se vérifier en été où le cumul des pluies sur dix jours n'atteint presque jamais des valeurs aussi élevées et où les lames d'eau journalières dépassent assez souvent 20 mm.

A Erlon, en été, le cumul des pluies antérieures intervient peu sur le déclenchement des ruissellements. Les écoulements se déclenchent pour des pluies supérieures à 7 mm par jour. Par contre, en hiver, les ruissellements peuvent se produire pour des lames d'eau inférieures. De plus, ces dernières diminuent alors qu'augmente le volume des pluies sur dix jours.

Tableau II - 1 - 2 - 2 - a : Diminution de la lame d'eau journalière nécessaire au ruissellement parallèlement à l'augmentation des pluies cumulées sur dix jours à Erlon, exemples.

Pluie journalière en mm	Pluie sur dix jours minimum en mm	Dates d'observation
5	10	janvier 1993, décembre 1993, etc.
4	15	février 1995, janvier 1993, etc.
3	19-20	février 1995, janvier 1994, etc.
1	22	janvier 1994, novembre 1993, etc.

Figure II - 1 - 2 - 2 - a : Pluies cumulées sur dix jours en mm à Vierzy de 1993 à 1995 et dates des ruissellements



La succession des pluies antérieures représente de manière intégrale l'état hydrique en surface (COSENDAY, 1985). En effet, pendant la période automne-hiver, la réserve en eau des bassins joue un rôle important sur le déclenchement des ruissellements. Souvent, elle contribue également à l'augmentation des volumes ruisselés.

Par exemple à Vierzy, un ruissellement d'environ 70 m³ a été observé le 13 décembre 1993 (pluie 23 mm) et le 3 janvier 1994 (pluie 9,6 mm). Dans le second cas le volume ruisselé est, en proportion de la lame d'eau tombée, plus important ; la période du 13 décembre au 3 janvier ayant été très pluvieuse. Le 21 décembre 1993, une lame d'eau de 27,8 mm entraîne un ruissellement de 1 400 l. La lame d'eau de 6 mm plus importante que celle du 13 décembre entraîne un ruissellement vingt fois supérieur (61 mm en dix jours le 13 décembre et 104 mm en dix jours le 21 décembre).

A Erlon, les deux exemples ci-dessous montrent l'effet de cumul des pluies. Pour des lames d'eau et des intensités identiques, le cumul des pluies antérieures augmente le volume ruisselé (tab. II - 1 - 2 - 2 - c, ci-dessous). Sur ce site, il existe aussi de nombreux contre-exemples (annexe 12).

Tableau II - 1 - 2 - 2 - c : Augmentation du volume ruisselé parallèlement à l'augmentation des pluies cumulées à Erlon, exemples

Dates	Pluie jour en mm	Pluie dix jours en mm	Volume ruisselé en m ³
12-Dec-93	20,5	24,5	6,6
19-Dec-93	20,5	65,5	202
10-Nov-93	13,5	0,5	57
16-Janv-94	13	19,5	276
04-Avr-94	24	21,5	2,5
29-Janv-95	25	84	4,1

Nota bene : Pour des occupations du sol identiques les 19/12, 10/11 et 16/01.

Pourquoi un seuil de pluies antérieures ?

Un seuil de pluie antérieure est indispensable car il entraîne **une saturation en eau des sols mais aussi une dégradation des états de surface**. Ainsi fin décembre 1993 à Erlon, les ruissellements se déclenchent rapidement et sont volumineux. D'une part, les sols sont saturés en eau (22 à 27 % d'humidité selon les parcelles^(*)). D'autre part, la rugosité du labour a été nivelée par les pluies nombreuses et relativement intenses (maximum : 30-48 mm/h en 1 mn et 5-7 mm/h en 1 h). Et enfin, les croûtes structurales et sédimentaires sont largement développées (voir annexe 21). La saturation en eau des sols ne suffit pas à expliquer le ruissellement. En décembre 1994 et en janvier 1995, les taux d'humidité dans les parcelles ont atteints 23 à 25 % sans entraîner de ruissellement notable.

Par ailleurs au printemps, les pluies antérieures peuvent être élevées, mais les sols sont apparemment secs en surface. Ainsi le 24 mai 1994 à Erlon, une lame d'eau de 9 mm entraîne un ruissellement notable car la croûte structurale est largement développée par rapport à avril (10,5 mm et un très faible ruissellement, voir tab. II - 1 - 2 - 2 - d et annexe 21 pour les états de surface). Les pluies antérieures reflètent ici l'état de surface des parcelles. De ce fait, le mois de mai est toujours plus sensible au ruissellement que celui d'avril où les pluies cumulées depuis les semis sont plus faibles et donc moins efficaces sur la dégradation des surfaces.

(*) Le taux d'humidité est déterminé par pesée d'un échantillon de terre avant et après passage pendant 24 heures à l'étuve à 105 °C. Les pesées sont réalisées sur plusieurs échantillons par parcelle et sur 3 ou 4 parcelles.

Tableau II - 1 - 2 - 2 - d : Augmentation du volume ruisselé parallèlement à l'augmentation des pluies cumulées à Erlon, exemples

Dates	Pluie jour en mm	Pluie dix jours en mm	Volume ruisselé en m3
24-Avr-94	10,5	3	40
24-Mai-94	9	44	900

L'étude des pluies cumulées fait apparaître des différences saisonnières de seuils qui peuvent aussi être liées soit à la forme de la pluie (intensité, continuité, durée), soit à l'état des sols (couvert végétal, tassement, saturation en eau, croûte de battance).

II - 1 - 2 - 3 - Continuité et intensité des pluies

On a vu précédemment que pour qu'il y ait ruissellement il faut au moins 50 mm journaliers ou 16 mm journaliers et 50 mm les dix jours précédents à Vierzy, 7 mm à Erlon au printemps, etc., mais ces conditions sont parfois réunies et il n'y a pas ruissellement. Les explications se trouvent parfois dans la continuité et l'intensité des pluies.

Pour une même lame d'eau, l'existence ou l'absence de ruissellement peut s'expliquer, entre autres, par une différence d'intensité (tab. II - 1 - 2 - 3 - a, ci-après). Par exemple, si l'on compare le 12 décembre 1993 et le 14 octobre 1993 à Vierzy. Les pluies antérieures sont supérieures le 12, mais il n'y a pas de ruissellement. Le 12, la pluie présente une faible intensité et elle est intermittente, c'est-à-dire avec plusieurs coupures de 3 mn au moins. Toutefois, à Vierzy, les intensités ne sont pas primordiales (voir tableau). Par exemple le 5 octobre 1993 et le 14 octobre 1993 : les lames d'eau et les intensités sont comparables. Les pluies peuvent être considérées comme continues (interruption lors de l'averse inférieure à 3 mn). Pourtant à la première date, il n'y a pas de ruissellement et il y en a un à la seconde. La pluie journalière et les intensités sont supérieures le 5, mais le cumul des pluies les jours antérieurs est inférieur à 50 mm et l'état du sol est sensiblement différent.

Autre exemple, le 22 janvier 1995, les intensités en 1 mn et en 3 mn sont élevées, mais celles en une heure sont faibles. La pluie est intermittente. De plus, la pluie cumulée est insuffisante. Le 28 juillet 1993, les intensités sont élevées, mais les totaux journaliers et antérieurs sont insuffisants (le sol est très sec).

L'intensité de la pluie semble quelquefois augmenter le volume ruisselé, comme le montre ces exemples à Erlon.

Tableau II - 1 - 2 - 3 - a : Augmentation du volume ruisselé parallèlement à l'augmentation des intensités à Erlon, exemples

Dates	Pluie jour en mm	Pluie dix jours en mm	Intensité en mm/h en 1 mn	Intensité en mm/h en 1 h	Volume ruisselé en m ³
14-Mai-94 (*)	19	14	54	6	10
24-Jul-94	25,5	4	120	25	20
19-Août-94	21,5	22	15	7	2,5
23-Août-95 (**)	17	5,5	150	17	1,35
07-Sep-95	15	1	30	5	0,65
08-Sep-95	17	16	30	5	0,85
27-Sep-95	12,5	18	54	4	0,80

(*) Voir aussi l'occupation du sol - en particulier l'augmentation du couvert végétal entre le 14 mai 1994 et le 24 juillet 1994 et déchaumage entre le 27 juillet 1994 et le 19 août 1994 - et les états de surface.

(**) Occupation du sol comparable entre les différentes dates.

Les intensités jouent surtout un rôle sur le déclenchement de l'écoulement proprement dit. Par exemple, le 3 janvier 1994 ou le 25 janvier 1995 à Vierzy, le début du ruissellement coïncide avec une augmentation nette des intensités. A l'inverse, des pluies intermittentes ne peuvent entraîner de ruissellement (voir annexe 13, dates sans ruissellement et pluies correspondantes).

II - 1 - 2 - 4 - Influence du gel et de la neige

Dans cette région du Nord-Nord-Est de la France, les influences continentales se font particulièrement sentir au cours de certains hivers. De fait, le gel et la neige accompagnent fréquemment les hivers picards. Bien que les références bibliographiques sur leurs effets en conditions de sols limoneux soient peu nombreuses, la neige est réputée pour favoriser les ruissellements, en particulier lorsque la fonte est suivie de pluie notable (hiver 1941 à Vierzy). A l'inverse, le gel est connu pour son action de fragmentation des mottes de terre. De plus, les périodes de gel sont en général associées à une absence de pluie qui favorise un assèchement progressif des sols. Associées à une présence anticyclonique, elles affectent aussi l'ensemble de la région, et donc simultanément les deux sites d'étude. Au cours des hivers à forte alternance gel/dégel, cette action de restructuration a largement été observée (F. GREGOIRE, comm. orale 1996). Toutefois, lors de ces dernières années, il n'y a pas eu de gel très prononcé (voir tab. II - 1 - 2 - 4 - a, ci-après). Les effets observés sont donc peu marqués comme le montre les exemples ci-dessous. Seules quelques remarques peuvent être avancées.

Tableau II - 1 - 2 - 4 - a : Répartition mensuelle des jours de gel et de neige pendant la période d'étude aux stations de Pouilly-sur-Serre et de Parcy-et-Tigny

Pouilly-sur-Serre	nb jours de gel 1ère décade	nb jours de gel 2ème décade	nb jours de gel 3ème décade	nb jours t < - 10°	nb jours t < - 5°	nb jours t < 0°	nb jours de neige
hiver 1993-94							
Oct-93	0	0	0	0	0	1	0
Nov-93	0	6	10	0	5	16	0
Dec-93	4	1	2	0	0	7	2
Janv-94	1	2	3	0	0	8	0
Fev-94	0	9	2	0	3	13	2
Mar-94	0	2	1	0	0	7	0
Avr-94	2	2	0	0	0	4	0
hiver 1994-95							
Oct-94	2	1	0	0	0	5	0
Nov-94	0	0	0	0	0	0	0
Dec-94	1	2	5	0	1	11	0
Janv-95	6	2	1	0	2	15	3
Fev-95	0	0	1	0	0	2	0
Mar-95	1	0	5	0	0	9	6
Avr-94	0	1	1	0	0	2	0
hiver 1995-96							
Oct-95	0	0	0	0	0	0	0
Nov-95	4	2	1	0	1	8	1
Dec-95	4	6	6	0	3	19	0

(d'après les Bulletins Météorologiques Mensuels de l'Aisne)

Parcy-et-Tigny	nb jours de gel 1ère décade	nb jours de gel 2ème décade	nb jours de gel 3ème décade	nb jours t < - 10°	nb jours t < 5°	nb jours t < 0°	nb jours de neige
hiver 1993-94							
Oct-93	3	5	10	0	9	20	0
Nov-93	1	0	4	0	0	7	1
Dec-93	4	4	2	0	0	13	1
Janv-94	0	0	0	0	0	6	0
Fev-94	1	6	1	0	2	9	3
Mar-94	1	2	2	0	0	7	0
Avr-94	0	0	0	0	0	1	0
hiver 1994-95							
Oct-94	3	1	0	0	0	5	0
Nov-94	0	0	0	0	0	0	0
Dec-94	1	2	5	0	0	9	0
Janv-95	4	0	0	0	1	9	2
Fev-95	0	0	1	0	0	3	0
Mar-95	2	2	3	0	1	10	0
Avr-94	0	1	1	0	0	3	0
hiver 1995-96							
Oct-95	0	0	1	0	0	1	0
Nov-95	4	2	1	0	2	10	0
Dec-95	3	0	3	0	3	19	2

(d'après les Bulletins Météorologiques Mensuels de l'Aisne)

Exemple 1 à Erlon : Dans ce premier cas, le gel du mois de novembre a peu d'effet. Dès le 10 décembre 1993, les ruissellements sont à nouveau volumineux. Toutefois les volumes ruisselés sont légèrement inférieurs à ceux antérieurs au gel.

Le 8 décembre une pluie d'intensité légèrement supérieure à celle du 14 novembre provoque un ruissellement 10 fois moindre. La pluie antérieure était certes plus faible. Plusieurs effets ont dû se contre-balancer. Dans un premier temps, le sol a partiellement bénéficié de l'action positive du gel car une grande partie des surfaces étaient restées tassées par les récoltes d'octobre (se reporter à l'annexe 21 pour le détail de l'occupation du sol et des états de surface par parcelle). Après le dégel, les sols restent gorgés d'eau et collants. Pourtant, l'alternance "gel la nuit" et "dégel le jour" a duré plus de dix jours et les températures sont descendues à $- 5^{\circ} \text{C}$ (seules les quelques parcelles labourées, à l'extrémité amont du bassin (0 et 2), ont montré une amorce de fragmentation). Dans un second temps, deux jours de neige dans les premiers jours de décembre ont probablement favorisé le ruissellement. Enfin, le labour de la parcelle 1 stoppe les apports amont. Début décembre, les sols sont encore gorgés d'eau, mais les parcelles labourées (tout l'amont du bassin) ne contribuent pas au ruissellement (pas de traces en surface). Les eaux de ruissellement proviennent donc de la partie aval en chantier de récolte. La réduction des volumes ruisselés est peut-être liée à l'action du gel sur cette partie du bassin. Mais cet effet est de courte durée : le 11 décembre les volumes ruisselés sont de nouveau élevés.

Par ailleurs, plus tard dans le mois, les parcelles labourées contribuent à nouveau au ruissellement. En effet, un écoulement hypodermique refait surface à l'intersection du talweg et de la limite parcelle labourée/parcelle en chantier de récolte (F. GREGOIRE, comm. orale 1993) et un écoulement de surface se forme sur la rugosité très atténuée du labour.

	P en mm	P 10j en mm	Qi en l/mn	V en m ³	I en mm/h en 1 mn	I en mm/h en 1 h
09-Nov : à l'amont du bassin labour des parcelles 0 et 2						
13-Nov-93	11	14,5	50	110	6	3,2
14-Nov-93	5,5	25,5	20	25,5	1,2	1,2
15-Nov-93	1,5	31	0,5	0,4	1,0	0,5
16-nov au 07-Dec : 20 jours de gel, deux jours de neige et 9 mm de pluie, labour de la parcelle 1 le 23-Nov						
08-Dec-93	5,5	9	3	2,1	2,2	1,5
09-Dec-93	1,5	14,5	0	0	1,0	0,5
10-Dec-93	15	16	50	132	15	8,8
11-Dec-93	5,5	31	1	5,1	4,3	1,7

Exemple 2 à Erlon : Le labour et le gel réduisent considérablement le volume ruisselé et augmentent les seuils de déclenchement des ruissellements. La fonte de la neige vers le 20 février 1994 ne suffit pas à favoriser les écoulements. Si l'augmentation du seuil de pluie entraînant le ruissellement le 2 mars peut être attribuée au labour qui accroît la rugosité, les faibles volumes ruisselés des 19 et 21 mars (alors que les pluies cumulées sont loin d'être négligeables) sont probablement liés aux effets de fragmentation du gel sur le labour et aux effets du semis de betteraves. Ce dernier "absorbe" la pluie peu intense du 18 mars.

	P en mm	P 10j en mm	Qi en l/mn	V en m ³	I en mm/h en 1 mn	I en mm/h en 1 h
28-Janv-94	0,5	21	10	2,5	1,0	0,5
31-Janv au 02-Fev : labour des parcelles 3, 4 et 5						
10-Fev au 30-Fev : 11 jours de gel, 2 jours de neige et très peu de pluie						
02-Mar-94	8	17,5	0,3	0,25	3,8	2,8
10-Mar au 18-Mar : 2 jours de gel, semis des betteraves sur le bas du bassin le 11-Mar (voir annexe 21)						
18-Mar-94	9	10	0	0	3	1,4
19-Mar-94	7,5	16	0,3	0,125	12	3,0
21-Mar-94	9	23,5	0,3	0,125	6	1,9

Exemple 3 à Erlon : Une pluie de 12 mm sur sol froid, presque gelé, mais fragmenté, ne ruisselle pas. Par contre, une pluie de 14 mm survenant après une chute de neige (1er au 3 janvier 1995) entraîne un petit ruissellement. Les écoulements restent peu volumineux car les deux tiers aval du BVEC sont occupés par un labour grossier.

	P en mm	P 10j en mm	Qi en l/mn	V en m ³	I en mm/h en 1 mn	I en mm/h en 1 h
20-Dec-94 au 31-Dec-95 : 5 jours de gel et peu de pluie						
27-Dec-94	12	2	0	0	4,9	2,6
01-Janv-95 au 10-Janv-95 : 3 jours de neige, 6 jours de gel et très peu de pluie						
10-Janv-95	14	6,5	0,5	0,21	30	3,1

Exemple 4 à Erlon : Le gel et l'importance des surfaces en céréales d'hiver expliquent l'absence de ruissellement. La dominance des cultures d'hiver ne peut expliquer à elle seule l'absence de ruissellement, car les pluies antérieures sont importantes. L'année précédente, pour des lames d'eau identiques et un bassin à 90 % labouré, de petits écoulements avaient eu lieu (janvier 1995). L'absence total de ruissellement montre une très bonne infiltration peut-être en relation avec l'action du gel.

	P en mm	P 10j en mm	Qi en l/mn	V en m ³	I en mm/h en 1 mn	I en mm/h en 1 h
10-Dec-95 au 30-Dec-95 : 12 jours de gel						
20-Dec-95	8	1	0	0	4,3	2,9
21-Dec-95	11	9	0	0	6	2,3
22-Dec-95	15	19,5	0	0	7,5	3,2
23-Dec-95	11,5	34,5	0	0	15	3,2

Exemple 5 à Vierzy : Le gel et la neige semblent modifier les seuils de pluie définis auparavant. Mais le nombre des situations n'est pas assez important pour en dire plus.

En décembre 1995, deux jours de neige et de gel ont été immédiatement suivis par une pluie de plus de 10 mm entraînant un petit ruissellement (3 l/mn, moins d'un mètre cube). Deux autres situations de neige et gel (17 février 1994 et 1 janvier 1995) n'ont pas entraîné de ruissellement car suivies d'une période d'un mois et d'une semaine sans pluie notable. Pourtant, la neige peut avoir des effets désastreux. En 1941, année de très fortes chutes de neige sur l'ensemble de la France, le village de Vierzy a été inondé suite à une pluie ayant fait fondre la neige (H. Moquet, comm. orale).

Trop de paramètres entrent en jeu, et on ne peut dissocier le rôle du gel. Seules des observations et des mesures plus détaillées sur parcelle pourraient apporter des détails sur le fonctionnement des sols en période de gel et dégel.

II - 1 - 2 - 5 - Modulation des seuils en fonction de l'occupation et de l'état de surface du sol

Les seuils de pluie nécessaires au déclenchement des ruissellements sont très aléatoires, car en fonction de l'état du sol - tassement, humidité, battance, développement et nature du couvert végétal - ils vont être modulés.

Le facteur cultural joue en effet un rôle important dans le déclenchement des ruissellements. Si on considère les figures ci-dessus (II - 1 - 2 - 1 - a et b), les deux colonnes situées à gauche des lames d'eau journalières représentent de façon très synthétique, d'une part, l'importance du taux de couverture végétale sur les BVEC et, d'autre part, les états de surface extrêmes. Ce résultat a été obtenu en cumulant les résultats d'observations bimensuels réalisées sur les parcelles (détails par année et par parcelle en annexe 21). A une même date, plus les teintes des deux colonnes sont claires, plus la susceptibilité des BVEC à ruisseler est forte. C'est le cas en mai 1993, novembre-décembre 1993, janvier 1994, mai 1994, mai 1995 à Erlon et Vierzy, et janvier 1995 et décembre 1995 à Vierzy.

* Quelques exemples à Vierzy

Bien que le nombre d'observations soit faible à **Vierzy**, il semble que l'état des parcelles présenté par ce calendrier (fig. II - 1 - 2 - 1 - b) entraîne peu de changements des seuils établis.

En période hivernale, sur ce BVEC plus ou moins labouré ou en chantier de récolte, il faut un minimum de **20 mm journaliers et 50 mm sur dix jours**. Ces chiffres baissent légèrement au cours des pluies successives mais restent indispensables.

Ces seuils ne suffisent pas en présence de cultures (5 octobre 1993, 26,4 mm dans la journée et 36,2 mm les dix jours antérieurs), mais deviennent efficaces sur chantier de récolte (14-15 octobre 1993, 20,2 mm dans la journée et 59,8 mm les dix jours antérieurs), même à dix jours d'intervalle. **Mais un tassement du sol par les récoltes ne suffit toutefois pas à modifier les conditions de déclenchement du ruissellement** : 15,8 mm (et 28,2 mm les dix jours précédents) ne suffisent pas à entraîner un ruissellement le 10 décembre 1993, il faut attendre les 20,8 mm (et 45 mm les dix jours précédents) du 13 décembre 1993.

La présence d'une plus forte superficie de céréales d'hiver sur le bassin pendant l'hiver 1994-95 ne semble pas modifier ces seuils : pas de ruissellement pour 30 mm (et 21 mm les dix jours précédents) le 22 janvier 1995 ; ruissellement pour 20,6 mm (et 55,6 mm les dix jours précédents) le 25 janvier 1995.

En période printanière et estivale, que les croûtes de battance soient ou non développées, que le couvert végétal soit densément couvrant ou non, 20 mm en un jour et 50 mm les dix jours précédents ne suffisent pas pour entraîner un ruissellement. Les observations et les témoignages - pour des dates antérieures - montrent bien que **l'état du sol et de la végétation augmentent considérablement le seuil hivernale**. Mais les résultats ne sont pas assez nombreux pour montrer le rôle des stades de battance et du couvert (entre mai et août). On peut seulement dire qu'il faut au moins 50 mm par jour...

* Quelques exemples à Erlon

A Erlon, le labour d'une ou deux parcelles à l'amont immédiat de la station **interrompt systématiquement les ruissellements**. En janvier 1994, les écoulements cessent dès la fin du mois (labours les 31 janvier et 2 février du bas du BVEC) et ne reprennent pas en février et mars malgré des pluies encore notables (plusieurs fois 6,5 mm) et un couvert végétal absent. Ce fait a déjà été largement mis en avant par les études antérieures (WICHEREK et al, 1993).

Tableau II - 1 - 2 - 5 - a : Interruption des ruissellements après labour (WICHEREK et al, 1993)

Dates	Rain duration	Total precipitation during X previous days			Precipitation			Runoff		Solid matter total (kg)	Nitrates (mg/l)
		X=8	X=4	X=1	total (mm)	maximum for 10mn for 1hr (mm/hr)	total (l)	maximum discharge (l/mn)			
<i>Before tillage</i>											
28-10-90	11h34	24,5	24,0	4,0	23,0	4,8	3,2	120000	340	730	12
29-10-90	2h07	51,0	50,0	29,0	3,0	2,1	1,5	23000	285	-	10
29-10-90	1h09	54,0	53,0	32,0	2,0	5,3	1,8	10000	150	-	10
31-10-90	0h55	57,0	37,0	0,5	3,0	5,1	2,7	32000	90	18	7
13-11-90	1h45	8,5	8,0	1,5	2,0	3,5	1,5	6000	130	6	7
13-11-90	3h00	10,5	10,0	3,5	1,0	0,5	0,5	2000	20	-	7
14-11-90	6h10	12,0	10,5	4,0	6,0	3,6	1,4	22000	150	16	7
18-11-90	0h35	22,0	11,5	2,5	2,5	6,0	2,2	7000	200	112	7
18-11-90	1h26	24,5	14,0	5,0	4,0	12,8	3,6	27000	770	-	6
19-11-90	0h38	32,5	15,5	11,0	1,5	2,1	1,2	17000	440	-	6
20-11-90	1h27	30,0	17,5	6,5	2,0	4,0	1,4	6000	80	218	6
20-11-90	4h36	32,0	19,5	8,5	5,5	5,1	2,6	43000	500	-	6
24-11-90	0h14	27,5	10,0	2,0	2,5	10,7	2,4	13400	400	47	6
25-11-90	8h50	28,5	5,0	4,5	8,5	3,3	2,1	72000	450	114	6
<i>After tillage</i>											
25-12-90	0h32	20,5	13,5	0,0	2,0	5,6	1,4	0	0	0	-
25-12-90	0h40	22,5	15,5	2,0	2,0	5,1	1,9	0	0	0	-
26-12-90	2h45	26,0	7,0	6,0	6,0	3,7	2,9	0	0	0	-
27-12-90	0h25	35,0	14,0	9,0	1,5	5,6	1,4	0	0	0	-
29-12-90	0h32	35,5	22,0	9,5	1,5	3,8	1,2	0	0	0	-
29-12-90	3h00	37,0	23,5	11,0	6,5	6,7	3,5	0	0	0	-
31-12-90	1h37	30,0	16,0	0,0	2,5	1,4	1,3	0	0	0	-
31-12-90	2h33	32,5	18,5	2,5	7,5	11,6	5,3	0	0	0	-
02-01-91	2h16	42,5	25,0	2,0	4,5	3,5	2,1	0	0	0	-
02-01-91	2h40	47,0	29,5	6,5	3,5	1,9	1,6	0	0	0	-
03-01-91	5h44	48,5	23,5	11,0	7,5	16,5	3,9	0	0	0	-
03-01-91	6h13	56,0	31,0	9,5	9,0	3,8	3,1	0	0	0	-
10-01-91	1h48	47,0	13,0	11,0	5,5	5,5	3,9	0	0	0	-
11-01-91	3h17	41,0	16,5	11,5	7,5	6,4	2,8	0	0	0	-

La meilleure infiltration des eaux de pluie en février et mars 1994 est aussi à attribuer au **sous-solage** pratiqué sur les "ronds de terre froides" (*). Ce travail profond du sol se fait sur l'ensemble du bassin, sur 25 à 30 % de la superficie totale, par des "griffures" volontairement désordonnées au "France-cribs".

(*) Parties du bassin où la terre argileuse se tasse plus facilement et où les infiltrations se font moins bien. Les "ronds de terre froide" affectent l'ensemble du bassin.

Si ce travail limite les ruissellements liés à la saturation en eau de l'horizon de surface, il n'empêche pas les écoulements liés à la dégradation de l'état de surface : les ruissellements reprennent le 4 avril 1994.

En hiver, à Erlon, 5 ou 6 parcelles peuvent se trouver simultanément en labour, céréales d'hiver ou chantier de récolte. **En fonction de ces situations, les seuils de pluie nécessaires au déclenchement du ruissellement sont considérablement différents.** Ce point est particulièrement important à souligner car un labour sur l'ensemble du bassin versant empêche presque totalement un ruissellement pour une lame d'eau supérieure à 20 mm. L'exemple de janvier 1995 est exemplaire : les pluies pourtant considérables entraînent des ruissellements dérisoires par rapport à ceux de décembre 1993 (tab. II - 1 - 2 - 5 - b, ci-dessous).

Cet exemple montre que **le travail du sol (labour et sous-solage) peut empêcher les ruissellements sur un site pourtant favorable aux écoulements.** Ce n'est pas le cas à Vierzy.

Tableau II - 1 - 2 - 5 - b : Contrôle des ruissellements par le travail du sol à Erlon, exemples

Dates	Pluie jour en mm	Pluie 10 jours en mm	Débit maximum en l/mn	Volume ruisselé en m ³	Occupation des sols du BVEC
19-Dec-93	20,5	65,5	2 200	202	(1)
22-Janv-95	24,0	12,5	0	0	(2)
25-Janv-95	29,0	34,0	14	1,8	(2)
29-Janv-95	25,0	84,0	36	4,1	(2)

Nota bene : Pour des intensités élevées et comparables, respectivement : 6,3 ; 5,6 ; 8,7 ; 8,7 mm/h pendant une heure.

(1) 0 % de la surface du BVEC densément couvert et plus de 50 % de la surface fortement tassé par les récoltes (fig. II - 1 - 2 - 1 - a) : environ 40 % de labour battant, 30 % de déchaumage très battant et 30 % de chantier de récolte de betteraves.

(2) 0 % de la surface du BVEC densément couvert et plus de 50 % de la surface à très forte rugosité : 10 % en céréales d'hiver et 90 % en labour grossier.

A Vierzy, la grande taille du bassin fait que la couverture d'ensemble n'est jamais de 100 % de labour ou 100 % de céréales d'hiver, il reste toujours **une certaine hétérogénéité de l'état de surface des parcelles qui fait que les seuils définis varient peu.** Même lorsque les cultures d'hiver dominent, les lames d'eau entraînant un ruissellement restent inchangées (janvier 1995). Seul un labour sur l'ensemble du site pourrait peut être les modifier, mais une telle situation est très improbable compte tenu du nombre de parcelles et d'exploitants.

A Erlon, des céréales d'hiver, implantées dans de bonnes conditions à l'automne, empêchent aussi les ruissellements, même pour des lames d'eau notables (tab. II - 1 - 2 - 5 - c).

Tableau II - 1 - 2 - 5 - c : Absence de ruissellements lié à l'occupation du sol à Erlon, exemples

Dates	Pluie jour en mm	Pluie 10 jours en mm	Débit maximum en l/mn	Volume ruisselé en m ³	Occupation des sols du BVEC
19-Dec-95	8	1	0	0	(1)
20-Dec-95	11	9	0	0	(1)
21-Dec-95	15	19,5	0	0	(1)
22-Dec-95	11,5	34,5	0	0	(1)

(1) 0 % de la surface du BVEC densément couvert et plus de 50 % de la surface à très forte rugosité : 90 % en céréales d'hiver et 10 % en labour.

Figure II - 1 - 2 - 5 - a : Susceptibilité à ruisseller en fonction de la battance et de la rugosité avant les ruissellements des 14-15 octobre 1993 à Vierzy

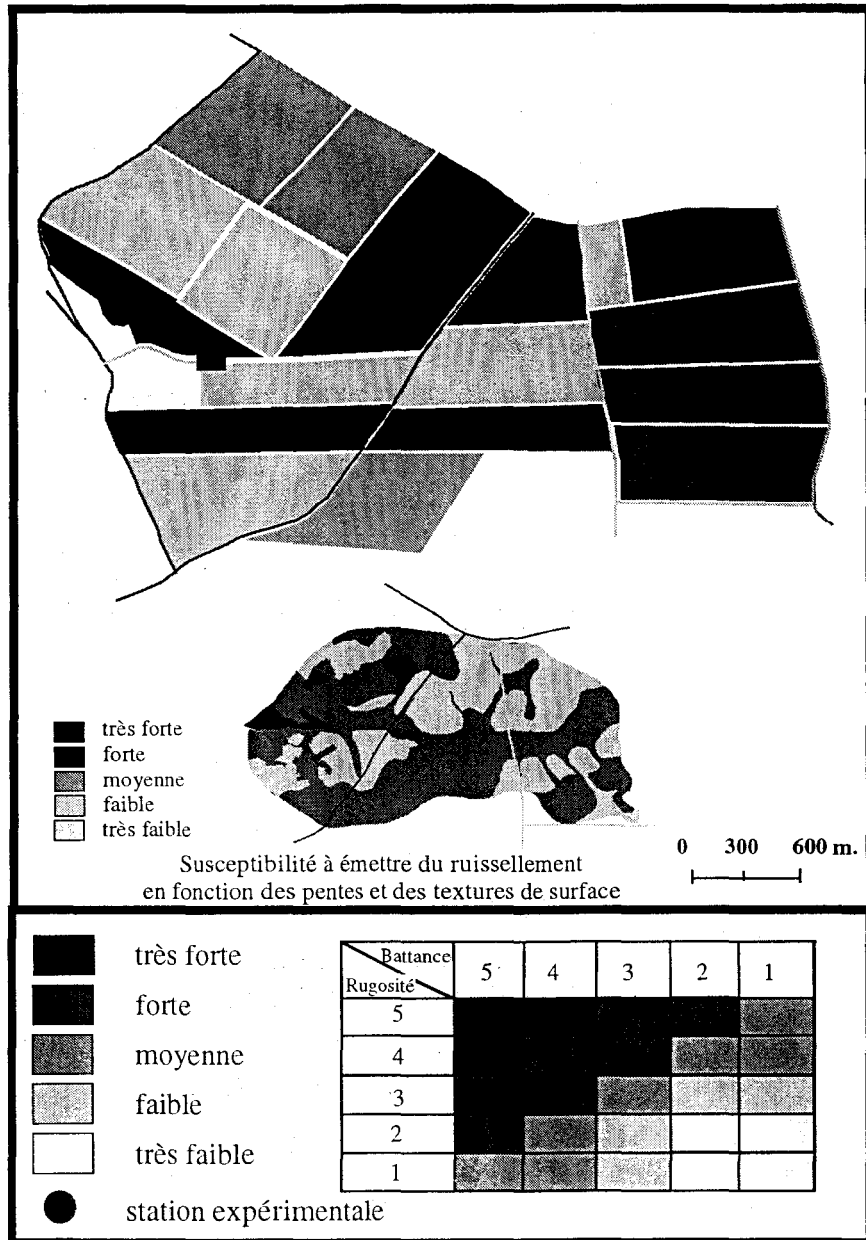


Figure II - 1 - 2 - 5 - b : Susceptibilité à ruisseller en fonction de la battance et de la rugosité avant le ruissellement du 25 janvier 1995 à Vierzy

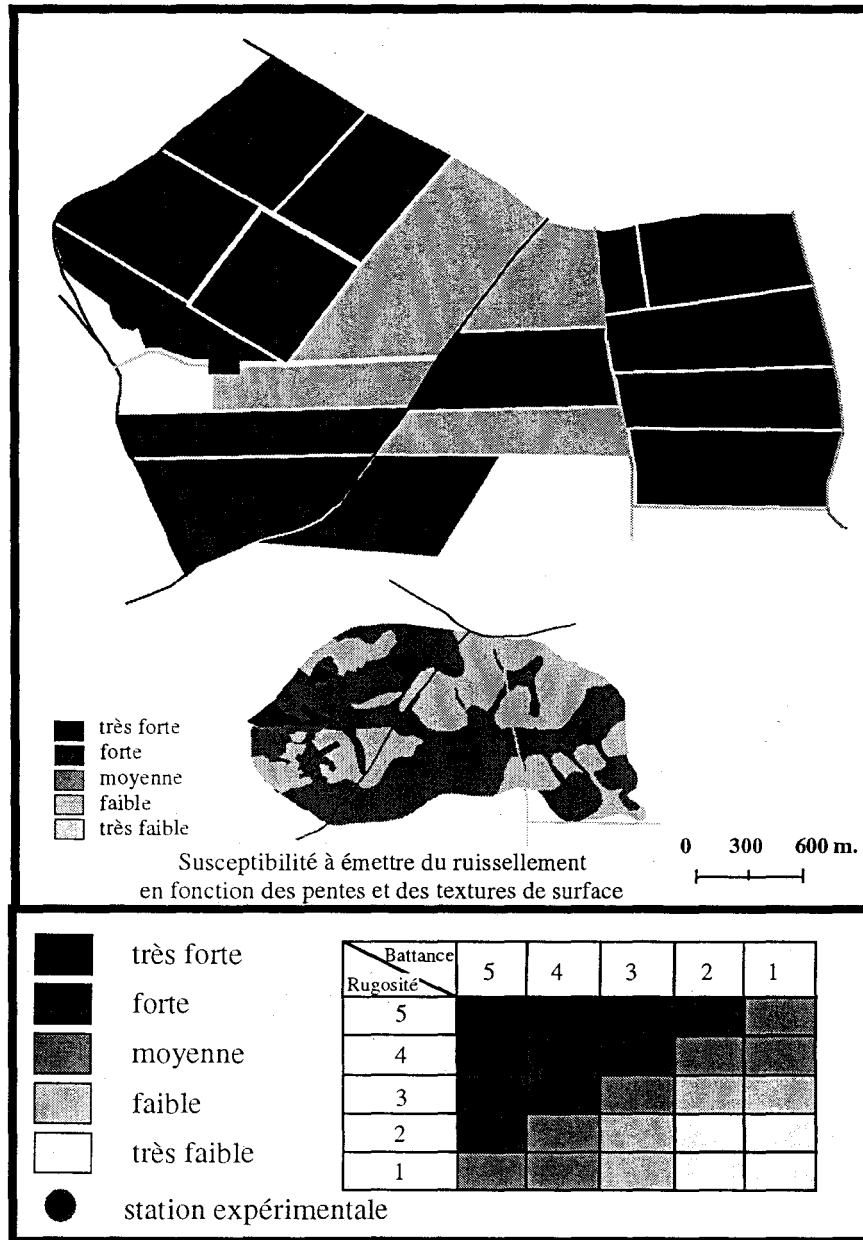


Figure II - 1 - 2 - 5- c : Susceptibilité à ruisseller en fonction de la battance et de la rugosité avant le ruissellement du 20 décembre 1993 à Vierzy

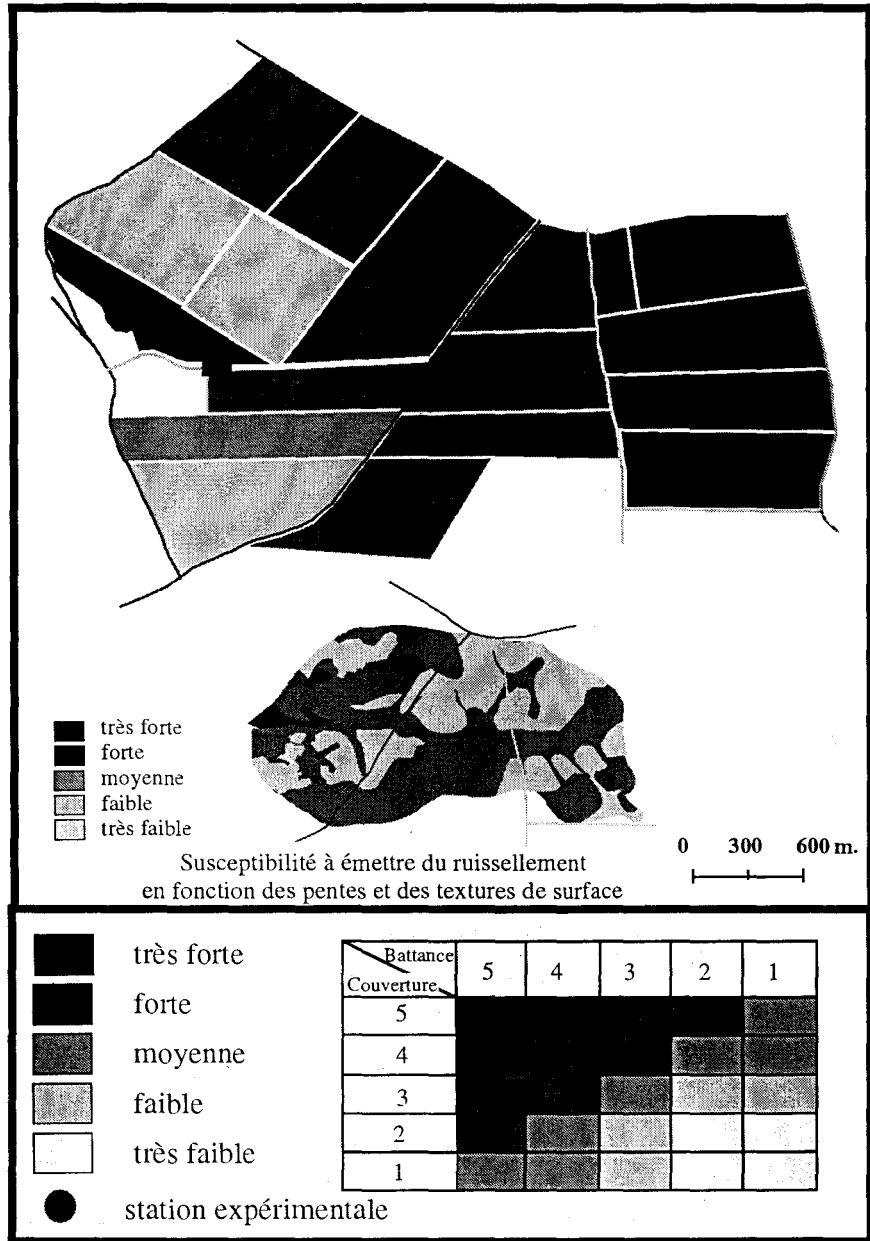


Figure II - 1 - 2 - 5 - d : Susceptibilité à ruisseller en fonction de la battance et du taux de couverture végétal avant le ruissellement du 24 mai 1994 à Erlon

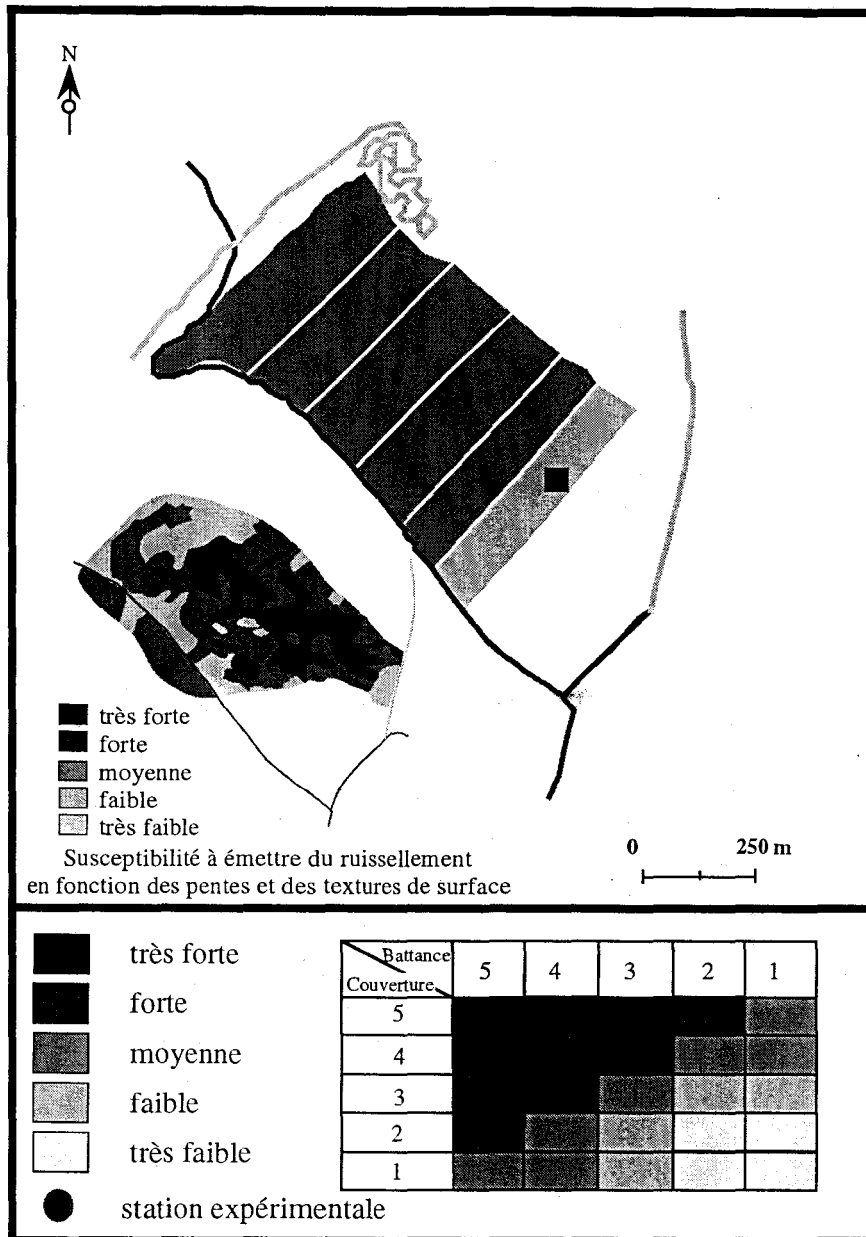
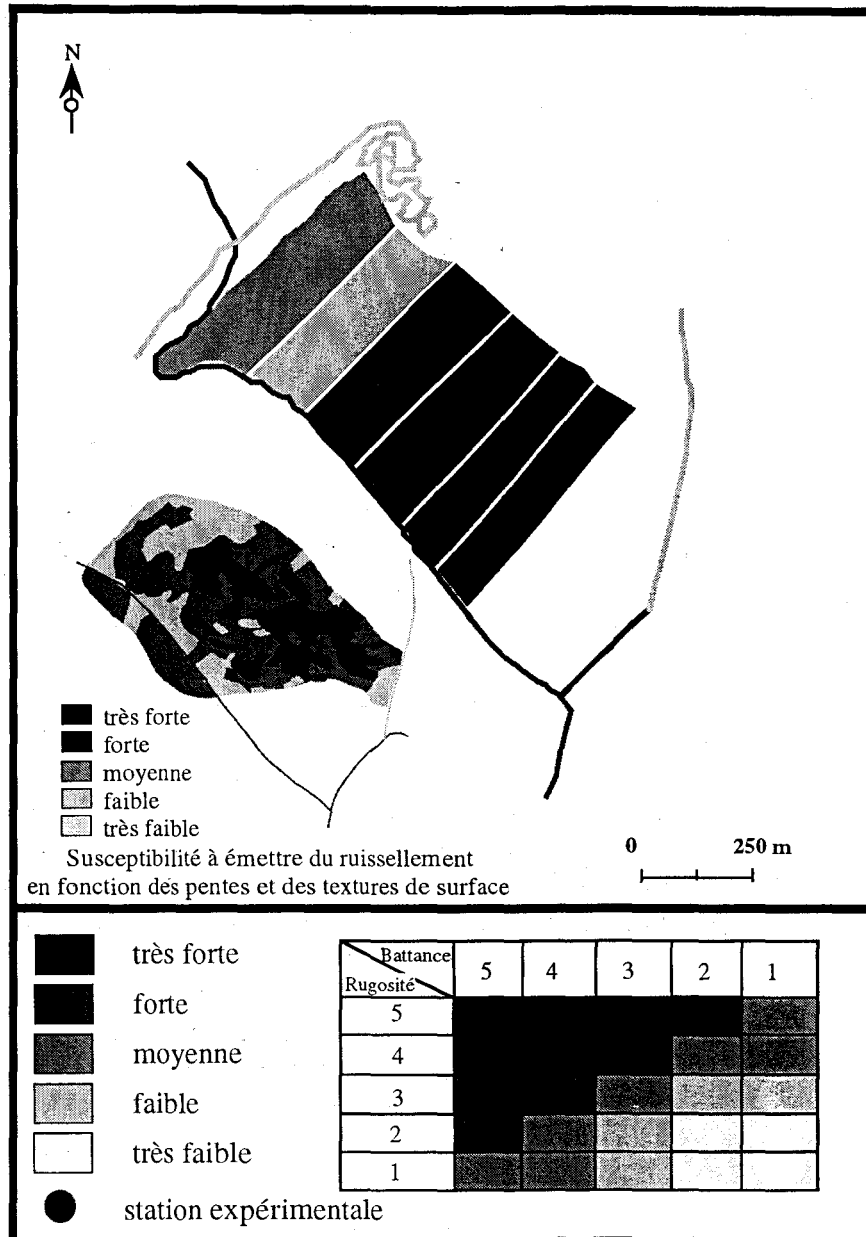


Figure II - 1 - 2 - 5 - e : Susceptibilité à ruisseller en fonction de la battance et de la rugosité avant le ruissellement du 20 décembre 1995 à Erlon



A Erlon (tab. II - 1 - 2 - 5 - d), d'avril à septembre, les ruissellements sont en grande partie liés à la dégradation des états de surface (à l'exception du 4 avril 1994 où le ruissellement est aussi lié à une saturation en eau du sol). Car d'une façon générale, les sols évoluent rapidement vers une croûte structurale (exemple entre le 18 et 24 mai 1994).

Un couvert végétal dense (75 à 100 % de la surface) n'a d'effet sur le déclenchement des ruissellements que pour les faibles pluies (8-9 mm). Dès que l'averse est plus volumineuse et que les intensités sont plus élevées, il ne permet pas de limiter le ruissellement (24 juillet 1994). Son effet est **négligeable dans le cas de très gros orages** (7-8 août 1995).

Par contre, **la présence de chaume de céréales ou de pois** limite les ruissellements consécutifs à des pluies moyennes à notables (en septembre 1995, 10 % de céréales déchaumées, 68 % de chaumes de pois et de haricots), même si les autres surfaces sont fortement battantes (maïs par exemple).

Le sarclage des betteraves, même s'il ne concerne pas l'ensemble du bassin, agit dans le même sens. Il réduit considérablement le ruissellement. On peut citer deux exemples à Erlon. Suite au sarclage du 17 mai 1993 (13 ha, soit 44 % du BVEC), une pluie de 21 mm (22 mm les dix jours précédents et des intensités max de 60 mm/h en 1 mn) le 28 mai 1993 n'entraîne qu'un faible ruissellement. La surface de la parcelle en betteraves ne présente aucune croûte de battance au début de l'averse. La même chose se reproduit au début du mois de juin 1994 où près de 40 % de la partie amont du BVEC sont en betteraves sarclées depuis la fin mai. Le sarclage est pratiqué à Erlon, mais pas à Vierzy (à l'exception d'un agriculteur). On lui reproche de diluer dans le sol les produits phytosanitaires qui deviennent alors moins efficaces et de remonter des mauvaises graines (H. Moquet, comm. orale 1994). De plus, les états de surface évoluent vite entre deux averses. Après le sarclage de fin mai 1994, la croûte de battance se reforme suite à trois averses : le 2 juin, le 4 juin et le 24 juillet (pas d'autres averses entre ces dates). Les effets du sarclage ne sont donc pas négligeables, mais ils sont de courte durée, s'il se produit quelques averses intenses.

Les assolements interviennent probablement eux aussi. En particulier en 1995, la présence de blé d'hiver, de pois et de semis de haricots semblent empêcher les ruissellements, même pour une lame d'eau de 16,5 mm (10,5 mm en dix jours et intensité max 60 mm/h en 1 mn). Mais on ne dispose pas de situations de référence assez nombreuses pour vérifier les effets des alternances de cultures.

Tableau II - 1 - 2 - 5 - d : Seuils de pluie au printemps et en été en relation avec l'occupation du sol à Erlon, exemples

Dates	Pluie jour en mm	Pluie 10 jours en mm	Débit max en l/mn	Volume ruisselé en m ³	Intensité max en mm/h en 1 mn	Intensité max en mm/h en 1 h	Occupation des sols du BVEC (*)
30-Avr-93	18,5	4	375	10,0	60	17	
04-Avr-94	24	21,5	14	2,5	7,5	4	
18-Mai-94	12	34,5	20	2,6	54	8	
24-Mai-94	9	44	900	13,0	24	4	
28-Mai-93	21	22	85	0,7	60	14	
02-Jun-94	16,5	19,5	90	1,1	30	3	
04-Jun-94	9	28	10	0,6	5	2	
24-Jul-94	25,5	4	2 000	20,0	120	25	
28-Jul-94	8	29,5	1,5	0,6	60	7	
06-07-Août-95	102,5	1,5	40 000	2 500	216	73	
19-Août-94	21,5	22	11	2,5	15	7	
23-Août-95	17	5,5	6	1,35	150	17	
07-08-Sep-95	32	1	5	1,5	30	5	
11-Sep-95	6,5	35	3	0,6	30	3	
25-Sep-95	14,5	44,5	9	0,6	15	0,5	
27-Sep-95	12,5	18	5	0,8	54	4	

(*) La légende est la même que celle des figures II - 1 - 2 - 1 - a et b.

En conclusion, à Vierzy, la modulation - entre guillemets car les valeurs de la lame d'eau journalière sont quand même multipliées par deux - des seuils de pluie entre deux grandes saisons est basée sur l'occupation du sol : d'une part l'automne/hiver, en post-récolte, avec sols nus, labourés ou en céréales d'hiver, d'autre part le printemps/été, avec végétation développée ou en cours de développement.

A Erlon, la distinction de seuils est beaucoup plus complexe. En période hivernale, elle se fait en fonction du couvert végétal et de l'état de surface des parcelles. Le travail du sol augmente considérablement les seuils de déclenchement et les volumes ruisselés sont énormément réduits. Les écoulements sont parfois même totalement inexistantes. On observe aussi une très grande variété de comportements au printemps et en été. La lame d'eau et l'intensité de l'averse joue alors un rôle prépondérant. Le travail des parcelles en betteraves intervient aussi de façon non-négligeable. Il faut donc considérer tous les paramètres. Toutefois, même si la culture de la betterave est très répandue, la limitation des ruissellements par le sarclage demeure très limitée. De même, les céréales d'hiver, limitant le ruissellement, sont rarement présentes sur l'ensemble du bassin. Il existe donc peu de solutions liées au travail du sol pour limiter le ruissellement printanier.

II - 1 - 3 - Une différence qui peut aussi s'expliquer par les superficies et les pentes des BVEC

A Erlon, les seuils de pluie journalière nécessaire au déclenchement du ruissellement sont **extrêmement variables** : quelques millimètres à 20 mm. Le seul facteur pluviométrie ne suffit pas à expliquer les ruissellements. **Toutefois, les seuils sont bien inférieurs à ceux de Vierzy** où une pluie isolée doit avoisiner 40 à 50 mm pour entraîner un écoulement. Bien plus que la différence de pluviométrie entre les deux sites, **ces seuils expliquent la plus grande fréquence des ruissellements à Erlon**. Lorsque les facteurs annexes comme l'état du sol ou le développement de la végétation sont comparables sur les sites, les seuils nécessaires au déclenchement du ruissellement sont alors imposés par la topographie et les sols. Car, "il n'existe pas de relation directe entre la pluie et le ruissellement" (COSANDEY, 1985).

II - 1 - 3 - 1 - Une grande différence de forme et de superficie

Les deux bassins présentent des superficies et des formes très différentes. Celui de Vierzy est grand et très allongé, celui d'Erlon est beaucoup plus petit et ramassé, comme le montre le tableau ci-dessous.

Tableau II - 1 - 3 - 1 - a : Bilan de quelques caractéristiques des BVEC

	BVEC D'ERLON	BVEC DE VIERZY
Surface en ha	41 (*)	188
Périmètre en m.	2276	5930
Longueur maxi en m.	925	2410
Largeur maxi en m.	587	1120
Longueur du talweg principal en m.	790	2130
Longueur cumulée des lignes de concentration en m.	1663	7060
Densité de drainage (**)	$4,056 \cdot 10^{-3}$	$3,75 \cdot 10^{-3}$
Indice Gravelius (***)	0,99	1,21

(*) A Erlon, la station est installée plus haut sur le talweg principal pour une raison de pente (surface théorique d'après les courbes de niveau alimentant la station : 20 ha ; surface réelle alimentant la station en tenant compte de la déconnection liée à la route et du travail du sol : 30 ha). Pour une bonne mesure des débits, la pente doit être supérieure à 2 %. A Vierzy, la bordure du plateau donne ce regain de pente.

(**) Drainage naturel : longueur cumulée des talwegs principal et secondaires sur la surface du bassin versant.

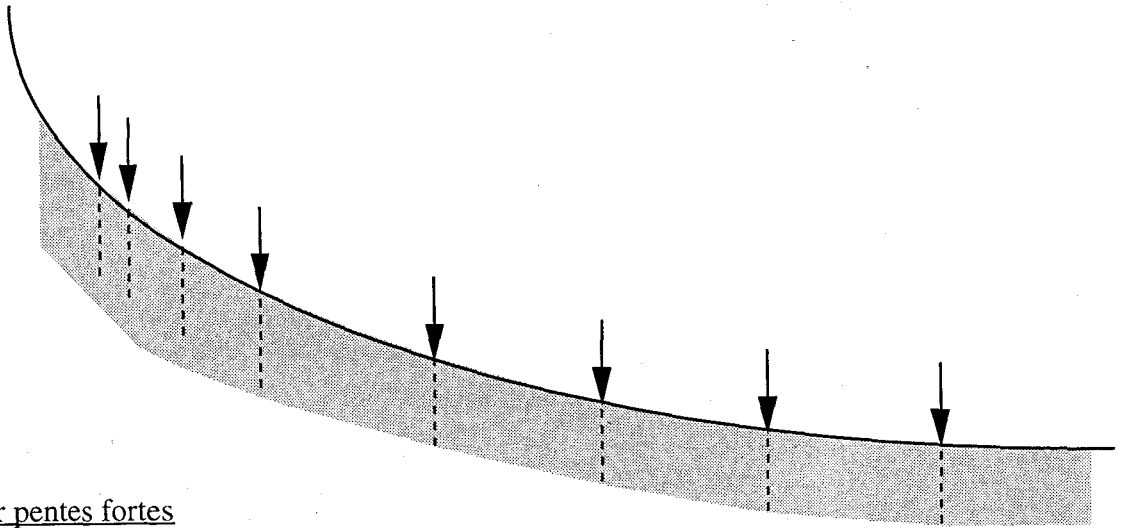
(***) Indice de compacité d'un BVEC, rapport entre le périmètre et la racine de la surface, multiplié par 0,28.

La longueur des talwegs à parcourir à Erlon est beaucoup plus courte. **Les possibilités d'infiltration en sont réduites** d'autant que les pentes y sont beaucoup plus fortes. De plus, la **densité de drainage est légèrement supérieure** à celle de Vierzy.

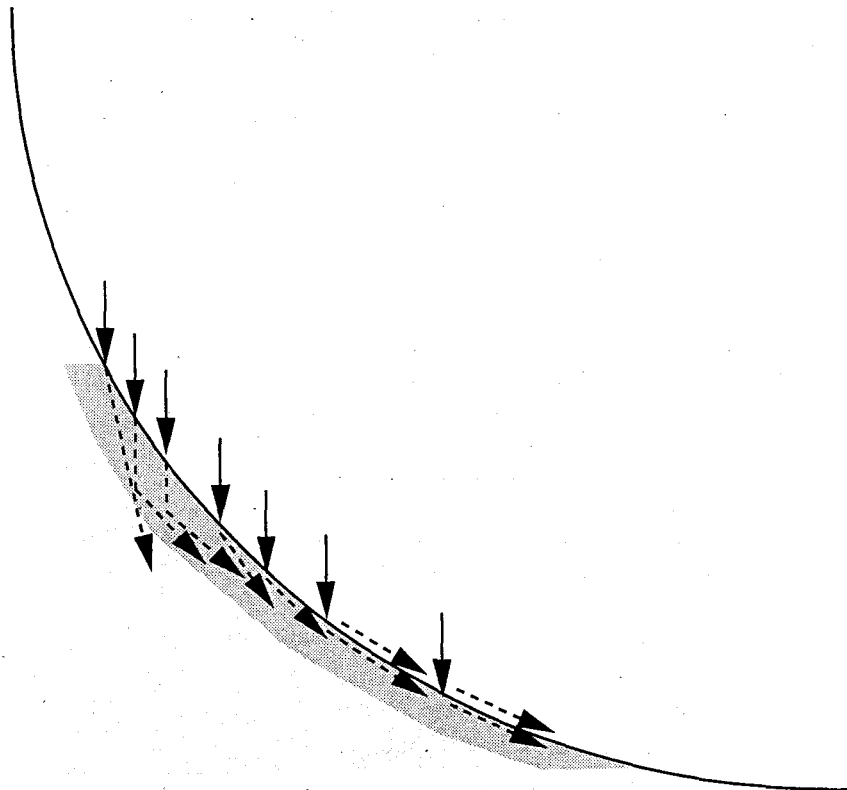
Les pentes sont beaucoup plus marquées, tant sur les versants que dans les talwegs. A Erlon, l'eau de pluie qui touche le sol s'infiltré moins facilement en raison des mouvements obliques de l'eau déjà infiltrée dans le sol. A Vierzy, les pentes étant beaucoup moins fortes, cet effet pousoir n'existe pas fig. II - 1 - 3 - 1 - a).

Figure II - 1 - 3 - 1 - a : Déplacements de l'eau sur des versants de pentes différentes

Sur pentes faibles



Sur pentes fortes



II - 1 - 3 - 2 - Des pentes très contrastées

Les cartes des pentes, présentées dans le premier chapitre (fig. I - 1 - 2 - 1 - d et I - 1 - 2 - 2 - c), mettent en évidence de nombreux contrastes. Elles ont été réalisées à partir d'une série de relevés topographiques (février 1994) qui ont permis de préciser et de détailler le tracé des courbes de niveau IGN assez imprécises et donc les pentes. Des courbes de niveau d'équidistance 1 m ont été tracées. C'est à partir de ces courbes que les cartes des pentes ont été réalisées.

Les classes de pentes retenues sont les suivantes :

[0, 1 % [
 [1, 2 % [
 [2, 3 % [
 [3, 4 % [
 [4, 5 % [
 [5 %, + [dont [8 %, + [pour le site d'Erlon aux pentes plus contrastées.

Ces seuils ont été choisis pour diverses raisons. Les surfaces dont les pentes sont inférieures à 1 % jouent un rôle négligeable sur le ruissellement. Par contre, elles sont susceptibles de stocker un volume d'eau important sous forme de flaques dans des micro-cuvettes et de favoriser les infiltrations. L'inclinaison de 3 % représente un seuil aux Etats-Unis permettant de distinguer la plaine de la pénéplaine (NEBOIT, 1983). Les surfaces dont les pentes sont supérieures à 5 % présentent une inclinaison très favorable à la formation du ruissellement et à la concentration rapide des écoulements. Enfin, le seuil de 8 % permet de distinguer les zones de pente forte et très forte.

Tableau II - 1 - 2 - 2 - a : Surface dans chaque classe de pentes (en % de la surface du BVEC)

Pentes	BVEC D'ERLON	BVEC DE VIERZY
[0, 1 % [	0	29
[1, 2 % [	9	30
[2, 3 % [	11	18
[3, 4 % [	14	10
[4, 5 % [	11	6
[5 %, + [	55	7
[8 %, + [	21	-

Ainsi, le bassin versant d'Erlon présente **des versants à fortes pentes**, en partie sur les deux tiers aval. Sur le site de **Vierzy**, **les pentes sont plus régulières et plus modérées** (1 à 3 %) au fur et à mesure que l'on pénètre vers l'intérieur du plateau. En bordure du plateau, plus on se rapproche du talus, plus les pentes s'accroissent, en particulier sur le versant nord. C'est le résultat d'une érosion dissymétrique du calcaire des versants en bordure de plateau (liée au pendage des couches géologiques).

- A Vierzy, les pentes sont plus accentuées en se rapprochant de l'exutoire, en particulier sur le versant nord. Le haut du bassin présente des pentes faibles. Le talweg principal montre de très faibles pentes qui augmentent très légèrement vers l'aval, mais restent très modérées (inférieures à 2 %). Les talwegs secondaires se classent en deux groupes : ceux situés sur la partie amont, à pentes faibles (2-3 %), ceux situés sur la partie aval à pentes plus marquées (3-4%).

- A Erlon, pentes et talwegs sont fortement inclinés (pente supérieure à 5 % sur plus de la moitié du BVEC). Seul le haut du bassin présente des pentes un peu moins fortes (pentes de 2-3 %).

A Vierzy, les lignes de concentration sont longues et peu pentues (fig. II - 1 - 2 - 2 - d). De plus, elles sont peu encaissées. Par rapport à la surface considérée, leur densité est faible. Le potentiel de rassemblement des eaux apparaît ainsi supérieur à Erlon (fig. II - 1 - 2 - 2 - c). Plus un bassin est grand, plus les relais sont nombreux, plus le temps de contact entre le sol et l'eau est long, plus les possibilités d'infiltration sont accrues. Ce qui n'est pas le cas dans le petit bassin où **les pentes sont beaucoup plus marquées.**

En résumé, à Vierzy, le schéma de déclenchement des ruissellements est assez simple :

- cas des longues pluies hivernales :

faible intensité (<24 mm/h pendant 1 mn), cumul des dix jours antérieurs supérieur à 50 mm, lame d'eau 20 mm (10 mm si sol très saturé) -----> exemples décembre 1993, janvier 1995.

- cas des fortes pluies hivernales :

faible intensité (<24 mm/h pendant 1 mn), cumul des dix jours antérieurs inférieur à 30 mm, lame d'eau supérieure à 50 mm -----> exemple janvier 1993.

- cas des violents orages :

forte intensité (>24 mm/h pendant 1 mn), cumul des dix jours antérieurs inférieur à 30 mm, lame d'eau supérieure à 50 mm-----> exemple juillet 1995.

On peut qualifier une pluie de "pluie à risque de ruissellement faible" pour une lame d'eau de moins de 10 mm, de "pluie à risque notable" pour 15 mm, de "pluie à risque élevé" pour 20-30 mm, et de "pluie à ruissellement presque inévitable" pour 50 mm. Quand on sait que statistiquement une pluie locale de 20 mm en 2 heures à une période de retour de 2 ans (30 mm en 2 heures, 10 ans), on comprend pourquoi les ruissellements sont moins fréquents à Vierzy.

Le nombre des ruissellements à Vierzy est en étroite relation avec la fréquence de retour de ces lames d'eau élevées. Or les courbes classées de pluies journalières ou cumulées sur 3 ans montrent que les lames d'eau supérieures à 20 mm ou 50 mm sont peu nombreuses.

20 à 25 mm, c'est aussi la lame d'eau nécessaire à la saturation sur 5 cm d'épaisseur de la couche superficielle d'un sol limoneux travaillé. Si cette lame d'eau tombe en moins de deux heures, les transferts vers les couches sous-jacentes et l'évaporation sont négligeables (MONNIER et al, 1986). Ces chiffres montrent qu'à Vierzy le ruissellement se déclenche probablement après saturation d'une certaine épaisseur de sol. Ceci pourrait expliquer que **la lame d'eau nécessaire au déclenchement du ruissellement ne soit pas proportionnelle à la surface.**

Figure II - 1 - 2 - 2 - c : Profils en long du talweg principal et des talwegs secondaires à Erlon (d'après les relevés topographiques de février 1994)

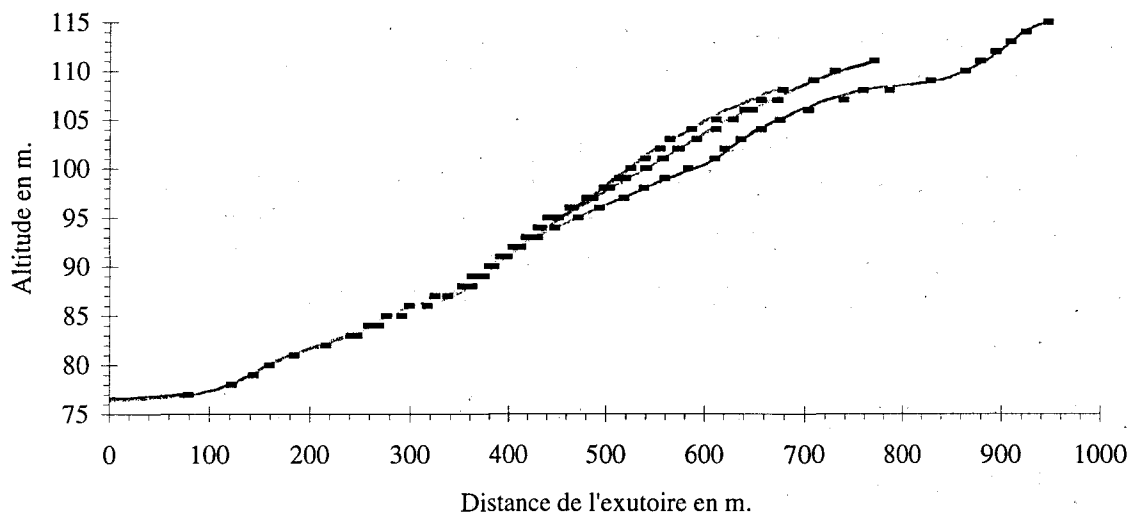


Figure II - 1 - 2 - 2 - d : Profils en long du talweg principal et des talwegs secondaires à Vierzy (d'après les relevés topographiques de février 1994)

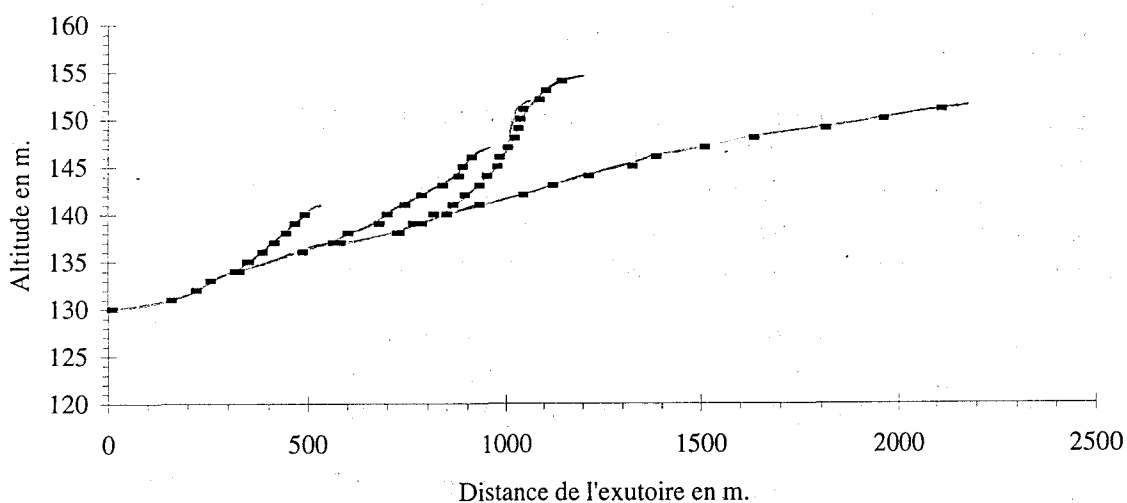


Tableau II - 1 - 2 - 5 - b : Synthèse des seuils de pluie nécessaire au déclenchement des ruissellements

	Erlon printemps/été	Erlon hiver	Vierzy printemps/été	Vierzy hiver
Pluie journalière en mm.	16	< 5	50	20
Pluie cumulée sur les 8 jours précédents en mm.	quelconque	20	quelconque	50
Intensité maxi pendant au moins 10 mn en mm/h.	60	< 5	90	20

II - 2 - Amplitude et forme des ruissellements

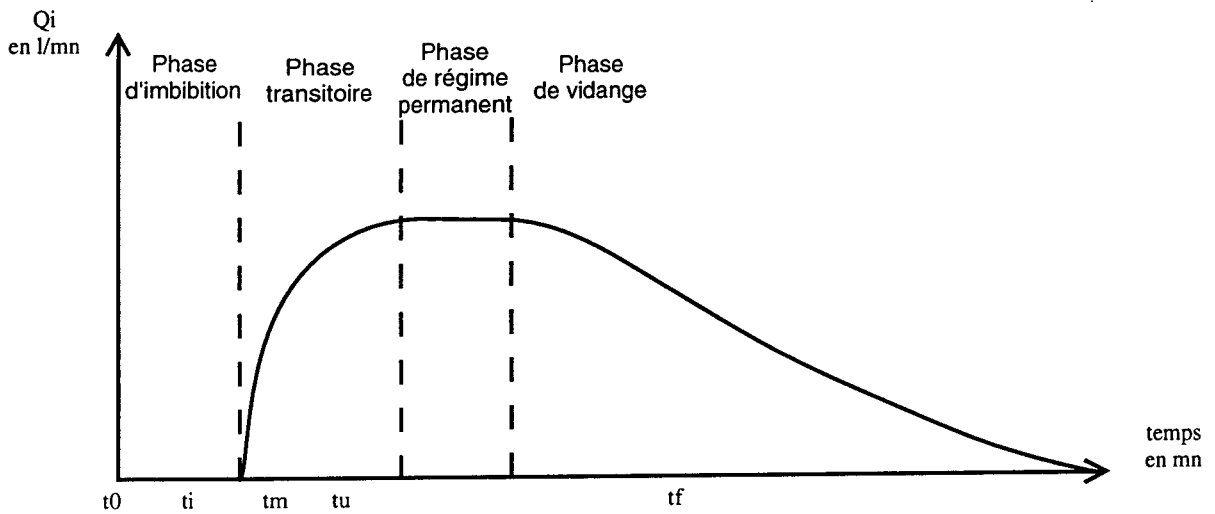
Les bassins versants doivent être considérés comme une grande parcelle dont le comportement correspond à la somme de tous les effets des parcelles du bassin versant, mais pas la somme de tous les ruissellements de ces parcelles (COSANDEY, 1991 ; BERNARD-ALLEE, COSANDEY, 1991). Les situations sont complexes car il y a combinaison de facteurs temporels et spatiaux comme la répartition de la pluie, la variation des intensités, les situations culturales, les humidités initiales, les relais entre parcelles, etc. Les conditions d'ensemble sont totalement différentes de celles rencontrées lors de simulation sur parcelles où pour des conditions culturales données et une humidité initiale identique, on peut tester l'intensité de la pluie ou encore pour une intensité constante, on peut tester le rôle de l'humidité initiale, etc.

Dans le cas présent, les écoulements sont caractérisés par leur :

- volume (V en m^3),
- débit instantané maximum (Q_i max en l/mn),
- coefficient de ruissellement, rapport entre le volume ruisselé et le volume d'eau tombé au cours de l'averse (CR),
- temps de réponse, temps écoulé entre le début de la pluie et le début du ruissellement (t_r),
- temps de concentration, temps écoulé entre le début du ruissellement et le débit instantané maximum (t_c),
- durées de pluie et de ruissellement,
- hydrogramme, courbe des débits instantanés en fonction du temps.

Pour un ruissellement de type hortonnien, c'est-à-dire un ruissellement consécutif à la saturation de l'horizon de surface, sans interférence avec une nappe, l'hydrogramme comporte quatre phases successives (TREVISAN, 1986) : d'imbibition, transitoire, de régime permanent et de décrue. Dans le contexte de cette étude, un découpage en phases a été adopté. Toutefois, la définition de chacune des phases a été légèrement élargie de façon à introduire les effets de la battance, de piston et de ruissellement hypodermique, effets non encore démontrés mais supposés existants sur les BVEC. Les phases se définissent ainsi (fig. II - 2 - a) :

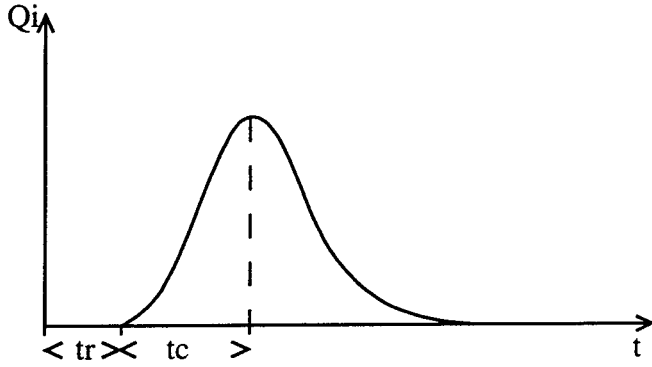
- La phase d'imbibition au cours de laquelle l'intensité de l'infiltration de l'eau dans le sol est supérieure à l'intensité de la pluie. Le ruissellement est nul. La durée de cette phase d'imbibition permet de déterminer la hauteur d'eau absorbée par le sol avant que le ruissellement ne se déclenche (temps de réponse). Cette phase peut aussi correspondre au temps de formation de la croûte de battance sous l'effet des gouttes de pluie.
- La phase transitoire au cours de laquelle le débit instantané augmente (temps de concentration), soit par apport de ruissellement direct, soit par effet piston.
- La phase de régime permanent, au cours de laquelle le débit maximum atteint se maintient. Elle est en général courte.
- La phase de décrue après l'arrêt de la pluie, qui informe sur le temps de "vidange" du bassin, tant lié aux apports de surface lointains qu'aux apports hypodermiques différés.

Figure II - 2 - a : Phases caractéristiques de l'hydrogramme de ruissellement

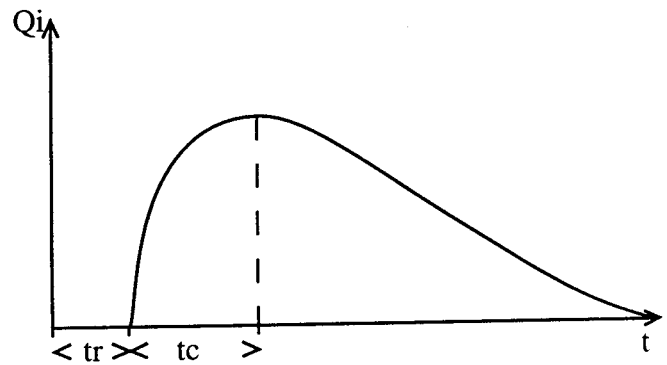
L'allure des hydrogrammes de crue observés peut être variable (fig. II - 2 - b, ci-après). Quatre grandes formes se dégagent. Les deux premiers types correspondent essentiellement à des averses "simples" et assez courtes. Les deux derniers se rapportent à des averses prolongées ou successives ou rapprochées dans le temps et à des ruissellements mélangés. L'hydrogramme présente différents pics qui répondent à des écoulements et des capacités d'infiltrations différentes.

Figure II - 2 - b : Différents types d'hydrogrammes observés sur les BVEC

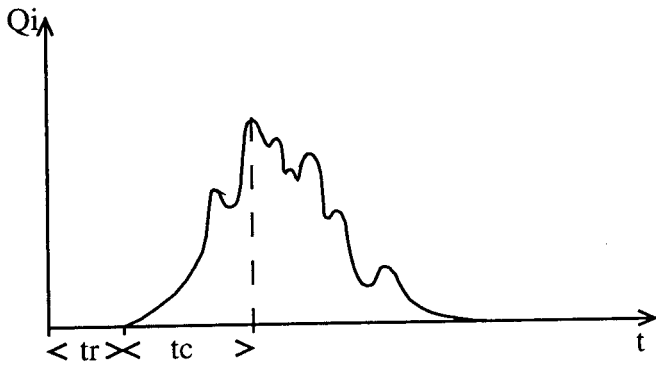
(1) De type sigmoïdale,
arrivée progressive de la vague.



(2) De type exponentiel,
arrivée brusque de la vague.



(3) De type sigmoïdale et complexe,
arrivée de plusieurs vagues superposées.



(4) De type complexe et exponentiel,
arrivée de plusieurs vagues superposées.

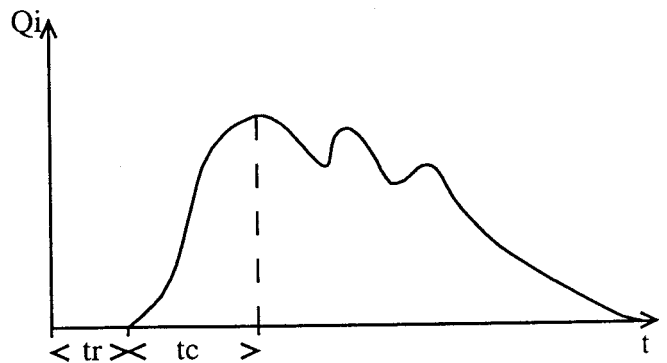
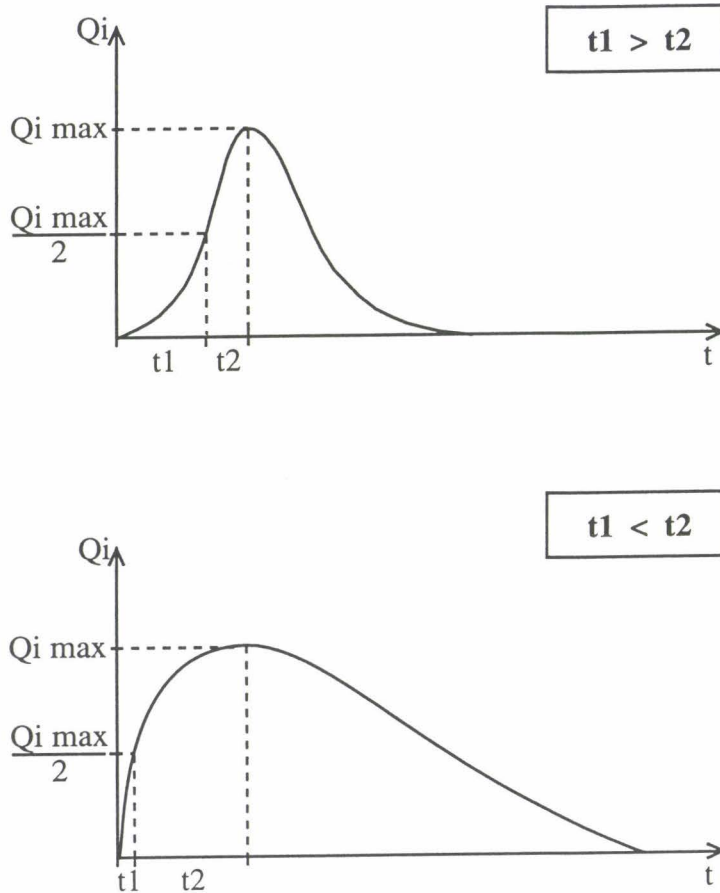


Figure II - 2 - c : Différenciation des hydrogrammes de type sigmoïdale ou exponentiel



La phase d'imbibition permet de déterminer le temps (temps de réponse) et la lame d'eau (seuil de saturation) nécessaire à la saturation du sol en eau et au remplissage des dépressions présentes sur le bassin.

Alors que l'intensité d'infiltration diminue, l'eau en mouvement augmente et se concentre. Pendant la phase transitoire, le ruissellement prend des valeurs de plus en plus importantes (temps de concentration).

Au cours de la phase de régime permanent, le ruissellement, c'est à dire la lame d'eau mobile, atteint une valeur maximale qui dépend de la vitesse de formation du ruissellement (intensités des pluies et limites de l'infiltration), des pentes et des distances à parcourir.

C'est au cours de cette période, que l'on peut déterminer l'intensité d'infiltration limite :

$$F(t) = I(t) - R(t)$$

$F(t)$: intensité d'infiltration

$I(t)$: intensité de la pluie

$R(t)$: intensité du ruissellement

II - 2 - 1 - Ordre de grandeur varié des ruissellements et des coefficients de ruissellement

Pour chacun des BVEC, on observe de gros ou petits ruissellements, des ruissellements longs ou courts, des ruissellements quasi continus sur plusieurs jours.

II - 2 - 1 - 1 - Ordre de grandeur et fréquence des ruissellements

Sur les deux sites, toutes proportions gardées, les ruissellements les plus fréquents sont ceux dont le débit maximum ($Q_i \text{ max}$) est inférieur à 100 l/mn et dont les volumes (V) sont inférieurs à 1 m³ (tab. II - 2 - 1 - 1 - a et b, ci-après). Toutefois, le pourcentage de ruissellements supérieurs à 100 m³ est plus important à Vierzy. En moyenne, $Q_i \text{ max}$ et V sont bien supérieurs à Vierzy. Sur les deux sites, la variabilité est très importante (écarts types élevés). Mais à Erlon, les médianes faibles (9 l/mn et 0,8 m³) montrent la forte proportion de petits ruissellements. Pourtant, c'est sur ce site que l'on a enregistré le plus fort $Q_i \text{ max}$ (tab. II - 2 - 1 - 1 - e).

En valeur relative, c'est-à-dire rapportée à l'hectare, le site d'Erlon présente une majorité de ruissellements dont $Q_i \text{ max}$ est supérieur à 0,06 l/mn/ha, c'est l'inverse à Vierzy. En ce qui concerne les volumes, la plus grande partie des ruissellements se situent entre 0,01 et 0,05 l/mn/ha à Erlon et en dessous de 0,01 l/mn/ha à Vierzy (tab. II - 2 - 1 - 1 - c et d, ci-après). De même, les moyennes et les valeurs maximales de $Q_i \text{ max}$ et de V , deviennent bien supérieures à Erlon quand on considère les valeurs relatives (tab II - 2 - 1 - 1 - e).

La répartition tant des $Q_i \text{ max}$ que des V à Erlon et à Vierzy est plus homogène quand on observe les valeurs absolues (l/mn et m³). Les valeurs relatives (l/mn/ha et m³/ha) accentuent quant à elle l'influence de la taille des BVEC. Proportionnellement à sa taille, le site de Vierzy est affecté par des ruissellements peu volumineux et peu violents (sauf exception comme juillet 1995).

Tableau II - 2 - 1 - 1 - a : Comparaison du nombre de ruissellements en fonction des débits maxima

1993 à 1995	Erlon	Vierzy
nb de ruissellements dont $Q_i \geq 30\ 000$ l/mn	1 (0,7 %)	1 (3,8 %)
nb de ruissellements dont $30\ 000 > Q_i \geq 1\ 000$ l/mn	10 (6,7 %)	2 (7,7 %)
nb de ruissellements dont $1\ 000 > Q_i \geq 100$ l/mn	16 (10,7 %)	5 (19,2 %)
nb de ruissellements dont $100 > Q_i \geq 1$ l/mn	67 (44,7 %)	10 (38,5 %)
nb de ruissellements dont $1 > Q_i$ l/mn	50 (33,3 %)	8 (30,8 %)
nb de ruissellements sans informations (*)	6 (4 %)	0
nb total de ruissellements	150 (100 %)	26 (100 %)

(*) suite à un arrêt total de la station

Tableau II - 2 - 1 - 1 - b : Comparaison du nombre de ruissellement en fonction du volume ruisselé

1993 à 1995	Erlon	Vierzy
nb de ruissellements dont $V \geq 100$ m ³	9 (6 %)	4 (15,4 %)
nb de ruissellements dont $100 > V \geq 1$ m ³	38 (25,3 %)	9 (34,6 %)
nb de ruissellements dont $1 > V$ m ³	97 (64,7 %)	13 (50 %)
nb de ruissellements sans informations (*)	6 (4 %)	0
nb total de ruissellements	150 (100 %)	26 (100 %)

(*) suite à un arrêt total de la station

Tableau II - 2 - 1 - 1 - c : Comparaison du nombre de ruissellements en fonction des débits maxima relatifs

1993 à 1995	Erlon	Vierzy
nb de ruissellements dont $Q_i \geq 1\ 500$ l/mn/ha	1 (0,7 %)	0 (0 %)
nb de ruissellements dont $1\ 500 > Q_i \geq 150$ l/mn/ha	2 (1,3 %)	1 (4 %)
nb de ruissellements dont $150 > Q_i \geq 50$ l/mn/ha	10 (6,7 %)	0 (0 %)
nb de ruissellements dont $50 > Q_i \geq 5$ l/mn/ha	17 (11,3 %)	3 (11,5 %)
nb de ruissellements dont $5 > Q_i \geq 0,5$ l/mn/ha	19 (12,6 %)	4 (15,3 %)
nb de ruissellements dont $0,5 > Q_i \geq 0,06$ l/mn/ha	45 (30 %)	3 (11,5 %)
nb de ruissellements dont $0,06 > Q_i$ l/mn/ha	50 (33 %)	15 (57,7 %)
nb de ruissellements sans informations (*)	6 (4 %)	0 (0 %)
nb total de ruissellements	150 (100 %)	26 (100 %)

(*) suite à un arrêt total de la station

Tableau II - 2 - 1 - 1 - d : Comparaison du nombre de ruissellements en fonction du volume ruisselé relatif

1993 à 1995	Erlon	Vierzy
dont nb de ruissellements dont $V \geq 50$ m ³ /ha	2 (1,3 %)	0 (0 %)
nb de ruissellements dont $V \geq 5$ m ³ /ha	10 (6,7 %)	1 (3,8 %)
nb de ruissellements dont $5 > V \geq 0,5$ m ³ /ha	15 (10 %)	2 (7,7 %)
nb de ruissellements dont $0,5 > V \geq 0,05$ m ³ /ha	18 (12)	4 (15,4 %)
nb de ruissellements dont $0,05 > V \geq 0,01$ m ³ /ha	66 (44 %)	8 (30,8 %)
nb de ruissellements dont $0,01 > V$ m ³ /ha	33 (22 %)	11 (42,3 %)
nb de ruissellements sans informations (*)	6 (4 %)	0 (0 %)
nb total de ruissellements	150 (100 %)	26 (100 %)

(*) suite à un arrêt total de la station

Tableau II - 2 - 1 - 1 - e : Comparaison des valeurs de débits maxima et de volumes

1993 à 1995	Erlon		Vierzy	
	Qi en l/mn (en l/mn/ha)	V en m ³ (en m ³ /ha)	Qi en l/mn (en l/mn/ha)	V en m ³ (en m ³ /ha)
moyenne	318 (17,6)	25,6 (1,4)	639 (3,6)	103,3 (0,6)
écart type	980 (54,4)	736,3 (40,9)	1 507 (8,4)	203,4 (1,1)
médiane	9 (0,5)	0,8 (0,04)	55 (0,3)	4,75 (0,03)
valeur maximum	8 500 (472,2)	645 (35,8)	6 000 (33,3)	900 (5)
valeur minimum	1 (0,05)	0,04 (0,002)	2 (0,01)	0,35 (0,002)
nb de ruissellements	93	93	17	17
variance	9 608 927	6 341 807	2 272 254	59 241 537
droite de régression $V = f(Q_i \text{ max})$ et r^2	$V = 75 Q_i \text{ max} + 1923$ $r^2 = 0,844$		$V = 158 Q_i \text{ max} + 2276$ $r^2 = 0,851$	

Nota bene : Ne sont considérés que les ruissellements dont le débit instantané maximum est supérieur ou égale à 1 l/mn, de façon à ne pas prendre en compte les ruissellements de proximités.

Les deux orages particulièrement violents qui ont affecté chacun des sites n'ont pas été inclus dans les calculs, d'une part en raison de l'importance des valeurs qui sont disproportionnées, d'autre part en raison de l'absence de résultats complets à Vierzy où la station a été détruite.

Les débits maxima et les volumes semblent être dépendants.

De fait, les **Qi max et les V sont relativement bien corrélés à Vierzy** (fig. II - 2 - 1 - 1 - a, ci-après). Deux droites de corrélation se détachent.

La première droite (celle du bas) correspond à deux types de ruissellements :

- d'une part les ruissellements inférieurs à 100 l/mn et à 100 m³, consécutifs aux pluies modérées (15 à 20 mm) peu intenses ;

- d'autre part les ruissellements des 3 janvier 1994 et 25 janvier 1995, ruissellements consécutifs à une faible lame d'eau (9-10 mm), une forte saturation du sol en eau et des intensités élevées (respectivement 5,2 et 6,95 mm/h pendant 1 heure, 24 et 48 mm/h pendant 1 mn). Les fortes intensités semblent entraîner un Qi max élevé, mais de volume réduit car les lames d'eau sont modestes.

La seconde droite (celle du haut) s'ajuste sur les ruissellements des 15 octobre 1993, 13 décembre 1993 et 20-21 décembre 1993, ruissellements consécutifs à des pluies de plus de 20 mm sur sols gorgés d'eau et des intensités moyennes. Qi max est associé à un volume supérieur, suite à une lame d'eau plus élevée.

Il semble donc qu'il existe deux relations distinctes entre les Qi max et les V, en relation avec le volume et l'intensité de la pluie.

A Erlon, la corrélation est moins bonne (fig. II - 2 - 1 - 1 - b, ci-après). Pour des Qi max inférieurs à 600 l/mn, les volumes sont inférieurs à 50 m³. Au dessus de ces valeurs, Qi max et V semblent indépendants. On remarque cependant que les points nettement **au dessus de la droite** (tab. II - 2 - 1 - 1 - f, ci-après) correspondent à des pluies hivernales notables de plus de 10 mm (lame d'eau élevée associée à un volume important). Par contre, les points nettement **au dessous de la droite** (tab. II - 2 - 1 - 1 - f, ci-après) renvoient soit à des averses orageuses (fortes intensités donc Qi max élevé, mais bonne absorption par les sols et donc faible V), soit à de faibles pluies hivernales (3-6 mm) sur sols saturés.

Figure II - 2 - 1 - 1 - a : Relation débits maxima et volumes à Vierzy

$V = 158 Q_i \text{ max} + 2276$ et $r^2 = 0,96$

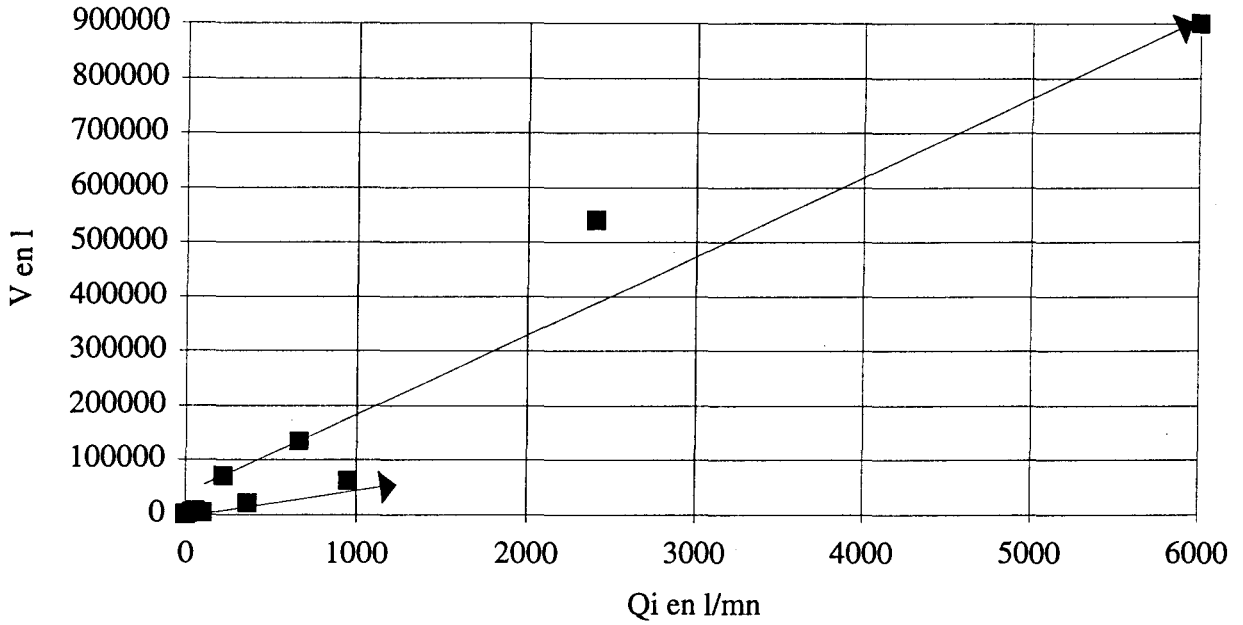


Figure II - 2 - 1 - 1 - b : Relation débits maxima et volumes à Erlon

$V = 74 Q_i \text{ max} + 1923$ et $r^2 = 0,84$

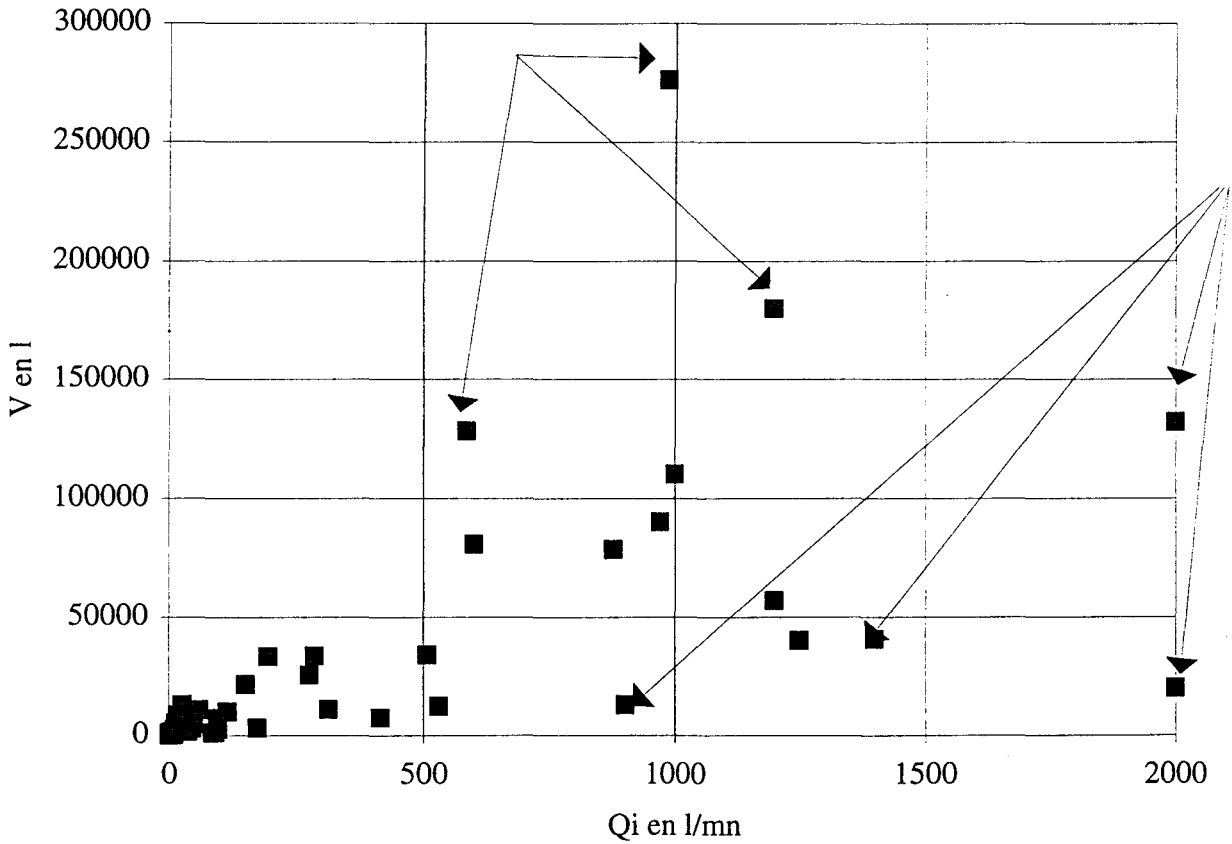


Tableau II - 2 - 1 - 1 - f : Caractéristiques de quelques points de la droite de régression $V = f(Q_i \text{ max})$ à Erlon

Dates	P jour en mm	P dix jours en mm	$Q_i \text{ max}$ en l/mn	V en m3	I max en mm/h pendant 1 mn	I max en mm/h pendant 1 h
points au dessus de la droite de régression						
17-Déc-93	12	62	585	128	3,8	2,8
16-Jan-94	13	19,5	985	276	3	2,3
12-Déc-93	16	36,5	1 200	180	4,3	3,3
points au dessous de la droite de régression						
24-Mai-94	9	44	900	13	-	-
24-Jul-94	25,5	4	2 000	20	120	25,1
27-Jan-94	5,5	15,5	1 400	40,5	15	2,3
04-Jan-94	4	18,3	1 250	40	10	3,5

Ainsi à Erlon comme à Vierzy, la relation $Q_i \text{ max}$ et V semble en étroite relation avec les dates des ruissellements et la nature de la pluie.

II - 2 - 1 - 2 - Les coefficients de ruissellement

Bien que les sols des bassins versants soient à dominante limoneuse, les coefficients de ruissellement (rapports entre la lame d'eau ruisselée et la lame d'eau tombée) sont toujours relativement faibles (tab. II - 2 - 1 - 2 - a, ci-après). Le maximum atteint est de 13,9 % à Erlon (août 1995) et de 3,6 % à Vierzy (décembre 1993, probablement supérieur lors de l'orage de juillet 1995). Ces valeurs sont très faibles en comparaison de celles mesurées sur des BVEC similaires du Pays de Caux. Sur ces sites aux sols très battants, les coefficients de ruissellement atteignent plus de 30 % (Le Bissonnais, Ben Khadra, comm. orale 1996). Les sols des bassins d'Erlon et de Vierzy disposent donc d'une bonne capacité d'absorption.

Les coefficients de ruissellement d'écoulements isolés sont en général les plus faibles (25 janvier 1995, 14 octobre 1993 à Vierzy, etc.), sauf dans le cas de très gros orages (6-7 août 1995 à Erlon).

Ils peuvent augmenter au cours de ruissellements successifs. On peut citer par exemple les 14 et 15 octobre 1993, 20 et 21 décembre à Vierzy, 10 et 13-14 novembre, 10 au 13 décembre 1993, 22 au 23 décembre 1993 à Erlon. Pour ce dernier exemple, on a un même coefficient de ruissellement pour une lame d'eau trois fois inférieures.

Toutefois, les coefficients de ruissellement n'augmentent pas toujours au cours d'une période pluvieuse. Il suffit pour cela d'une interruption de la pluie pendant quelques jours. Dans ce cas, pour une lame d'eau identique ou supérieure, le coefficient peut diminuer sans qu'aucune pratique culturale n'ait eu lieu. A Erlon, cette meilleure absorption - ce ressuyage - nécessite une interruption des pluies pendant quatre à cinq jours (entre le 13 et 17 décembre 1993). Il en faut une dizaine à Vierzy (pas de diminution entre le 12-13 décembre 1993 et le 20 décembre 1993 : seulement sept jours, diminution entre le 20-21 décembre 1993 et le 3 janvier 1994, soit 12 jours).

Cependant, cette capacité des sols à se ressuyer avec le temps "s'essouffle" : en janvier 1994, l'eau accumulée s'infiltré de plus en plus difficilement. Le 23 janvier, malgré huit jours sans ruissellement, le coefficient de ruissellement est encore élevé (en comparaison de celui du 23 décembre).

Tableau II - 2 - 1 - 2 - a : Coefficients de ruissellement à Erlon entre 1993 et 1995

Dates	P j en mm	averse du ruisel- lement en mm	lame d'eau d'imbi- bition en mm	autre(s) averse(s) juste avant	I max pd 1 mn en mm/h	I max pd 1 h en mm/h	Qi max en l/mn	V en m ³	CR en %
10-Nov-93	13,5	13	5	oui	3	2,18	1 200	57	2,4
13-14-Nov-93	16,5	11	3	oui	6	3,21	1 000	135,5	6,9
10-Déc-93	15	14	3,5	non	15	8,8	2 000	132	5,2
12-13-Déc-93	23	17,5	2	oui	30	3,5	2 170	180	5,7
13-déc-93	7	4,5	0,5	oui	7,5	3,5	970	91	11,2
17-Déc-93	12	12	0,5	non	8	2,79	585	128	5,9
19-Déc-93	20,5	15	0,5	oui	10	6,33	2 200	202	7,5
20-21-Déc-93	41	40	0,5	oui	30	7,87	8 500	645	8,9
22-23-Déc-93	10,5	6	3,5	oui	15	2,02	507	45,2	4,2
23-Déc-93	3,5	1,5	0,5	oui	15	1,5	313	11	4,1
24-Déc-93	9,5	4,5	0,5	oui	7,5	2,26	600	54	6,7
24-Déc-93	9,5	4,5	0,5	oui	5	2,26	233	26	3,2
04-Jan-94	4	4	1	oui	10	3,46	1 250	40	5,6
05-Jan-94	3,5	3,5	0,5	oui	1	0,93	150	21,6	3,4
12-Jan-94	5,5	5,5	0,5	oui	6	2,69	875	78,3	6,7
13-Jan-94	2	1,5	1	oui	15	1,5	530	12,4	4,6
14-Jan-94	1	1	0,5	oui	2	1	173	3,2	1,8
15-16-Jan-94	17	17	0,5	oui	3	2,33	985	309,5	10,1
23-Jan-94	1,5	1,5	0,5	oui	1	0,58	114	9,7	3,6
24-Jan-94	5	5	1	oui	2	1	194	33,3	3,7
26-Jan-94	2	1,5	1	oui	30	1,5	416	7,6	2,8
27-Jan-94	5,5	5,5	1	oui	15	2,25	1 400	40,5	4,1
24-Mai-94	9	4,2	0,5	oui	24	4,03	900	13	1,7
24-Jul-94	25,5	25,5	-	non	120	25,13	2 000	20	0,4
06-07-Aoû-95	102,5	99,5	40	oui	210	72,58	40 000	2 500	13,9

Nota bene : Lame d'eau d'imbibition : partie de l'averse précédant le début du ruissellement.

Les coefficients de ruissellement sont calculés par rapport à la pluie réellement à l'origine du ruissellement et au volume écoulé, parfois sur plusieurs jours.

Ils ne sont calculés que pour les ruissellements dont Qi max est supérieur à 100 l/mn. Pour les ruissellements dont Qi max est inférieur à 100 l/mn, les averses sont souvent longues et continues et les ruissellements ininterrompus, le calcul du CR est soumis à de multiples erreurs et n'a que peu de sens.

Tableau II - 2 - 1 - 2 - b : Coefficients de ruissellement à Vierzy entre 1993 et 1995

Dates	P j en mm	averse du ruisel- lement en mm	lame d'eau d'imbi- bition en mm	autre(s) averse(s) dans la journée	I max pd 1 mn en mm/h	I max pd 1 h en mm/h	Qi max en l/mn	V en m ³	CR en %
14-Oct-93	20,2	16,8	9,4	oui	24	4,23	101	3,8	0,02
14-15-Oct-93	6,2	10,2	7,2	oui	4	1,87	690	142,7	0,78
13-Déc-93	21	19	-	-	-	-	268	70,8	-
20-Déc-93	30,8	8,8	7,2	oui	24	8	234	71,4	0,21
20-21-Déc-93	35,2	22	4	oui	6	1,8	6 260	1 424	0,45
03-Jan-94	9,6	9,6	9,2	oui	24	5,2	956	64,7	3,60
25-Jan-95	20,6	10	9,7	oui	48	6,95	358	20,5	0,37
11-Jul-95	45,8	45	10,6	oui	108	-	> 33 000	>2 000	-

Nota bene : Lame d'eau d'imbibition : partie de l'averse précédant le début du ruissellement.

Les coefficients de ruissellement sont calculés par rapport à la pluie réellement à l'origine du ruissellement et au volume écoulé, parfois sur plusieurs jours.

Ils ne sont calculés que pour les ruissellements dont Qi max est supérieur à 100 l/mn. Pour les ruissellements dont Qi max est inférieur à 100 l/mn, les averses sont souvent longues et continues et les ruissellements ininterrompus, le calcul du CR est soumis à de multiples erreurs et n'a que peu de sens.

D'autres facteurs que la capacité d'absorption des sols interviennent sur ce coefficient, comme l'intensité de la pluie. Pour une averse équivalente le 14 octobre 1993 et le 25 janvier 1995, le coefficient est multiplié par 5. L'état de surface du sol et la couverture végétale sont pourtant moins favorables au ruissellement à cette date, mais les intensités sont plus fortes (12 contre 48 mm/h en 1 mn et 4 contre 7 mm/h en 1 h).

De multiples facteurs interviennent donc sur le coefficient de ruissellement. Toutefois, à Vierzy comme à Erlon, les volumes ruisselés apparaissent totalement indépendants des lames d'eau tombées (fig. II - 2 - 1 - 2 - a et c, ci-après). Il en est de même entre les débits instantanés maxima et les averses (fig. II - 2 - 1 - 2 - b et d).

Figure II - 2 - 1 - 2 - a : Corrélation averse et débits instantanés maxima à Erlon

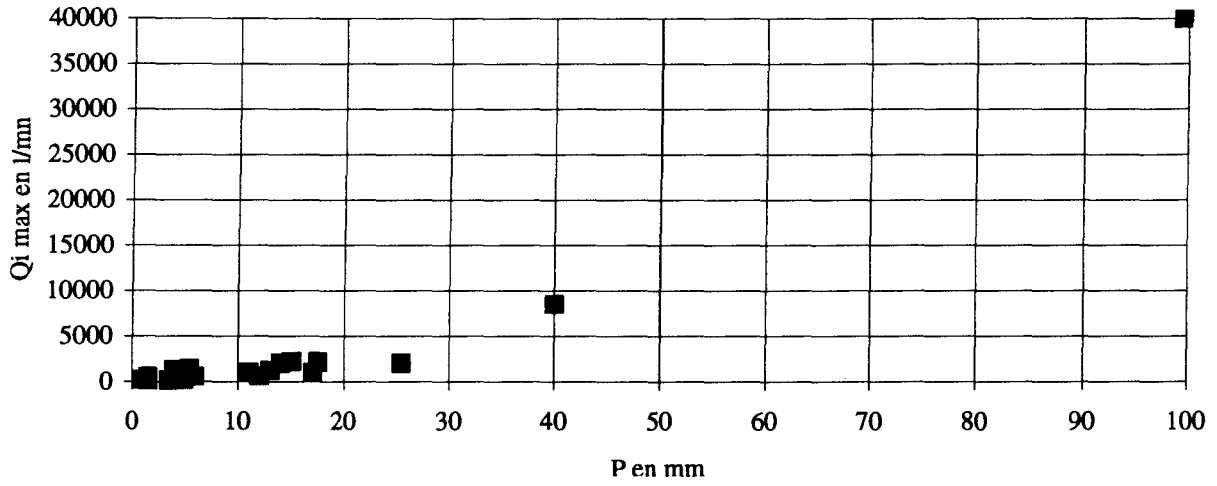


Figure II - 2 - 1 - 2 - b : Corrélation averse et volumes ruisselés à Erlon

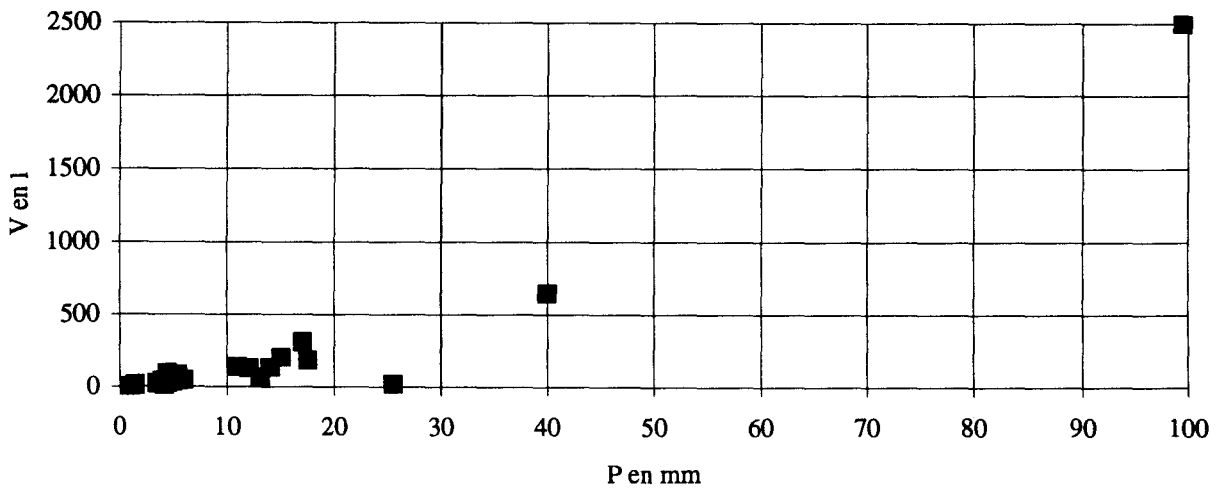


Figure II - 2 - 1 - 2 - c : Corrélation averse et débits instantanés maxima à Vierzy

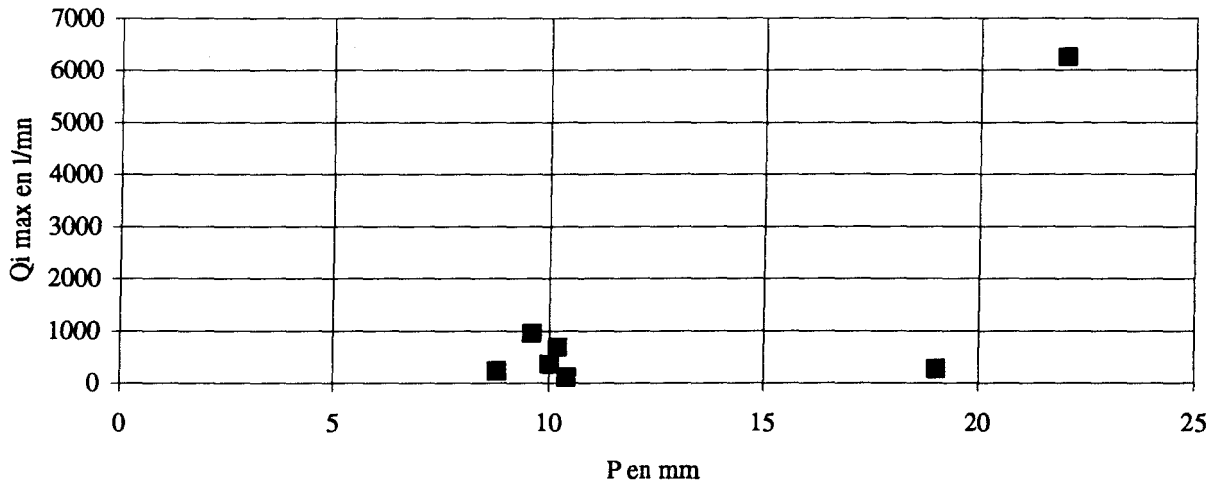
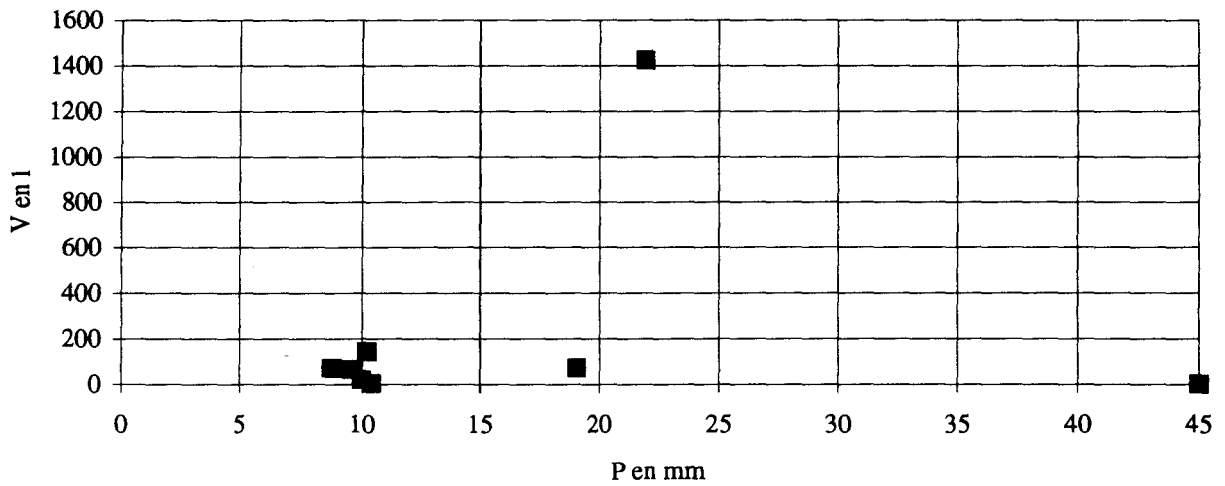


Figure II - 2 - 1 - 2 - d : Corrélation averse et volumes ruisselés à Vierzy



En résumé, les coefficients de ruissellement sont nettement supérieurs à Erlon qu'à Vierzy, ce qui confirme que l'infiltration y est moins importante. Ils augmentent considérablement au cours de ruissellements consécutifs et cette augmentation est beaucoup plus marquée à Vierzy qu'à Erlon (facteurs 2 à 80 à Vierzy et 3 à 10 à Erlon). Après quelques jours sans pluie, l'aptitude des sols encore saturés à absorber l'eau semble moins bonne à Vierzy qu'à Erlon. Les nuances existantes dans les textures de surface des deux sites peuvent, en plus de la morphologie des sites, expliquer ces différences de comportement.

II - 2 - 1 - 3 - Caractéristiques pédologiques voisines mais nuancées

Le coefficient de ruissellement, qui représente en fait la part de l'eau de pluie restituée par le bassin versant, indique différentes limites d'absorption des sols. Le rôle, sur l'infiltration, de la pente et des distances a déjà été abordé. Il reste à envisager celui de la texture des sols et des états de surface.

Les sols des BVEC sont limoneux, mais avec plus ou moins d'argile (2ème Partie, fig. I - 1 - 2 - 1 - b et I - 1 - 2 - 2 - b). Ces sols sont sensibles à un engorgement en eau et à la formation d'une croûte de battance sur laquelle le ruissellement peut se former à partir d'une intensité de 1 mm/h (1ère Partie, fig. I - 2 - 1 - 4 - b).

Tableau II - 2 - 1 - 3 - a : Surfaces en ha et en % pour chacune des textures de surface

Textures de surface 0-20 cm	Erlon (*)		Vierzy	
	S en ha	en %	S en ha	en %
LM versant	9,1	21,8	104,6	55,6
LM talweg	-	-	25,6	13,6
LA versant	27,7	66,3	55,8	29,7
LA talweg	3,2	7,6	-	-
LAS	-	-	1,9	1
AL	1,8	4,3	-	-
SL	-	-	0,3	0,1
Total	41,8	100	188,2	100

(*) Pour Erlon, les surfaces rapportées concernent l'ensemble du BVEC. La station n'est alimentée que par 20 ha.

Le bassin d'Erlon présente une faible dominance de limons moyens (22 %) par rapport aux limons argileux (74 % de la surface du bassin), à l'argile limoneuse, à l'argile et à l'argile lourde (bas de versant côté Est et Ouest, 5%). Vis-à-vis du risque de battance en relation avec la teneur en limons des sols (les limons moyens étant très sensibles à la battance, les limons argileux peu sensibles et les argiles non sensibles), la sensibilité des sols est donc modérée.

A l'égard du risque de saturation en eau, la présence d'argile est importante à noter : un sol argileux se gorge d'eau et limite l'infiltration. Ainsi, il peut y avoir formation de ruissellement suite à une saturation des sols en eau. Par contre, **le limon argileux résiste mieux à la déstructuration que le limon moyen**. De plus en cas d'interruption des pluies, **il se restructure plus vite** (Maucorps, comm. orale 1996). Cette caractéristique des limons argileux peut expliquer la différence de comportement des coefficients de ruissellements des deux sites en cas d'interruption des pluies. **A Vierzy, les limons se restructurent plus lentement, les coefficients de ruissellement restent élevés à la reprise des pluies.**

Sur le BVEC de Vierzy, les limons moyens sont très présents aussi bien sur les versants (55,6 %) que dans les talwegs (13,6 %). Les risques de battance sont supérieurs à ceux du site d'Erlon.

La potentialité à ruisseler en fonction de la pente est supérieure à Erlon, et celle en fonction des textures de surface est supérieure à Vierzy. Mais la confrontation des deux paramètres, pentes et texture de surfaces, montre que la susceptibilité à ruisseler est en fait moyenne, bien que plus élevée à Erlon (tab. II - 2 - 1 - 3 - b et fig. II - 2 - 1 - 3 - a). Par ailleurs, la formation en condition réelle du ruissellement dépend aussi des états de surface au moment de l'averse et donc des antécédents pluvieux, de la couverture du sol par la végétation et donc des facteurs culturaux.

Tableau II - 2 - 1 - 3 - b : Répartition des surfaces à risque de ruissellement en relation avec les textures de surface et les pentes à Erlon et Vierzy

	Erlon en %	Vierzy en %
très élevée	2	0
élevée	24	2
moyenne	48	59
faible	26	39
très faible	0	0

II - 2 - 1 - 4 - Influence des pratiques agraires sur le volume du ruissellement

Les facteurs culturaux qui influencent le volume des ruissellements sont les mêmes que ceux qui conditionnent les seuils de déclenchement des écoulements (2ème Partie, II - 1 - 2 - 5).

Une importante surface battante au printemps entraîne un fort coefficient de ruissellement (exemple de mai 1994 à Erlon, tab. II - 2 - 1 - 2 - a), alors que le sarclage (40 % du BVEC) fait baisser le volume d'eau ruisselé même si la pluie tombée est élevée (24 juillet 1994).

Le couvert végétal, dans le cas de très violents orages (juillet 1995 à Vierzy et août 1995 à Erlon) limite les effets catastrophiques des pluies exceptionnelles. La végétation intercepte en partie les très fortes pluies : les coefficients de ruissellements ne sont pas exceptionnellement élevés. Les dégâts aux cultures et aux communes auraient été très supérieurs si les orages étaient survenus en mai ou juin alors que la végétation n'était pas encore très développée...

En hiver, entre les 13-14 novembre 1993 et le 10 décembre 1993, le coefficient de ruissellement reste constant. Le labour sur 40 % de la partie amont du BV permet d'atténuer les effets d'une pluie à très forte intensité le 10 décembre (annexe 21).

De même, la proportion de labour à Vierzy, entre les 14 octobre 1993 et 25 janvier 1995, fait que le ruissellement se déclenche beaucoup plus tard dans l'hiver (tab II - 2 - 1 - 2 - a et annexe 21).

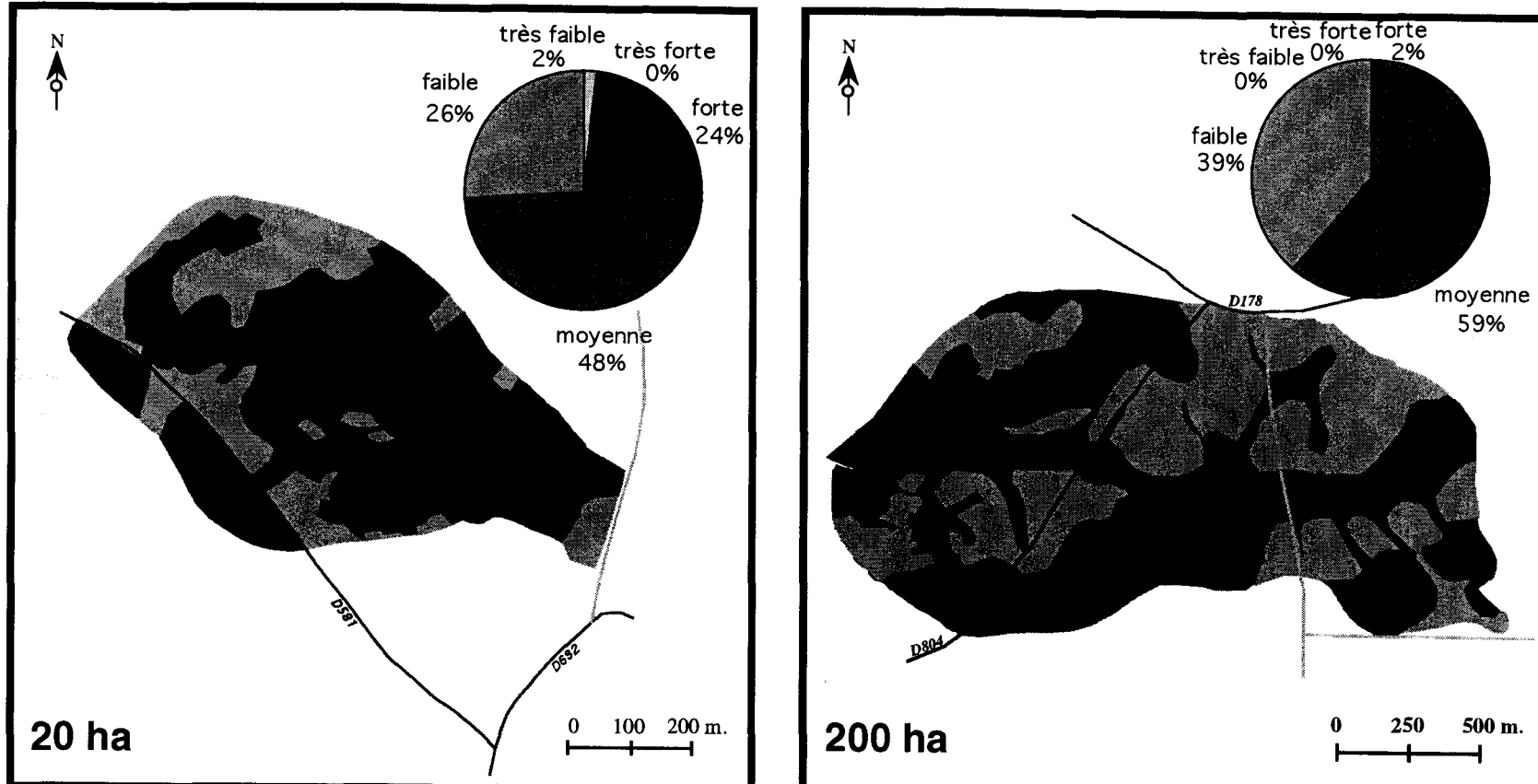
Les facteurs culturaux entraînent donc des variations nombreuses et complexes des seuils de déclenchement et des volumes des ruissellements. La difficulté d'interprétation est accrue par l'hétérogénéité des parcelles. Par contre, la grande taille du site de Vierzy, entraînant une diversité permanente, semble homogénéiser les seuils et les réponses.

Susceptibilité à émettre du ruissellement en fonction des pentes et des textures de surface

Figure II - 2 - 1 - 3 - a : Susceptibilité à ruisseller en fonction des pentes et des textures de surface à Erlon et à Vierzy

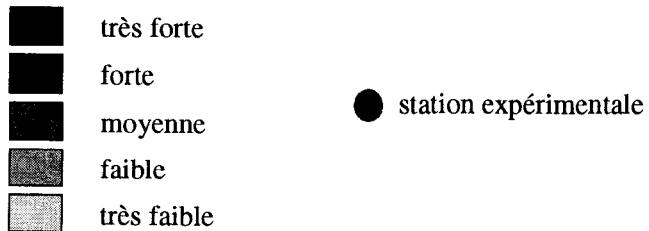
Erlon

Vierzy



20 ha

200 ha



Texture / Pente	LM (fort)	LA et LAS (moyen)	A (faible)
[6 % ; + [	très forte	très forte	très forte
[3 ; 6 % [	forte	forte	faible
[0 ; 3 % [	forte	moyenne	très faible

II - 2 - 2 - Formes du ruissellement : les hydrogrammes

II - 2 - 2 - 1 - Classification des hydrogrammes

La classification présentée ci-dessus (2ème Partie, II - 2) a été appliquée aux ruissellements des deux sites (les ruissellements sont représentés en annexe 14).

Lorsque les conditions de déclenchement sont réunies, le ruissellement se produit. La forme de l'hydrogramme va dépendre de plusieurs facteurs. Les pics simples sont liés à l'arrivée d'une seule vague de ruissellement ou à plusieurs vagues simultanées (peu probable). La réponse du bassin est alors unique et homogène. La pluie d'origine est dans ce cas simple (continue), ce qui implique que les réponses des sols des différentes parcelles soient soit identiques et immédiates, soit "lissées" par le trajet jusqu'à l'exutoire. Les pics complexes sont liées à l'arrivée de plusieurs vagues. Ces vagues peuvent résulter soit de pluies complexes ou successives, soit de pics d'intensité qui entraînent un accroissement temporaire du ruissellement, soit de réponses différées de certaines parcelles. La forme de la courbe - sigmoïdale ou exponentielle - peut résulter de l'effet direct de l'intensité de la pluie ou/et des capacités d'infiltration du sol.

Comment interviennent ces facteurs ?

En dépit de pentes plus fortes, les ruissellements se produisant à Erlon sont presque tous de type 1 ou 3, c'est à dire de type sigmoïdal (tab. II - 2 - 2 - 1 - a). A Vierzy, les hydrogrammes sont plus variés, mais le type 2, exponentiel, est plus fréquent. Les ruissellements de différents types peuvent se succéder (tab. II - 2 - 2 - 1 - b).

A Erlon, les ruissellements de type 1 semblent correspondre à des averses courtes ayant un pic d'intensité ou des pics d'intensités groupés. Les écoulements de type 3 sont consécutifs à des pluies longues, à plusieurs averses consécutives et des pics d'intensités distincts. Quant à la coulée de type 4, elle résulte d'intensités particulièrement fortes.

A Vierzy, ce schéma est moins net. Les ruissellements de type 2 et 4 sont plus nombreux et ne correspondent pas à des intensités très fortes, mais moyennes à fortes. Par contre, le maintien de ces intensités pendant plusieurs minutes, ou une diminution brusque peut expliquer la forme de l'hydrogramme, comme le montrent les exemples qui suivent.

Les ruissellements des 20 décembre 1993 et 3 janvier 1994 présentent certaines similitudes : les Q_i max et les V sont très voisins. La lame d'eau à l'origine du ruissellement est presque identique. Par contre, les intensités se répartissent différemment. Le 20 décembre, un pic d'intensité à 12 mm/h déclenche le ruissellement, puis des intensités de 6 mm/h le maintiennent : l'écoulement est de type 1. Le 3 janvier, les intensités se maintiennent à 24 mm/h pendant 5 mn, puis à 12 mm/h pendant plus de 10 mn : on observe un type 2.

Autres exemples, le 14 octobre 1993 et le 25 janvier 1995, pour des conditions comparables aux deux exemples ci-dessus, Q_i max et V restent inférieurs (les ruissellements sont isolés, les capacités d'absorption des sols sont probablement encore importantes), mais les hydrogrammes sont très comparables.

Le 25 janvier 1995, après trois pics d'intensités élevés (48 mm/h), les intensités se maintiennent pendant une longue durée à 12 mm/h. Le 14 octobre 1993, les intensités atteignent trois fois 12 mm/h, mais par intermittence, ce qui ne suffit pas pour entraîner un ruissellement de type 2. Les intensités semblent donc jouer un rôle important.

Tableau II - 2 - 2 - 1 - a : Classification des hydrogrammes et caractéristiques des ruissellements à Erlon

Dates	Types	P j en mm	P 10j en mm	Qi max en l/mn	V en m ³	I max pd 1 mn en mm/h	I max pd 1 h en mm/h	Remarques sur les intensités des pluies en mm/h
10-Nov-93	3	13,5	0,5	1 200	57	3	2,2	plusieurs pics faibles
13-14-Nov-93	1	16,5	25,5	1 000	135,5	6	3,2	pics faibles et groupés
10-Déc-93	3	15	16	2 000	132	15	8,8	pics moyens et intermittents
12-13-Déc-93	3	23	48,5	2 170	180	30	3,5	pics faibles et étalés dans le temps
13-Déc-93	1	7	64,5	970	91	7,5	3,5	pics moyens et groupés
17-Déc-93	3	12	62	585	128	8	2,8	pics faibles et étalés dans le temps
19-Déc-93	3	20,5	65,5	2 200	202	10	6,3	pics moyens se maintenant
20-21-Déc-93	3	41	84,5	8 500	645	30	7,9	pics moyens et élevés se maintenant
22-23-Déc-93	3	10,5	108,5	507	45,2	15	2,0	pics moyens intermittents
23-Déc-93	1	3,5	99,5	313	11	15	1,5	pic moyen et isolé
24-Déc-93	3	9,5	96	600	80,7	7,5	2,3	pics faibles et moyens isolés
04-Jan-94	3	4	18,3	1 250	40	10	3,5	pics faibles, puis moyens
05-Jan-94	3	3,5	20,3	150	21,6	1	0,9	pics faibles et isolés
12-Jan-94	3	5,5	20,5	875	78,3	6	2,7	pics faibles et moyens
13-Jan-94	1	2	22,7	530	12,4	15	1,5	pic élevé isolé
14-Jan-94	1	1	22	173	3,2	2	1	pic élevé isolé
15-16-Jan-94	3	17	19,5	985	309,5	3	2,3	pics faibles et étalés dans le temps
23-Jan-94	3	1,5	25	114	9,7	1	0,6	pics faibles
24-Jan-94	3	5	24,5	194	33,3	2	1	pics faibles et étalés dans le temps
26-Jan-94	1	2	26,5	416	7,6	30	1,5	pic élevé isolé
27-Jan-94	3	5,5	15,5	1 400	40,5	15	2,3	pics faibles et moyens
24-Mai-94	1	9	44	900	13	24	4,0	pics élevés et groupés
24-Jul-94	3	25,5	4	2 000	20	120	25,1	pics élevés et très élevés
26-27-28-09-95	4	102,5	1,5	40 000	2 500	210	72,6	pics très élevés et se maintenant

Nota bene : voir page suivante.

Tableau II - 2 - 2 - 1 - b : Classification des hydrogrammes et caractéristiques des ruissellements à Vierzy

Dates	Types	P j en mm	P 10j en mm	Qi max en l/mn	V en m3	I max pd 1 mn en mm/h	I max pd 1 h en mm/h	Remarques sur les intensités des pluies en mm/h
14-Oct-93	1	20,2	59,8	101	3,8	24	4,23	pics moyens, puis arrêt brusque
								pic, puis baisse progressive
13-Déc-93	2	21	46,6	268	70,8	-	-	-
20-Déc-93	1	30,8	59,7	234	71,4	24	8	pic, puis maintien à 6 mm/h
								plusieurs maintiens à 12 mm/h et 24 mm/h
03-Jan-94	2	9,6	57,5	956	64,7	24	5,2	maintiens à 24 mm/h puis 12 mm/h
25-Jan-95	2	20,6	48,6	358	20,5	48	6,95	pics élevés (48) maintien 12 mm/h
11-Jul-95	4	45,8	8,8	33 000	>>>20	108	-	pics très élevés et maintenus

Nota bene :

- (1) Tous les ruissellements dont Qi max < 100 l/mn, non figurés ici sont de type 1 ou 3.
- (2) Les ruissellements se prolongent parfois sur plusieurs jours, on considère qu'il s'agit de ruissellements indépendants quand le débit instantané reste inférieur à 1 l/mn pendant plusieurs dizaines de minutes.
- (3) Quand le ruissellement s'étale sur plusieurs jours, Pj correspond à la somme des pluies journalières des jours indiqués.
- (4) Les intensités, les hydrogrammes, les cumuls d'eau de pluie et les volumes ruisselés de chacun de ces ruissellements sont décrits en annexe 14.
- (5) Pics faibles 0 à 4 mm/h, pics moyens 4 à 12 mm/h, pics élevés 12 à 48 mm/h.

II - 2 - 2 - 2 - Description des réponses aux pluies

* Temps de réponse et temps de concentration

Les temps de réponse (ou phase d'imbibition) et de concentration (ou phase transitoire) sont d'une façon générale beaucoup plus longs à Vierzy qu'à Erlon, les distances à parcourir étant plus importantes (tab. II - 2 - 2 - 2 - a et b).

Globalement, les temps de réponse oscillent entre 4 et 539 mn à Erlon et entre 53 et 494 mn à Vierzy. Les temps de concentration varient entre 4 et 119 mn à Erlon et 8 et 134 mn à Vierzy (ces 8 mn, très courtes, sont liées à une intervention préalable de la DDE qui, pour dégager la D 804 inondée, a arrasé un petit talus qui ralentissait les eaux). Les temps de réponse diminuent lorsque les ruissellements sont consécutifs (exemples : 24 décembre 1993, 14 et 15 janvier 1994 à Erlon ; 15 octobre 1993, 20-21 décembre 1993 à Vierzy). A Erlon, ils sont plus faibles lorsque les intensités des pluies sont plus fortes (exemples : 10 décembre 1993, 19-20-21 décembre 1993 à Erlon), sauf sur sol sec. Dans ce cas, ils ne baissent pas, même si les intensités sont dès le début de l'averse très élevées. On peut comparer les orages du 24 mai 1994 et des 6-7 août à Erlon. Pour des intensités très élevées dès le début de l'orage (60 mm/h), le 6 août, le temps de réponse reste de 56 mn, valeur atteinte en mai 1994.

Tableau II - 2 - 2 - 2 - a : Temps de concentration et temps de réponse pour les différents ruissellements à Erlon

Dates	P j en mm	averse du ruisel- lement en mm	durée de l'averse en mn	I max pd 1 mn en mm/h	I max pd 1 h en mm/h	Qi max en l/mn	V en m ³	durée ruisel- lement en mn	tr en mn	tc en mn
10-Nov-93	13,5	13	919	3	2,18	1 200	57	532	539	112
13-14-Nov-93	16,5	11	469	6	3,21	1 000	135,5	236	209	156
10-Déc-93	15	14	149	15	8,8	2 000	132	588	30	51
12-13-Déc-93	23	17,5	689	30	3,5	2 170	180	945	108	118
13-Déc-93	7	4,5	86	7,5	3,5	970	91	749	9	78
17-Déc-93	12	12	569	8	2,79	585	128	1261	38	149
19-Déc-93	20,5	15	329	10	6,33	2 200	202	1147	98	38
20-21-Déc-93	41	40	1399	30	7,87	8 500	645	1 510	31	50
22-23-Déc-93	10,5	6	428	15	2,02	507	45,2	331	81	16
23-Déc-93	3,5	1,5	10	15	1,5	313	11	133	4	11
24-Déc-93	9,5	4,5	163	7,5	2,26	600	54	283	35	23
24-Déc-93	9,5	4,5	508	5	2,26	233	26	462	201	15
04-Jan-94	4	4	62	10	3,46	1 250	40	183	21	41
05-Jan-94	3,5	3,5	374	1	0,93	150	21,6	447	66	119
12-Jan-94	5,5	5,5	250	6	2,69	875	78,3	350	59	62
13-Jan-94	2	1,5	6	15	1,5	530	12,4	122	6	4
14-Jan-94	1	1	17	2	1	173	3,2	81	8	6
15-16-Jan-94	17	17	778	3	2,33	985	309,5	882	23	31
23-Jan-94	1,5	1,5	178	1	0,58	114	9,7	302	10	105
24-Jan-94	5	5	872	2	1	194	33,3	633	141	19
26-Jan-94	2	1,5	13	30	1,5	416	7,6	168	5	14
27-Jan-94	5,5	5,5	275	15	2,25	1 400	40,5	414	43	29
24-Mai-94	9	4,2	100	24	4,03	900	13	251	58	38
24-Jul-94	25,5	25,5	40	120	25,13	2 000	20	-	-	-
06-07-Août-95	102,5	99,5	245	210	72,58	40 000	2 500	1 252	56 (*)	20

Nota bene : Les temps de réponse et de concentration sont calculés à partir du premier pic d'intensité et du premier pic de débit (qui n'est pas forcément le débit maximum).

(*) Le temps de réponse apparaît exceptionnellement élevé pour le ruissellement des 6-7 août 1995. En fait, la pluie a bien commencé 56 mn avant le ruissellement, mais la partie de l'averse entraînant l'écoulement ne commence que 12 mn avant. Même remarque pour le 24 mai 1994.

Tableau II - 2 - 2 - 2 - b : Temps de concentration et temps de réponse pour les différents ruissellements à Vierzy

Dates	P j en mm	averse du ruissel- lement en mm	durée de l'averse en mn	I max pd 1 mn en mm/h	I max pd 1 h en mm/h	Qi max en l/mn	V en m ³	durée ruissel- lement en mn	tr en mn	tc en mn
14-Oct-93	20,2	10,4	283	24	4,23	101	3,8	66	419	24
14-15-Oct-93	6,2	10,2	425	4	1,87	690	142,7	456	250	31
13-Déc-93	21	19	-	-	-	268	70,8	471	-	52
20-Déc-93	30,8	8,8	289	24	8	234	71,4	457	300	143
20-21-Déc-93	35,2	22	527	6	1,8	6 260	1 424	1 385	144	134
03-Jan-94	9,6	9,6	521	24	5,2	956	64,7	183	494	8
25-Jan-95	20,6	10	220	48	6,95	358	20,5	234	174	16
11-Jul-95	45,8	45	206	108	-	33 000	>>>20	-	53	53

Nota bene : Les temps de réponse et de concentration sont calculés à partir du premier pic d'intensité et du premier pic de débit (qui n'est pas forcément le débit maximum).

A Vierzy, par contre, un orage présentant de très fortes intensités réduit considérablement le temps de réponse. La valeur de 53 mn, le 11 juillet 1995, est la plus faible atteinte sur la période d'étude. Il faut rappeler que les intensités ont atteint, ce jour là, 90 mm/h pendant 1 heure sur la partie haute du BVEC.

A Erlon, les temps de concentration, comme les temps de réponse, sont en étroites relations avec la saturation du sol (exemples : 22-23 décembre 1993, 23 décembre 1993, 13 janvier 1994, etc.). Les valeurs diminuent rapidement au cours de ruissellements successifs (cas du 20 décembre 1993, voir 2ème Partie, II - 2 - 2 - 3)

* Lames d'eau d'imbibition, durée des averses et des ruissellements

On remarque qu'à Vierzy les hauteurs d'eau d'imbibition sont relativement homogènes quelques soit la période du ruissellement. Il faut environ 9 mm, soit sur sol préalablement humidifié par une autre averse, soit de très fortes intensités. Dans chacun des cas, cette lame d'eau d'environ 9 mm doit s'accompagner d'un léger accroissement des intensités par rapport aux intensités antérieures pour que le ruissellement se déclenche (tab. II - 2 - 2 - 2 - d).

A Erlon, ces lames d'eau peuvent être très faibles : le ruissellement se déclenche fréquemment pour une lame d'eau d'imbibition de 0,5 mm (tab. II - 2 - 2 - 2 - c).

Tableau II - 2 - 2 - 2 - c : Lames d'eau d'imbibition et durée des écoulements pour les différents ruissellements à Erlon

Dates	P j en mm	averse du ruissellement en mm	durée de l'averse en mn	lame d'eau d'imbibition en mm	durée du ruissellement en mn
10-Nov-93	13,5	13	919	5	532
13-14-Nov-93	16,5	11	469	3	236
10-Déc-93	15	14	149	3,5	588
12-13-Déc-93	23	17,5	689	2	945
13-Déc-93	7	4,5	86	0,5	749
17-Déc-93	12	12	569	0,5	1 261
19-Déc-93	20,5	15	329	0,5	1 147
20-21-Déc-93	41	40	1 399	0,5	1 510
22-23-Déc-93	10,5	6	428	3,5	331
23-Déc-93	3,5	1,5	10	0,5	133
24-Déc-93	9,5	4,5	163	0,5	283
24-Déc-93	9,5	4,5	508	0,5	462
04-Jan-94	4	4	62	1	183
05-Jan-94	3,5	3,5	374	0,5	447
12-Jan-94	5,5	5,5	250	0,5	350
13-Jan-94	2	1,5	6	1	122
14-Jan-94	1	1	17	0,5	81
15-16-Jan-94	17	17	778	0,5	882
23-Jan-94	1,5	1,5	178	0,5	302
24-Jan-94	5	5	872	1	633
26-Jan-94	2	1,5	13	1	168
27-Jan-94	5,5	5,5	275	1	414
24-Mai-94	9	4,2	100	0,5	251
24-Jul-94	25,5	25,5	40	-	-
06-07-Août-95	102,5	99,5	245	38 (*)	1 252

(*) La lame d'eau d'imbibition des 6-7 août 1995 paraît exceptionnellement élevée. En fait, c'est bien la lame d'eau tombée avant l'enregistrement de la première valeur de débit. A ce moment là, les intensités étaient très fortes : pendant les 10 mn précédant le ruissellement, il est tombé 24 mm et pendant les 2 mn précédant le ruissellement, il est tombé 8 mm. Il s'agit des intensités à l'origine du premier pic de débit qui n'est pas encore arrivé à l'exutoire. La rapidité du phénomène orageux est exceptionnelle.

Tableau II - 2 - 2 - 2 - d : Lames d'eau d'imbibition et durée des écoulements pour les différents ruissellements à Vierzy

Dates	P j en mm	averse du ruissellement en mm	durée de l'averse en mn	lame d'eau d'imbibition en mm	durée du ruissellement en mn
14-Oct-93	20,2	10,4	283	9,4	66
14-15-Oct-93	6,2	10,2	425	7,2	456
13-Déc-93	21	19	-	-	471
20-Déc-93	30,8	8,8	289	7,2	457
20-21-Déc-93	35,2	22	527	4	1 385
03-Jan-94	9,6	9,6	521	9,2	183
25-Jan-95	20,6	10	220	9,7	234
11-Jul-95	45,8	45	206	10,6	-

La durée des écoulements est plus homogène et, en général, plus courte à Vierzy (tab. II - 2 - 2 - 2 - d). Les ruissellements débutent et se terminent de façon nette, alors qu'à Erlon un ruissellement à très faible débit peut se prolonger, entretenu par 1 ou 2 mm de pluie (tab. II - 2 - 2 - 2 - d). Le bassin d'Erlon restitue de l'eau longtemps après la fin de l'averse (voir aussi la durée de la phase de vidange).

De plus, il n'existe pas de corrélation évidente entre la durée de l'averse et celle du ruissellement (fig. II - 2 - 2 - 2 - a et b). Ce qui montre bien que la durée de l'écoulement est aussi en relation avec les caractéristiques géomorpho-pédologiques des BVEC.

Figure II - 2 - 2 - 2 - a : Corrélation entre la durée de l'averse et la durée du ruissellement à Erlon

$$y = 0,66 x + 32,87$$

$$r^2 = 0,51$$

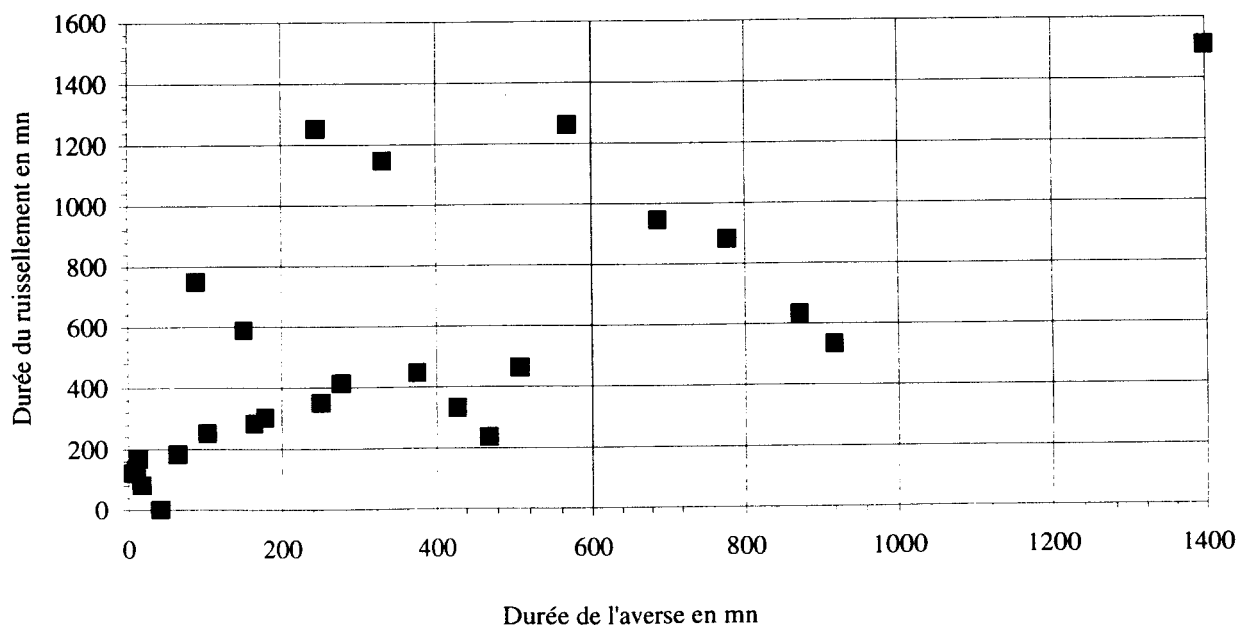
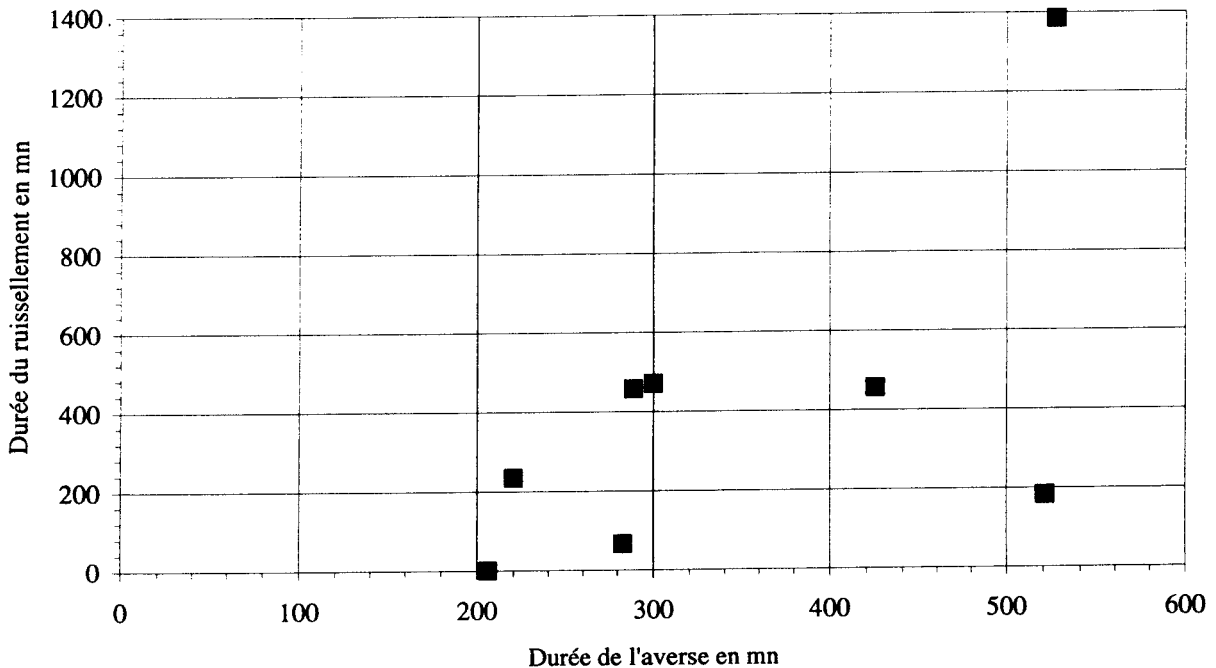


Figure II - 2 - 2 - 2 - a : Corrélation entre la durée de l'averse et la durée du ruissellement à Vierzy

$$y = 0,15 x + 296,68$$

$$r^2 = 0,28$$



* Durée des phases de régime permanent et de vidange

A Vierzy, la phase de régime permanent peut se maintenir pendant une longue durée, jusqu'à 46 mn. C'est loin d'être le cas à Erlon où le débit maximum ne se maintient jamais plus de quelques minutes. Ceci tient au facteur pente qui, à Vierzy, contribue à une concentration plus lente des flots (voir ci-dessus), mais aussi à leur arrivée massive et continue à l'exutoire. Toutefois, ces longues phases de maintien du débit maximum ne sont pas systématiques, elles sont associées à de fortes pluies.

Comme on l'a constaté pour la durée des ruissellements, la durée de la phase de vidange est relativement plus courte et homogène à Vierzy. A Erlon, elle se prolonge fréquemment de longues heures (tab. II - 2 - 2 - 2 - e et f).

La forme et l'intensité des averses étant rarement identiques et simultanées sur les deux BVEC, la comparaison de ces chiffres ne peut être poussée beaucoup plus loin, sauf en ce qui concerne le ruissellement du 20 décembre 1993 où la pluie a été quasiment identique et synchrone sur les deux sites.

Tableau II - 2 - 2 - 2 - e : Temps des phases de régime permanent et de vidange pour les différents ruissellements à Erlon

Dates	P j en mm	averse du ruisel- lement en mm	I max pd 1 mn en mm/h	I max pd 1 h en mm/h	Qi max en l/mn	V en m ³	durée du ruisel- lement en mn	durée du régime permanent en mn	durée de vidange en mn
10-Nov-93	13,5	13	3	2,18	1 200	57	532	1	245
13-14-Nov-93	16,5	11	6	3,21	1 000	135,5	236	1	80
10-Déc-93	15	14	15	8,8	2 000	132	588	1	501
12-13-Déc-93	23	17,5	30	3,5	2 170	180	945	5	440
13-Déc-93	7	4,5	7,5	3,5	970	91	749	6	666
17-Déc-93	12	12	8	2,79	585	128	1 261	3	810
19-Déc-93	20,5	15	10	6,33	2 200	202	1 147	2	959
20-21-Déc-93	41	40	30	7,87	8 500	645	1 510	2	200
22-23-Déc-93	10,5	6	15	2,02	507	45,2	331	1	148
23-Déc-93	3,5	1,5	15	1,5	313	11	133	1	122
24-Déc-93	9,5	4,5	7,5	2,26	600	54	283	1	170
24-Déc-93	9,5	4,5	5	2,26	233	26	462	5	152
04-Jan-94	4	4	10	3,46	1 250	40	183	1	142
05-Jan-94	3,5	3,5	1	0,93	150	21,6	447	6	131
12-Jan-94	5,5	5,5	6	2,69	875	78,3	350	1	150
13-Jan-94	2	1,5	15	1,5	530	12,4	122	1	118
14-Jan-94	1	1	2	1	173	3,2	81	1	60
15-16-Jan-94	17	17	3	2,33	985	309,5	882	1	696
23-Jan-94	1,5	1,5	1	0,58	114	9,7	302	3	226
24-Jan-94	5	5	2	1	194	33,3	633	1	257
26-Jan-94	2	1,5	30	1,5	416	7,6	168	1	154
27-Jan-94	5,5	5,5	15	2,25	1 400	40,5	414	1	88
24-Mai-94	9	4,2	24	4,03	900	13	251	1	213
24-Jul-94	25,5	25,5	120	25,13	2 000	20	-	4	-
06-07-Aoû-95	102,5	99,5	210	72,58	40 000	2 500	1 252	1	1 060

Tableau II - 2 - 2 - 2 - f : Temps des phases de régime permanent et de vidange pour les différents ruissellements à Vierzy

Dates	P j en mm	averse du ruisel- lement en mm	I max pd 1 mn en mm/h	I max pd 1 h en mm/h	Qi max en l/mn	V en m ³	durée du ruisel- lement en mn	durée du régime permanent en mn	durée de vidange en mn
14-Oct-93	20,2	10,4	24	4,23	101	3,8	66	3	40
14-15-Oct-93	6,2	10,2	4	1,87	690	142,7	456	16	298
13-Déc-93	21	19	-	-	268	70,8	471	46	374
20-Déc-93	30,8	8,8	24	8	234	71,4	457	38	277
20-21-Déc-93	35,2	22	6	1,8	6 260	1 424	1 385	3	307
03-Jan-94	9,6	9,6	24	5,2	956	64,7	183	4	172
25-Jan-95	20,6	10	48	6,95	358	20,5	234	1	207
11-Jul-95	45,8	45	108	-	33 000	>>>20	-	1	-

II - 2 - 2 - 3 - Rôle des caractéristiques géomorphologiques : comparaison des ruissellements des 20-21 décembre 1993 à Erlon et à Vierzy

A la suite d'une longue période pluvieuse (du 13 au 20 décembre), on observe sur les deux BVEC un fort ruissellement. En effet, le 20 décembre, les deux sites se trouvent dans une situation très voisine. Les différences entre parcelles sont atténuées, les taux de saturation en eau sont proches (voisins de 25 %, le maximum étant de 33 % limite de liquidité du substrat) et cela quelle que fût la culture en place. Les labours plus ou moins récents par rapport à l'événement pluvieux (mi novembre à début décembre) concernent une petite superficie sur les deux bassins versants (inférieure au tiers à Erlon et au quart à Vierzy). Ces faibles surfaces labourées sont liées aux mauvaises conditions météorologiques des semaines précédentes (pluies trop abondantes en novembre et gel et neige dès décembre). A cette date du 20 décembre, le débit instantané évolue presque parallèlement à la pluie. Il y a réaction des bassins, si ce n'est en quantité, tout du moins en variation temporelle. En effet, pour ce qui est des quantités ruisselées par rapport à la pluie tombée, elles sont très faibles : proches de 7 % à Erlon et 2 % à Vierzy.

La pluviométrie (hauteurs totales et intensités) et l'état de surface (faibles proportions de labour, sols gorgés d'eau) étant très proches, **l'incidence du facteur topographique sur le temps de réponse, le temps de concentration, le temps de vidange et la durée totale de l'événement est ainsi soulignée** (fig. II - 2 - 2 - 3 - a et b). De même, les coefficients de ruissellement pour chaque épisode de ruissellement mettent en valeur les capacités d'absorption des sols.

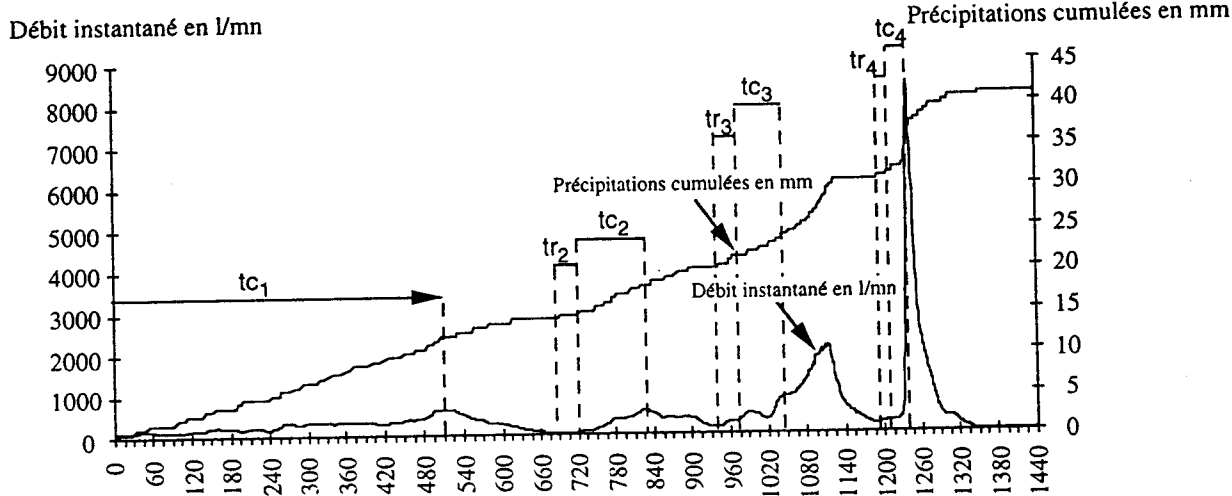
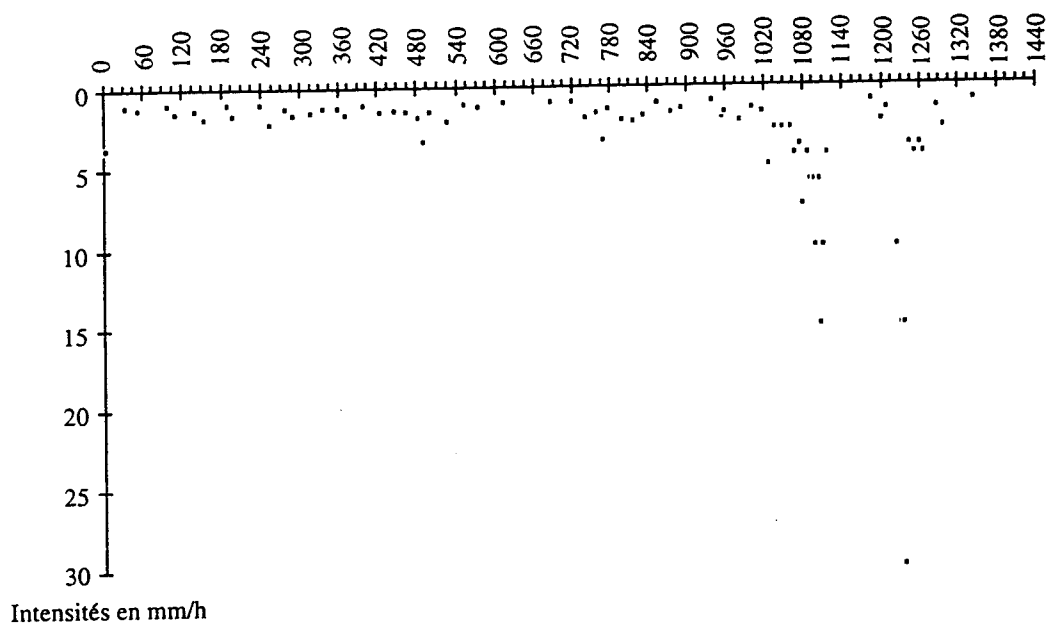
A Erlon, le temps de réponse décroît à chaque nouvel écoulement pour atteindre une valeur minimale d'une dizaine de minutes (ANGELIAUME et al, 1994 ; WICHEREK et al, 1993). Par contre à Vierzy, ce même temps ne descendra pas au dessous d'une cinquantaine de minutes.

De même, le temps de concentration minimum est de 20 minutes à Erlon contre 45 à 50 mn à Vierzy. La durée de l'écoulement varie également. Par exemple, pour les pics 3 et 4, les précipitations et les intensités sont quasiment identiques, le ruissellement est plus rapide et plus court à Erlon, ainsi les deux courbes se détachent nettement. Le dernier pic met bien en évidence la rapidité de la réponse à la pluie et surtout à son intensité. Le débit maximum instantané (proche de 8 500 l/mn) est près d'un tiers supérieur à celui de Vierzy (6 000 l/mn). Par contre, le volume total écoulé est nettement supérieur à Vierzy.

Ainsi, la topographie d'Erlon se traduit par un risque plus accru vis-à-vis des débits instantanés, qui varient très rapidement. Le travail du sol (labour, déchaumage) peut retarder et atténuer ces ruissellements, mais son effet s'efface lors des pluies exceptionnelles. A Vierzy, la morphologie agira plus en faveur d'une concentration des volumes et de la puissance du flot, effets d'une surface plus grande. Les parcelles étant plus étendues, l'effet du changement de rugosité est quasi inexistant et le ralentissement des eaux est moindre.

Figure II - 2 - 2 - 3 - a : Pluie et ruissellement à Erlon le 20 décembre 1993

Intensités (mm/h) en fonction du temps en mn le 20 décembre 1993



Précipitations cumulées (mm) et débits instantanés (l/mn) en fonction du temps en mn le 20 décembre 1993

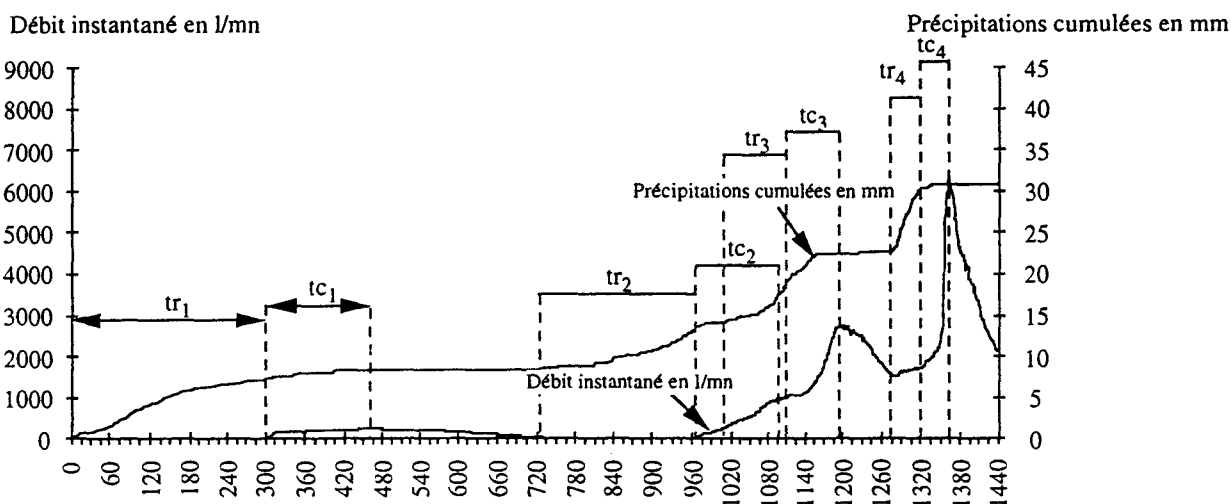
Valeurs approchées des temps de réponse et de concentration en mn

	tr	tc
1	> 60	> 60
2	40	110
3	30	70
4	15	25

tr : temps de réponse
tc : temps de concentration

Figure II - 2 - 2 - 3 - b : Pluie et ruissellement à Vierzy le 20 décembre 1993

Intensités (mm/h) en fonction du temps en mn le 20 décembre 1993



Précipitations cumulées (mm) et débits instantanés (l/mn) en fonction du temps en mn le 20 décembre 1993

Valeurs approchées des temps de réponse et de concentration en mn

	tr	tc
1	320	170
2	253	123
3	102	89
4	45	50

tr : temps de réponse
tc : temps de concentration

Au cours de cette succession de ruissellements, les temps de réponse et de concentration sont toujours plus longs à Vierzy qu'à Erlon, même s'ils diminuent considérablement avec la saturation progressive des sols et les intensités plus élevées (tab. II - 2 - 2 - 3 - a et b).

Le temps de vidange est, quant à lui, supérieur à Erlon. Certes la pluie est un peu plus importante, en quantité et en intensité, et plus longue qu'à Vierzy. Toutefois, on note une nette restitution de l'eau par les sols après la fin de l'averse. Il s'agit vraisemblablement de dégonflements des sols saturés et non pas d'arrivées d'écoulements retardés, car l'averse a cessé cinq heures auparavant (304 mn, tab. II - 2 - 2 - 3 - a). Cette période est bien supérieure au temps de propagation nécessaire à un écoulement sur 925 m, distance séparant l'exutoire du point le plus éloigné du BVEC(*).

Confirmant des remarques déjà avancées, les coefficients de ruissellement sont toujours supérieurs à Erlon. Ils augmentent au cours des écoulements successifs. De nouveau, on constate une hausse très importante de ces coefficients à Vierzy, alors qu'à Erlon l'augmentation est moins marquée suite à une meilleure infiltration.

Toutefois le terme de "meilleure infiltration" est à utiliser entre guillemets car sur l'ensemble du ruissellement, les débits instantanés maxima sont supérieurs à Erlon montrant ainsi qu'à un instant donné un pic d'intensité réduit considérablement les capacités d'infiltration. Cette meilleure capacité d'infiltration se constate en effet sur une période plus longue et sur un ensemble de ruissellements.

Tableau II - 2 - 2 - 3 - a : Temps de réponse, de concentration et de vidange à Erlon le 20 décembre 1993

Pics	averse en mm	durée de l'averse en mn	tr en mn	tc en mn	tv en mn	CR en %	% d'augmentation du CR
1	14	613	> 60	> 499	228	7,3	- 2
2	5,5	205	40	110-130	149	7,2	86
3	10,5	182	30	70	229	13,3	- 22
4	10,5	160	9-15	25-35	304	10,4	-

Nota Bene : Les valeurs sont quelquefois comprises dans des fourchettes car il est difficile de distinguer le début d'un ruissellement quand celui-ci se superpose à la fin de l'écoulement précédent.

Tableau II - 2 - 2 - 3 - b : Temps de réponse, de concentration et de vidange à Vierzy le 20 décembre 1993

Pics	averse en mm	durée de l'averse en mn	tr en mn	tc en mn	tv en mn	CR en %	% d'augmentation du CR
1	8,4	402	300-320	140-170	278	0,5	213
2	5,4	250	225-255	120-150	124	1,5	35
3	8,2	146	100	85	179	2,0	118
4	8	59	45	40-50	197	4,4	-

Nota bene : Les valeurs sont quelquefois comprises dans des fourchettes car il est difficile de distinguer le début d'un ruissellement quand celui-ci se superpose à la fin de l'écoulement précédent.

(*) Bougère (1993) cite, pour une culture dans le sens de la pente et une pente de 3 à 7 %, une vitesse d'écoulement de 1 m/s (extrait de la recommandation technique sur l'assainissement routier).

II - 2 - 2 - 4 - Le système agraire : un élément de déconnexion des flux d'eau

Un certain nombre d'éléments d'origine morphologique ou anthropique sont susceptibles de modifier les écoulements.

- **Les lignes de concentration** qui en fonction de leur longueur, encaissement et densité drainent plus ou moins d'eau.
- **Les diverses infrastructures** (route, chemin, talus, fossés) **et les ruptures de pente** concaves ou convexes qui dévient les flux d'eau et déconnectent totalement certaines surfaces du reste du bassin.
- **Le parcellaire** qui peut induire des modifications du sens des écoulements par sa taille, son orientation et le sens de travail du sol qui y est pratiqué. Dans certains cas des surfaces peuvent ainsi être rattachées au bassin, d'autres peuvent être déconnectées hydrologiquement (le sens de travail du sol modifie souvent les limites amont du BVEC).

Ces discontinuités peuvent aussi intervenir sur le transport solide qui est un phénomène irrégulier dans le temps et dans l'espace. Elles créent une succession de zones tampons dans lesquelles les sédiments arrachés et véhiculés peuvent être temporairement ou définitivement stockés. Par exemple, entre les versants et les talwegs récepteurs, les forces tractrices varient et l'entraînement peut être perturbé. Les zones de transition, comme les limites de parcelles, sont généralement sujettes au colluvionnement. Du fait de l'action combinée de tous ces facteurs, l'influence anthropique sur le fonctionnement du bassin est bien souvent considérable (RAMEZ, KELLAL, 1994).

* Les éléments de déconnexion géomorphologiques et anthropiques

A Erlon, les déconnexions liées à des chemins et des routes sont peu nombreuses, car le bassin versant est petit. La D 831 coupe une petite partie du nord-ouest du bassin et les talus aménagés en bord de route dévient les écoulements sur la chaussée, hors du bassin, ce qui correspond à une perte d'environ 4 hectares. A l'inverse le travail des parcelles dans le sens de la pente augmente la surface du BVEC de 4 à 9 ha (fig. II - 2 - 2 - 4 - a).

	Surface en ha
BV couvert par la carte pédologique	41,8
BV couvert par la carte des pentes	27,4
BV alimentant théoriquement la station avec la partie NO déconnectée par la route	22,5
BV alimentant la station sans la partie NO déconnectée par la route	18,0
BV alimentant la station sans la partie NO déconnectée par la route et avec les apports liés au travail des parcelles	entre 23,8 et 29,6

Par contre à Vierzy, les éléments perturbateurs sont plus importants, par leur nombre et leurs impacts. Un chemin, d'abord, au tiers du BVEC, puis une route ensuite, au deux tiers, traversent de part en part le bassin et perturbent le sens naturel des écoulements. Les eaux se concentrent d'abord en amont du chemin ; elles ne le franchissent que lorsque que la dépression existant en amont du chemin est remplie d'eau. Lorsque l'écoulement franchit le chemin, il est déjà concentré dans le talweg principal. De plus, le chemin joue le rôle de collecteur, tassé, il est en partie imperméabilisé et l'eau y ruisselle plus facilement. Ce chemin a une tendance à différer les ruissellements qui proviennent de l'amont (fig. II - 2 - 2 - 4 - b).

A l'inverse, la route goudronnée accélère le passage des écoulements. Sur le haut des versants, la route est encaissée entre des talus qui rendent impossible l'écoulement continu des eaux sur les versants et dans les talwegs secondaires naturels. La route concentre tous les écoulements qu'elle reçoit de l'amont et ceux, de sa propre surface imperméable, vers le fond du talweg. L'eau ainsi concentrée se déverse en un point unique sur la partie aval du bassin. Cette évacuation est facilitée par l'absence de fossés favorisant les infiltrations et par la présence d'une fourrière et d'une entaille réalisée par la DDE dans le petit talus séparant la route du champ.

Figure II - 2 - 2 - 4 - a : Routes, chemins, déviations des écoulement à Erlon

Le sens du travail du sol est particulièrement constant. Il n'a pas changé pendant la période d'étude.

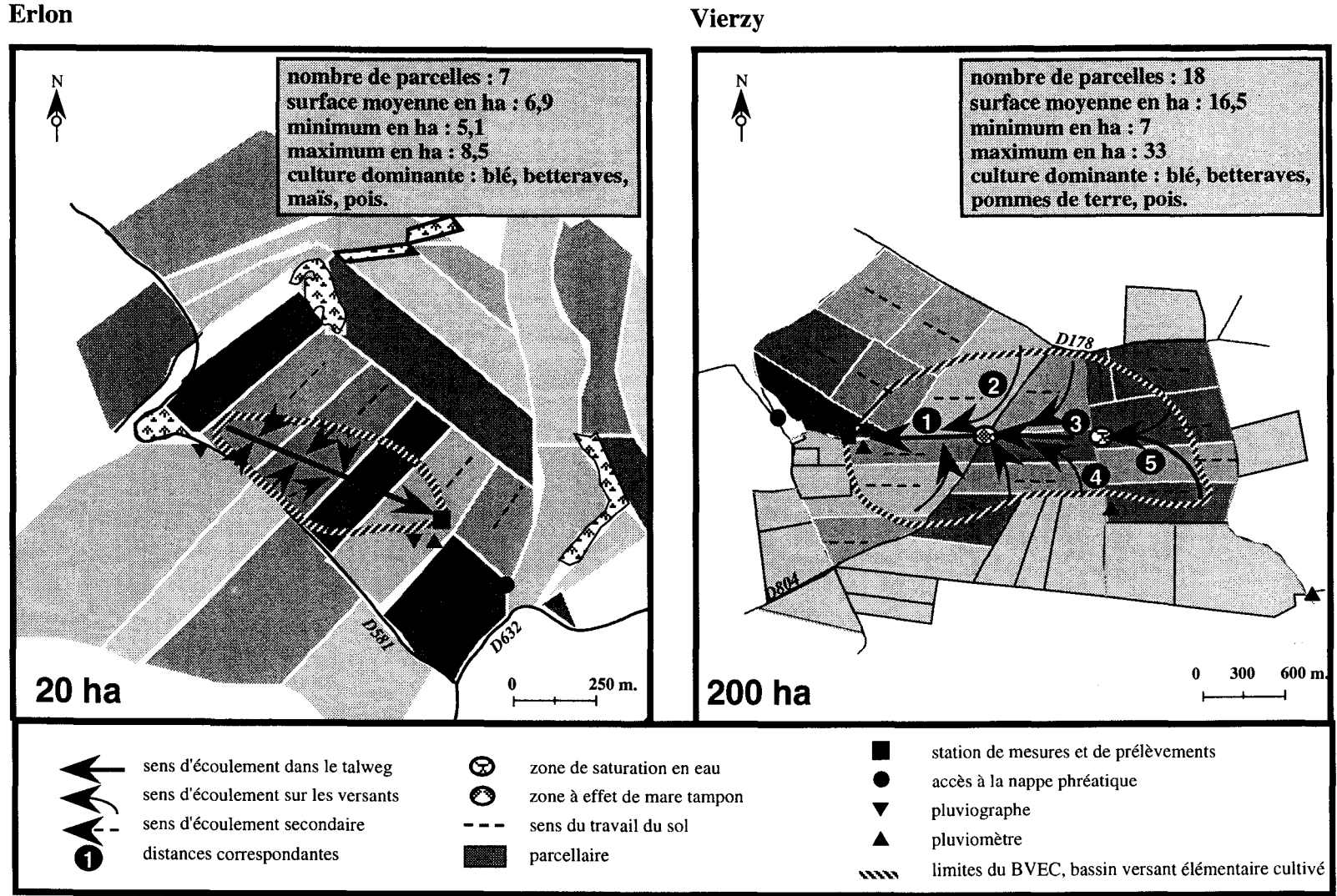


Photo II - 2 - 2 - 4 - a : Saturation en eau au tiers amont du bassin versant de Vierzy (A. Angéliaume, février 1994)



Photo II - 2 - 2 - 4 - b : La route collecteur, observation du début de ruissellement le 25 janvier 1995 (A. Angéliaume, janvier 1995)



A Vierzy, la route est un collecteur non négligeable. Sa surface imperméabilisée par le bitume avoisine $4\,900\text{ m}^2$ ($1\,400\text{ m} \times 3,5\text{ m}$). Pour une averse de 10 mm , elle peut fournir 8 m^3 . L'érosion concentrée qui n'est pas observée sur la partie amont du bassin commence à se manifester en aval de cette route.

L'observation du site, avant ou après des ruissellements, laisse à penser que les ruissellements ne viennent de l'ensemble du bassin que lorsque deux conditions sont remplies :

- la zone située à l'amont de l'intersection du talweg principal et du chemin (tiers amont) est saturée en eau et forme une petite mare ;
- la fourrière située à l'aval de l'intersection du talweg principal et de la route est reliée directement à la route (incision du talus de bord de route par le ruissellement ou intervention de la DDE pour dégager la route inondée) et saturée en eau.

Le ruissellement se déclenche au moment où l'intensité de la pluie devient supérieure à celle de l'infiltration dans les sols. Le débit instantané maximum se produit, quant à lui, quand l'infiltration est la plus faible et la concentration des différents flux (eaux d'origine proche et lointaine) est maximale. Le ruissellement se poursuit ensuite jusqu'à ce que les eaux les plus éloignées non infiltrées au cours de leur parcours arrivent à l'exutoire. Ainsi le temps de réponse (t_r), le temps de concentration (t_c), le temps de vidange (t_v) et la durée du ruissellement informent sur le temps que mettent les eaux les plus proches et les plus lointaines à parvenir à l'exutoire

Le 14 octobre 1993, tous les paramètres (t_c , t_r , t_v) montrent que le ruissellement provient uniquement du tiers aval du bassin versant (voir tab. II - 2 - 2 - 2 - b et f et les courbes d'intensités, débits et volumes en annexe 14). Le t_c est faible (24 mn) et le ruissellement est de courte durée (66 mn). Si de l'eau provient de l'amont, c'est en quantité très faible, car elle n'intervient ni sur la forme générale de l'hydrogramme (type simple), ni sur la décrue (temps de vidange égal au temps de concentration). Le tableau ci-après (tab. II - 2 - 2 - 4 - a) permet de comparer les t_c et t_v à des ordres de grandeurs théoriques et ainsi d'évaluer la distance probablement parcourue par l'écoulement.

En revanche, le 15 octobre 1993, alors que les sols sont bien saturés par le ruissellement de la veille, une averse relativement homogène entraîne un ruissellement à deux vagues.

La première vague semble provenir du tiers aval du bassin, son t_c étant faible (31 mn , tab. II - 2 - 2 - 2 - b et annexe 14) Si la seconde vague de ruissellement n'était intervenue, elle aurait duré un peu plus d'une heure. Cette seconde vague beaucoup plus importante présente un t_c de 143 mn . Elle concentre très probablement des eaux de l'ensemble du bassin. Le t_v , de 298 mn , tend aussi à le prouver. De plus, les concentrations en nitrates, mesurées pendant le ruissellement, tendent à augmenter à l'arrivée de cette seconde vague, puis elles chutent brusquement montrant une arrivée massive d'eau entraînant une dilution.

Le 13 et le 20 décembre 1993, la durée des ruissellements indique que l'eau provient de l'ensemble du bassin (temps proche de celui du 15 octobre 1993). De même, la forme des hydrogrammes, certes simple, montre une dissymétrie : t_v est beaucoup plus long que t_c . L'eau provient de l'amont mais sous la forme d'un apport régulier et non massif.

Le 3 janvier 1994 et le 25 janvier 1995, le t_c et la durée des ruissellements sont courts, mais le volume ruisselé et le t_v sont relativement importants. Il s'agit probablement d'un fonctionnement intermédiaire durant lequel la partie amont du bassin a en partie contribué au ruissellement. Les zones de déconnexion étant gorgée d'eau, elles n'ont pu jouer leur effet retardateur des écoulements : dans certaines conditions elles n'ont pas d'effet sur le ruissellement.

Tableau II - 2 - 2 - 4 - a : Temps de déplacements des ruissellements en fonction des distances à parcourir et de l'ordre de grandeur des vitesses des écoulements

	1 => 700 m	2 => 900 m	3 => 1 200 m	4 => 1 400 m	5 => 2 500 m
0,3 m/s (*)	+ 30 mn	+ 50 mn	+ 60 mn	+ 80 mn	+ 130 mn
0,5 m/s (*)	+ 20 mn	+ 30 mn	+ 40 mn	+ 50 mn	+ 80 mn
1 m/s (*)	+ 10 mn	+ 15 mn	+ 20 mn	+ 25 mn	+ 40 mn

(*) : Valeurs usuelles des vitesses d'écoulement sur sols cultivés pour des pentes de moins de 3 % à 10 %, extrait de la Recommandation technique sur l'assainissement routier (d'après BOUGERE, 1993).

* Le travail du sol : un élément de déconnexion

Mis à part ces éléments de déconnexion, les surfaces restantes n'ont pas toutes le même effet vis-à-vis du ruissellement. Un bassin versant est composé de parcelles qui sont aussi des unités fonctionnelles : dans certaines se forme l'excès d'eau, dans d'autres se concentre le ruissellement et se produit l'incision.

A Vierzy, le travail du sol perpendiculaire à la plus forte pente (parallèle au talweg principal) permet de freiner les ruissellements au sein d'une même parcelle(*) (fig. II - 2 - 2 - 4 - a). De plus, l'écoulement doit traverser plusieurs parcelles pour parvenir au talweg principal. L'alternance des cultures est donc importante puisqu'elle contribue à ralentir les ruissellements. Par contre, une fois que les ruissellements sont collectés dans le talweg, la pente est le seul "obstacle" à une rapide propagation. Cette disposition, en plus des longues distances à parcourir, explique les t_c et les t_v particulièrement longs. Elle peut aussi expliquer la forme lisse et régulière des hydrogrammes : les irrégularités de l'averse sont tamponnées par le cheminement des écoulements.

A Erlon, le travail du sol dans le sens de la plus forte pente contribue à rassembler rapidement les ruissellements dans le talweg principal(**). Le passage de l'eau d'une parcelle à l'autre se fait presque uniquement au niveau de l'intersection entre la limite des parcelles et le talweg principal. Ainsi, l'eau ne suit pas le chemin le plus court jusqu'à l'exutoire, mais elle se concentre très rapidement grâce aux multiples collecteurs (rangs des cultures, traces de roues, puis talweg principal).

(*) Le travail des parcelles modifie probablement la surface réelle du BV, mais les zones litigieuses sont en générale à faibles pentes et la délimitation exacte de la surface d'alimentation est plus complexe qu'à Erlon.

(**) Le plus souvent les agriculteurs travaillent dans le sens de la pente, non pas pour accélérer l'élimination des eaux de pluie des parcelles ou pour gagner du temps, mais par crainte de "verser", c'est-à-dire de faire chavirer leur tracteur et "d'y rester" (M. Chatelain, comm. orale, 1996).

Lorsque les parcelles sont très hétérogènes au niveau de la couverture végétale et de l'état des sols, on pourrait penser observer cette hétérogénéité des surfaces sur l'hydrogramme (arrivées d'eau d'origines différentes). Mais en hiver où les différences entre parcelles sont très atténuées ; les formes de l'hydrogramme répondent bien aux impulsions des pluies (voir annexe 14, exemples 12-13 décembre 1993, 17 décembre 1993, 22-23 décembre 1993, etc.). De même, pour les deux ruissellements de printemps (25 mai 1994) et d'été (6-7 août 1995), où les différences entre parcelles sont accentuées, on ne discerne pas de décalage dans l'arrivée des écoulements des différentes parcelles (haricots, maïs, chaumes). La courbe des volumes cumulés est bien lisse montrant une arrivée continue du flot. La courbe cumulant les pluies, quant à elle, est souvent en paliers. Non seulement on ne distingue pas l'hétérogénéité du couvert, mais, en plus, les différents paliers de l'averse sont aussi masqués.

Dans le cas du 24 mai 1994, le sol est occupé par beaucoup de cultures peu couvrantes au moment de l'orage : maïs (50 %) et betteraves (40 %). Par contre, les états de surface sont homogènes et fortement battants. Le ruissellement est rapide et régulier. Il ne forme qu'un seul pic (fig. II - 2 - 2 - 4 - c).

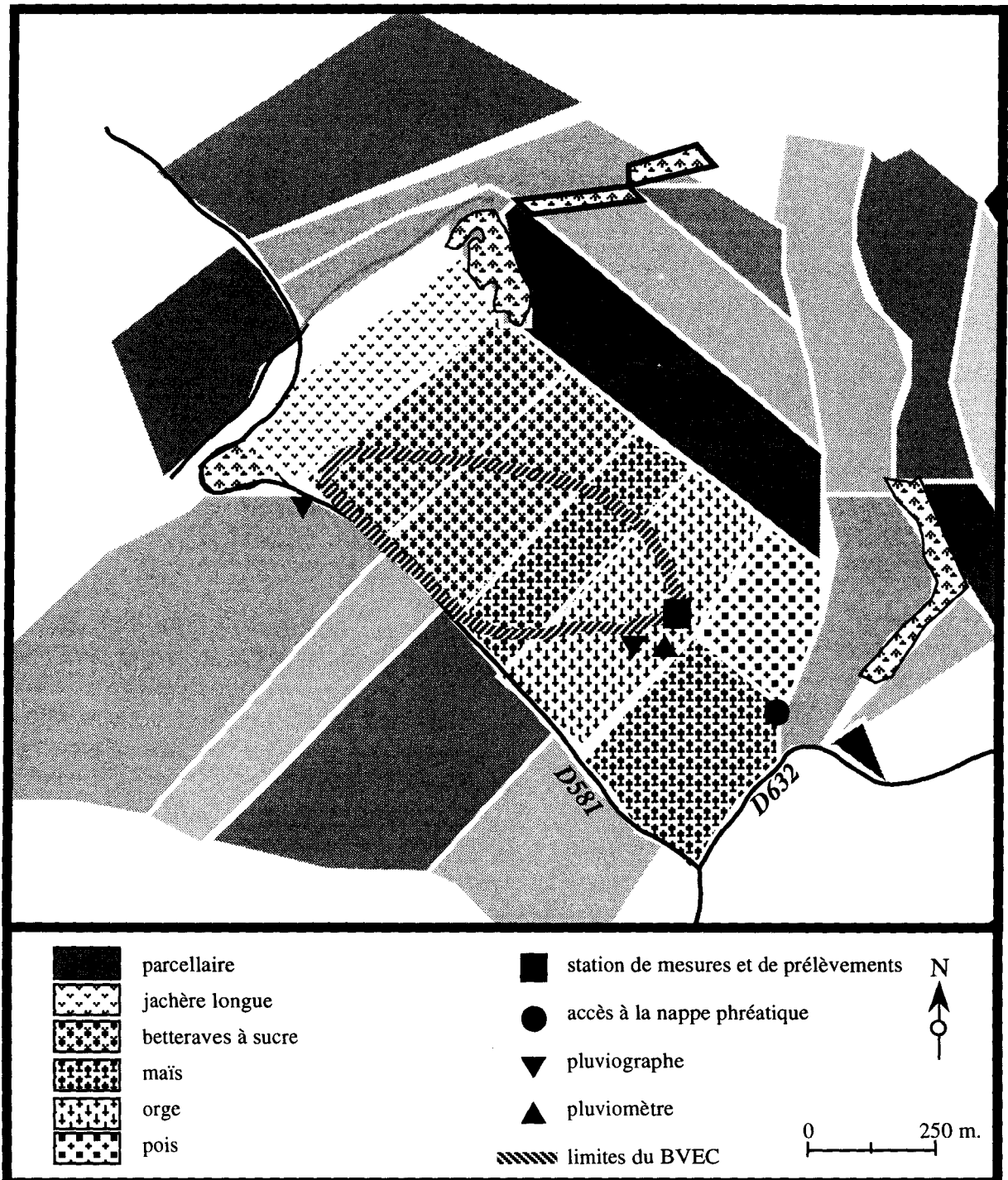
En août 1995, les intensités sont tellement fortes que la végétation pourtant fortement couvrante et les chaumes n'ont pas d'effet visible sur l'hydrogramme. Le ruissellement suit les intensités des pluies (fig. II - 2 - 2 - 4 - d).

Comme le nombre d'exemple était très faible pour la saison printemps/été, on a eu recours à quelques ruissellements traités antérieurement^(*) : 8 mai 1990, 6 juillet 1991 et 28 août 1992 (fig. II - 2 - 2 - 4 - e, f et g). Dans les deux premiers cas (WICHEREK et al, 1993), malgré un assolement varié et une pluie complexe, l'hydrogramme de ruissellement est simple. Il ne fait apparaître ni l'hétérogénéité des surfaces, ni celle de la pluie. Dans le troisième cas, le ruissellement forme plusieurs paliers. Les débits suivent une évolution qui pourrait être attribuée à l'arrivée de différentes vagues de ruissellement à l'exutoire. Si on considère l'assolement, la principale différence entre ces trois ruissellements est le débit maximum qui est élevé dans les deux premiers exemples et bien plus faibles dans le dernier cas. Il se pourrait que lorsque le ruissellement est faible, il laisse apparaître l'hétérogénéité des surfaces d'où il provient.

D'une façon générale, le sens du travail du sol contribue à ralentir et à homogénéiser les ruissellements à Vierzy comme à Erlon. Seuls les ruissellements à faibles débits pourraient faire apparaître les différences entre parcelles. De nouveaux résultats sont nécessaires pour confirmer cette hypothèse.

(*) Quelques exemples ont été pris exceptionnellement avant 1993 : ceci n'a pas été fait de façon systématique pour deux raisons. D'une part avant 1993 les données n'étaient pas traitées systématiquement et de façon homogène, d'autre part aucune observation des sols n'était réalisée.

Figure II - 2 - 2 - 4 - c : Occupation du sol le 24 mai 1994 à Erlon



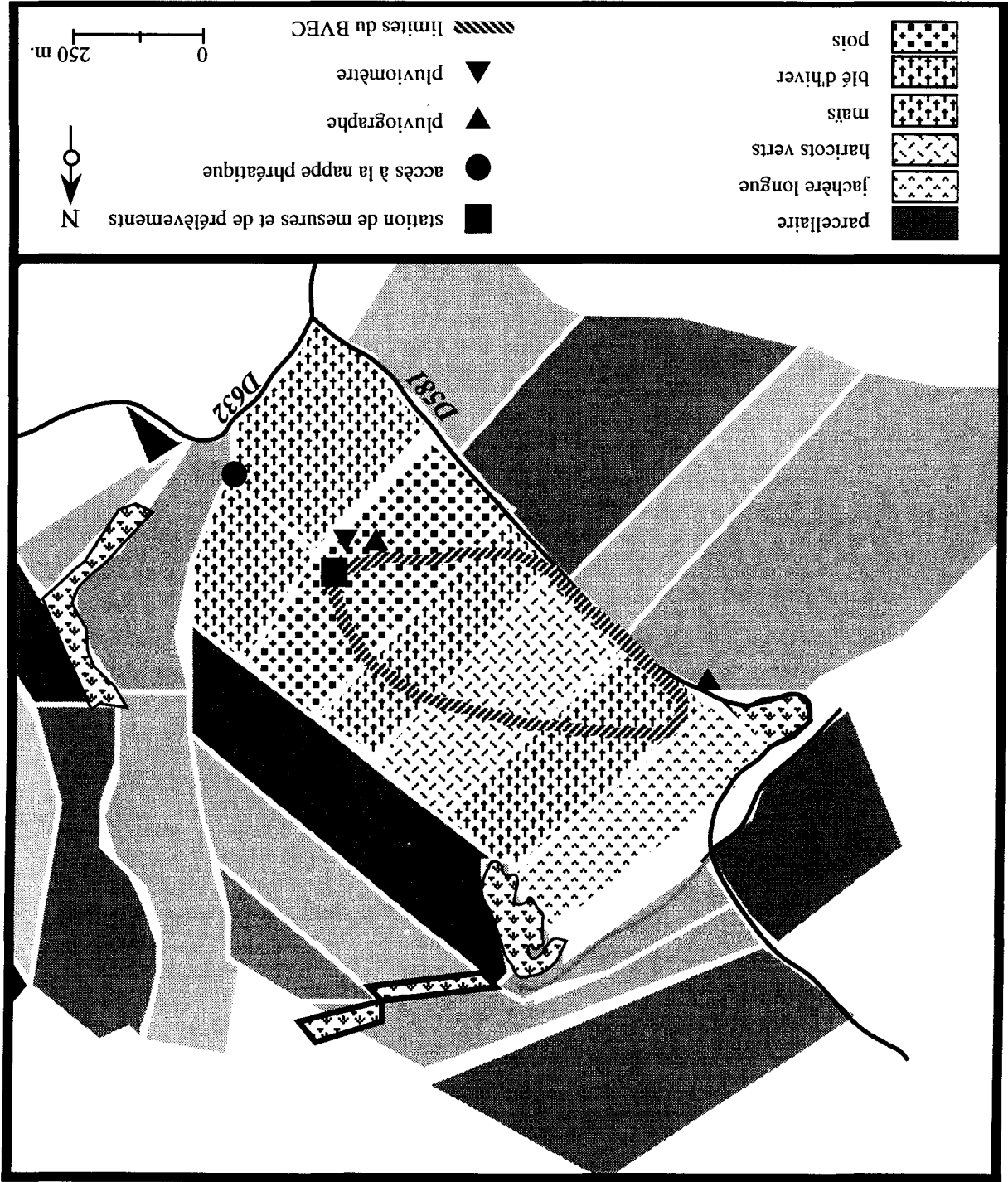


Figure II - 2 - 2 - 4 - d : Occupation du sol les 6-7 août 1995 à Erlon

Figure II - 2 - 2 - 4 - e : Occupation du sol le 8 mai 1990 et ruissellement à Erlon

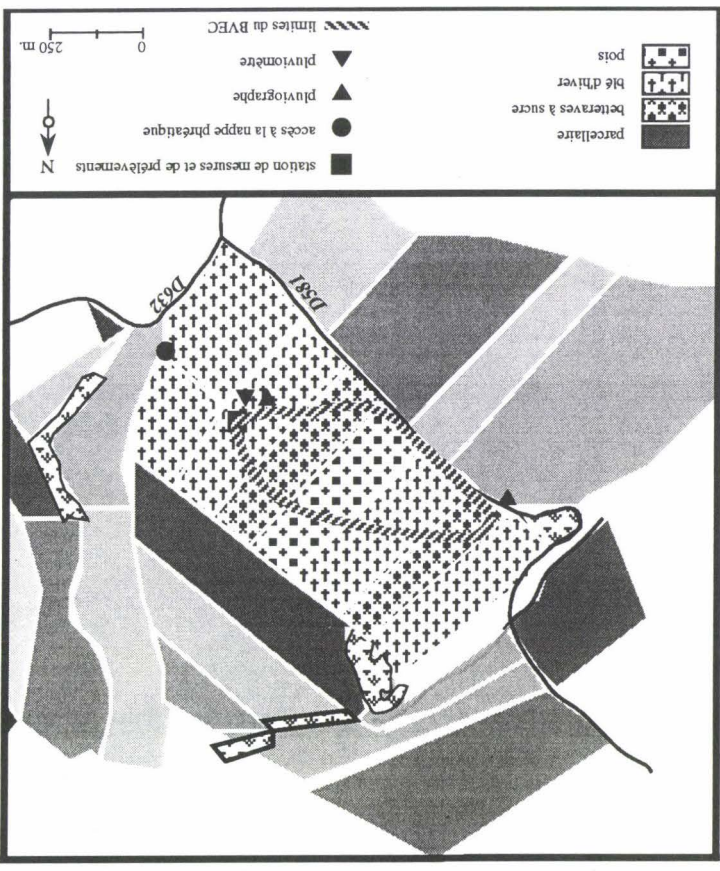
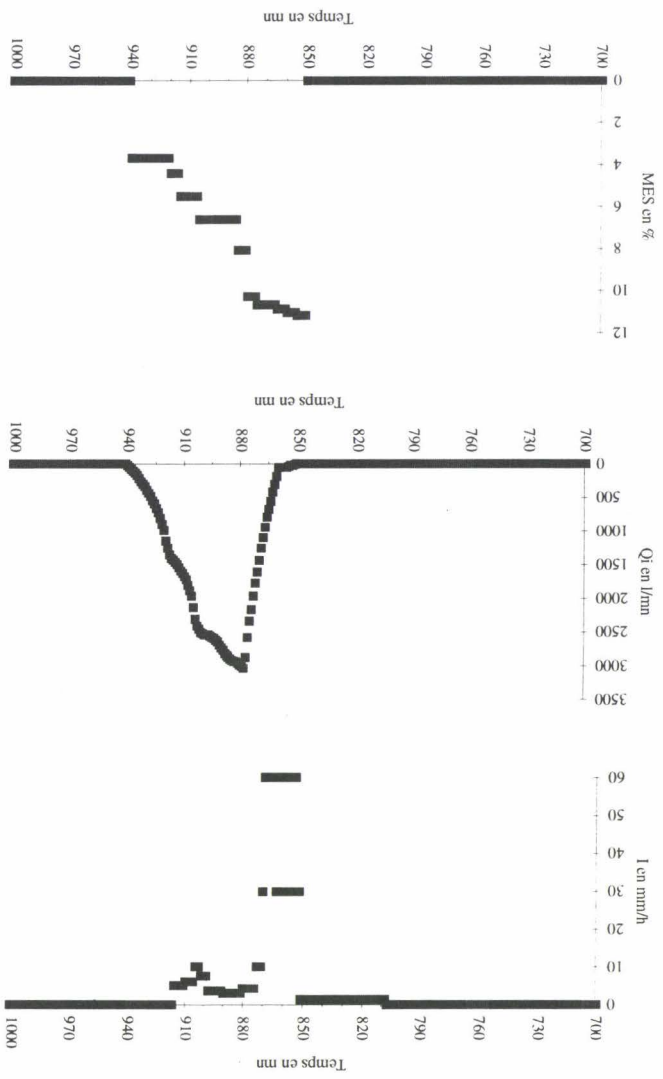


Figure II - 2 - 2 - 4 - f : Occupation du sol le 6 juillet 1991 et ruissellement à Erlon

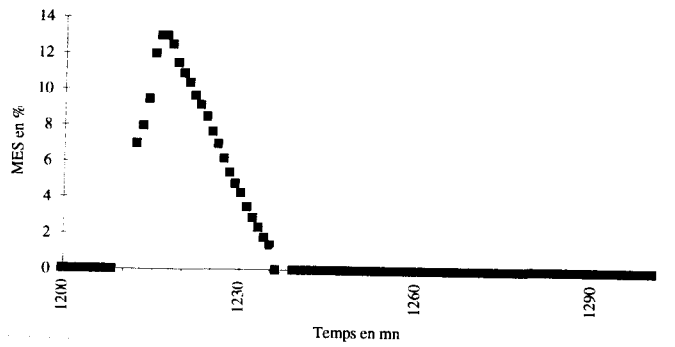
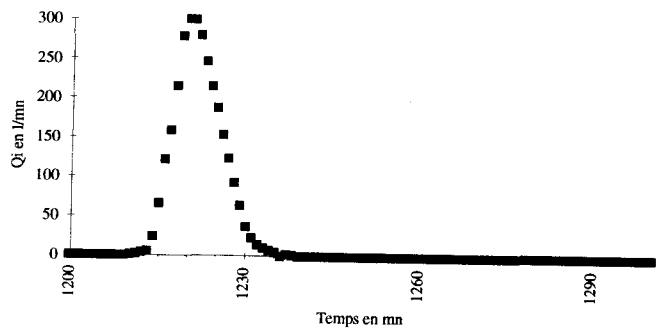
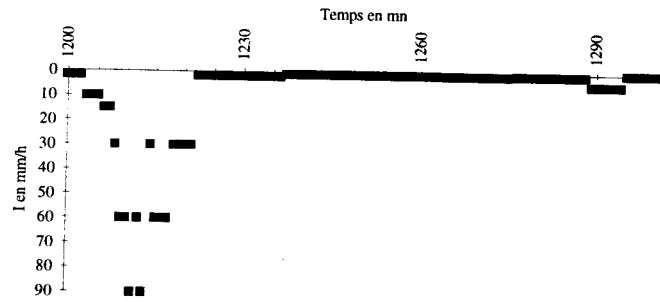
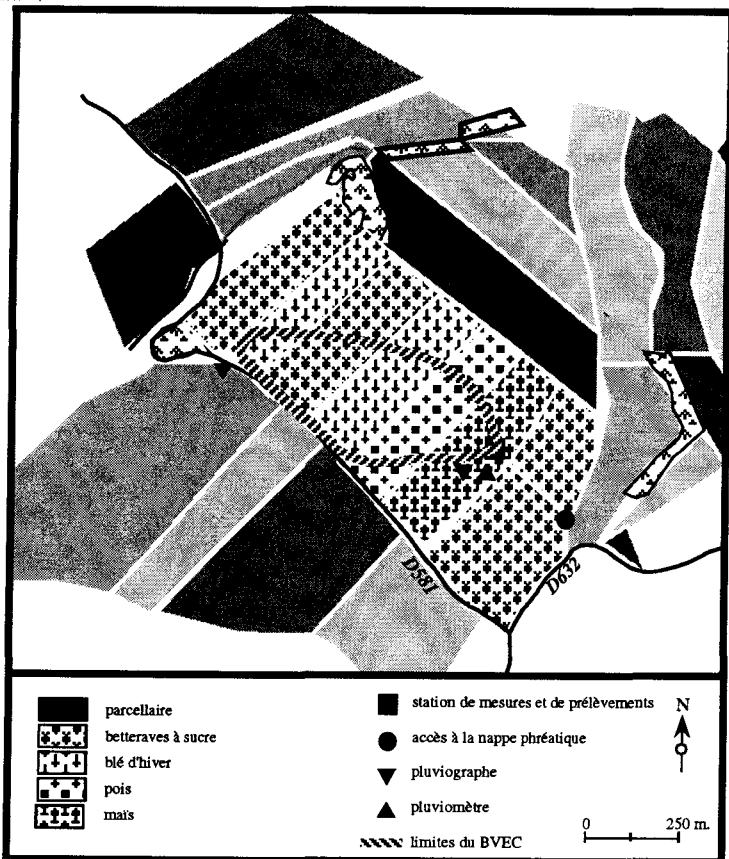
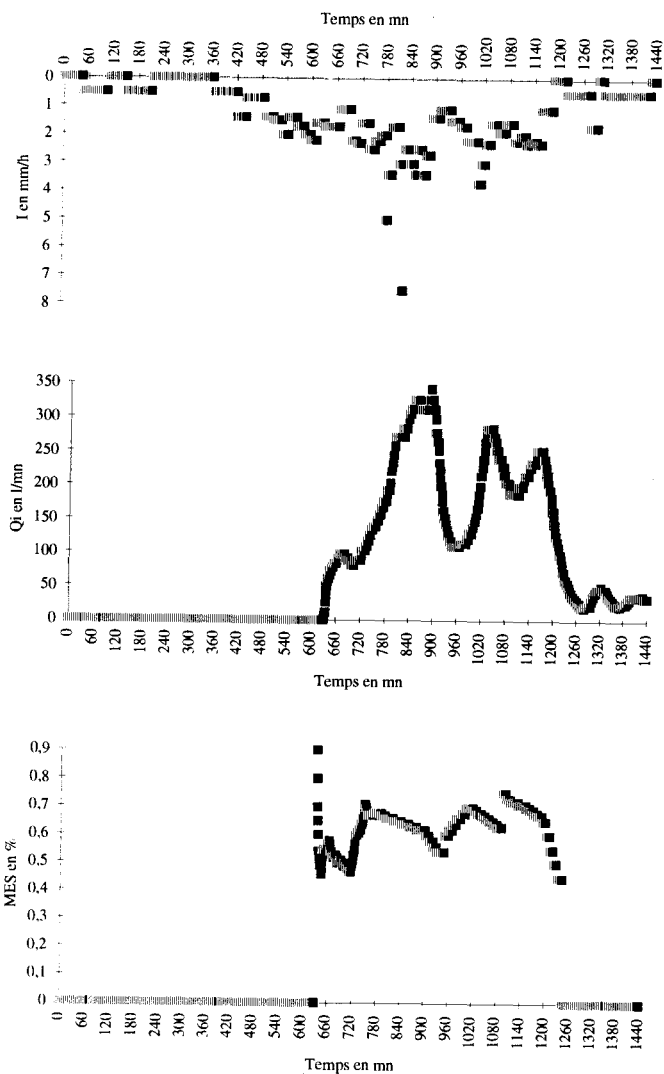
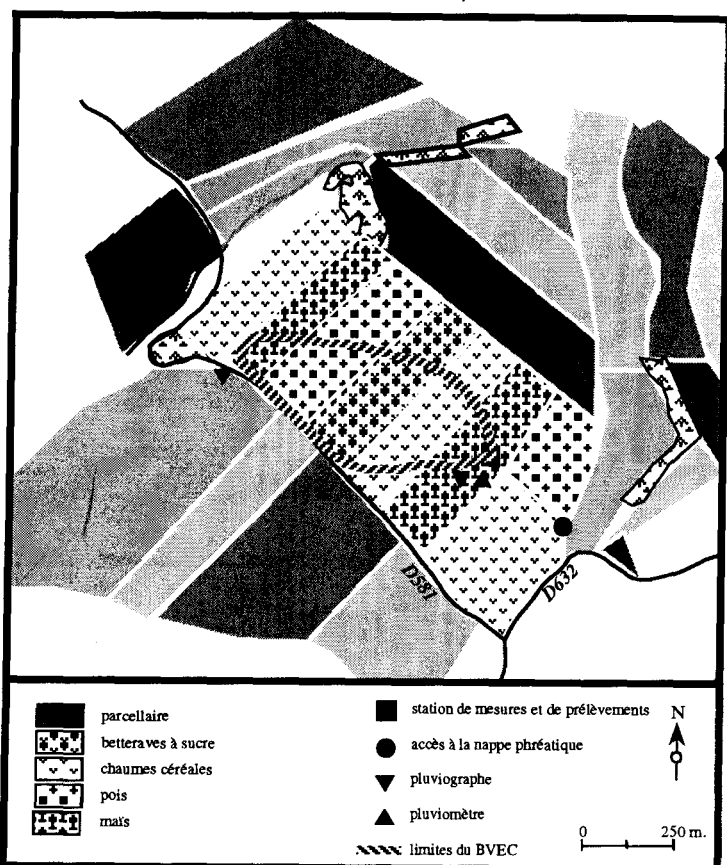


Figure II - 2 - 2 - 4 - g : Occupation du sol le 28 août 1992 et ruissellement à Erlon



II - 3 - Conclusion

*** Rôle des différences géomorphopédologiques**

- Fréquence des ruissellements et seuils de déclenchements en relation avec la superficie

La taille et la forme des BVEC expliquent la plus grande fréquence des ruissellements à Erlon.

Ces caractéristiques ont un effet très important puisqu'elles conditionnent l'**existence de seuils très strictes sur le site de Vierzy**. En effet, plus un bassin est grand, plus les **relais** sont nombreux, plus le **temps de contact entre le sol et l'eau** est long, plus les possibilités d'infiltration sont accrues. Ce qui n'est pas le cas dans les petits bassins. De plus, les pentes sont beaucoup plus marquées à Erlon qu'à Vierzy.

Toutefois, la lame d'eau nécessaire au déclenchement du ruissellement n'est pas proportionnelle à la surface.

Les ruissellements n'apparaissent à Vierzy que dans deux cas :

- **une forte lame d'eau journalière d'au moins 20 mm** associé à un petit pic d'intensité d'environ 24 mm/h et à **une saturation antérieure des sols**,
- **une très forte lame d'eau journalière - 50 à 100 mm** (20 mm ne suffisent pas comme le montre la pluie du 19 août 1994) - bien sur accompagnée de très fortes intensités.

Une certaine lame d'eau est donc nécessaire **pour saturer les sols à Vierzy** et entraîner un ruissellement, nous situons cette lame d'eau à **environ 50 mm**. Ensuite, 8 à 9 mm en moins d'une heure suffisent pour produire le ruissellement (cas du 3 janvier 1994 et du 25 janvier 1995). Même en période estivale cette étape de saturation est nécessaire au déclenchement du ruissellement. L'état de surface (battance), la végétation, etc. n'interviendront que sur le volume.

A Erlon, **les seuils de pluie journaliers nécessaires au déclenchement du ruissellement sont extrêmement variables : quelques millimètres à 20 mm**. Le seul facteur pluviométrie ne suffit pas à expliquer les ruissellements. Toutefois, les seuils sont bien inférieurs à ceux de Vierzy où une pluie isolée doit avoisiner 40 à 50 mm pour entraîner un écoulement. Bien plus que la différence de pluviométrie entre les deux sites, **ces seuils expliquent la plus grande fréquence des ruissellements à Erlon**.

A Vierzy, **les pluies antérieures**, qui entraînent la saturation du sol, sont primordiales. Ce cumul peut être considéré **sur une période de dix jours**, durée qui semble représentative. Mais, la succession des pluies sur une plus longue période explique parfois des ruissellements pour une faible lame d'eau. Par exemple le 3 janvier 1994, le ruissellement survient après les très gros ruissellements des 20-21 décembre 1993. Plus de dix jours se sont écoulés, mais les sols sont encore largement saturés en eau.

Statistiquement des lames d'eau de 20 à 50 mm en une journée ont des périodes de retour de 2 à 20 ans, ce qui explique la rareté des ruissellements à Vierzy.

La lame d'eau d'imbibition minimum du sol atteint très rarement moins de 7 mm à Vierzy, alors qu'elle est très fréquemment de 0,5 mm à Erlon.

- Les coefficients de ruissellement et les textures de surface

Les caractéristiques géomorphopédologiques entraînent aussi des différences de **coefficients de ruissellement**. Ces derniers sont **très nettement supérieurs à Erlon** où les pentes et le réseau de drainage contribuent à une meilleure concentration des écoulements. Par contre, lors de ruissellements consécutifs, **les coefficients de ruissellement augmentent beaucoup plus rapidement à Vierzy en relation avec la dominance des limons moyens** dont la susceptibilité à émettre du ruissellement est nettement supérieure à celle des limons argileux. Les limons moyens se dégradent plus rapidement pour donner une croûte de battance.

Par ailleurs, **à Erlon, quelques jours sans pluie suffisent au ressuyage des sols** : le coefficient de ruissellement peut augmenter au cours de ruissellements successifs, mais il diminue quand au moins quatre jours séparent deux averses équivalentes. Les limons argileux se restructurent plus rapidement que les limons moyens. **A Vierzy, il faut plus d'une dizaine de jours entre deux averses pour que le coefficient diminue.**

Les **textures de surface** semblent donc intervenir sur la **susceptibilité à ruisseler**, mais aussi la **capacité de récupération des sols** en cas d'interruption de pluies prolongées. A Vierzy, la capacité d'absorption en eau est donc supérieure dans un premier temps, mais lorsque les sols sont saturés, le ressuyage est plus long.

On notera que **les coefficients de ruissellements restent toutefois très faibles. Ils ne dépassent pas 15 %.**

- L'amplitude des ruissellements indépendante des superficies

Toutes proportions gardées, à Erlon comme à Vierzy, les ruissellements **les plus fréquents** sont ceux dont le débit instantané maximum est compris entre **1 à 100 l/mn** et dont le volume est supérieur à **1 m³**. Les très gros ruissellements, dont le débit instantané maximum est supérieur à 30 000 l/mn, existe sur les deux sites, mais les tous petits, de moins de 1 l/mn, sont aussi très nombreux à Erlon.

Toutefois, si on considère **les valeurs relatives**, c'est-à-dire rapportées à l'hectare, **les débits instantanés maximum et les volumes sont nettement plus faibles à Vierzy**. Ceci peut être attribué aux faibles pentes, aux grandes distances et aux nombreux replats qui limitent la formation du ruissellement et, à l'inverse, favorisent les infiltrations.

La topographie entraîne des "comportements limites" différents. Après une longue période pluvieuse, lorsque les sols sont saturés, **les temps de réponse et de concentrations** sont réduits au minimum. Même dans ces conditions, **ils sont toujours supérieurs à Vierzy qu'à Erlon** : ils atteignent quelques dizaines de minutes à Erlon, mais restent proches d'une heure à Vierzy. La saturation des sols en eau joue donc un rôle important, mais qui atteint toutefois ses limites à Vierzy.

- La forme des hydrogrammes de ruissellement et les pentes

Les fortes pentes d'Erlon entraînent **des réponses aux pluies toujours plus rapides qu'à Vierzy**. Les temps de concentration des écoulements subissent aussi cet effet de pente et sont beaucoup plus courts sur le petit bassin.

- Le maintien des débits à une valeur maximale, aussi un effet de superficie et de pente

La taille et les faibles pentes de Vierzy sont la cause d'écoulements longs car arrivant de loin. Le régime permanent, c'est-à-dire le maintien du débit à sa valeur maximale, est souvent plus long à Vierzy. Il est même parfois très élevé (50 mn) témoignant d'une arrivée continue et régulière de l'eau de l'ensemble du bassin. **Toutefois, le temps de vidange est beaucoup plus court à Vierzy.** Les replats beaucoup plus nombreux qu'à Erlon facilitent le stockage et l'infiltration des eaux de fin de ruissellement. **A Erlon**, en revanche, on constate bien après la fin de l'averse (5 heures) des résidus d'écoulements qui semblent provenir du déchargement des sols.

* Rôle des structures et des pratiques agraires

- L'absence de ruissellement et la limitation des volumes ruisselés liées au travail du sol

Certaines pratiques culturales, si elles ont lieu au bon moment, comme **les labours et le sous-solage** ont un rôle indéniable sur le déclenchement du ruissellement. Une très forte présence de **céréales d'hiver** limite, quant à elle, **les volumes ruisselés**. Mais que ce soit les labours ou les céréales d'hiver, **ils doivent cependant concerner une grande part du bassin versant** et, surtout, les parties aval, à l'amont immédiat des exutoires. **L'occurrence d'une telle situation est plus grande sur le petit bassin versant** où il n'y a que sept parcelles et un exploitant. **A Vierzy, limiter le ruissellement par ces pratiques est difficile** compte tenu de la surface, du nombre de parcelles et d'exploitants. Dans les cas où de telles pratiques sont appliquées **à Erlon, les seuils de déclenchement des ruissellements sont considérablement augmentés**. Ces pratiques ont beaucoup **moins d'effets à Vierzy où l'hétérogénéité des surfaces** fait que les seuils restent constants.

- Les parcelles : tailles et sens de travail

A Erlon dans le cas de faibles débits, les hydrogrammes de ruissellement sont aussi complexes en relation avec une hétérogénéité du parcellaire qui induit des retards d'écoulements. Les débits élevés ne font pas apparaître ces nuances.

A Vierzy, le parcellaire perpendiculaire à la plus grande pente intervient toujours en ralentissant les ruissellements. Les écoulements ralentis arrivent plus massivement à l'exutoire. **L'hydrogramme présente alors une forme bien lissée.**

A Erlon, le ruissellement peut ne venir que d'une partie du bassin versant, certaines parcelles amont labourées ou déchaumées ne ruissellant pas. Le parcellaire constitue le seul élément de déconnexion notable (mis à part les 4 ha du nord-ouest du bassin versant déconnectés par la route).

Dans plusieurs cas, on peut différencier l'eau de ruissellement originaire des parcelles amont et celle des parcelles aval, en raison du retardement de propagation. On s'aperçoit ainsi que certains ruissellements de Vierzy résultent du fonctionnement d'une partie du BVEC et non de sa totalité. A Erlon, les eaux provenant des différentes parties du BVEC peuvent arriver à l'exutoire avec plus ou moins de décalage de temps. Ce qui entraîne des conséquences sur la forme des hydrogrammes qui sont plus complexes. Mais ces cas sont rares, essentiellement au printemps quand l'hétérogénéité entre parcelles est prononcée. **Le plus souvent, les hydrogrammes complexes sont liés à des pluies composées.**

- Les relais sur le grand bassin

Les axes de communication, routes et chemins, intervenant comme des collecteurs, jouent un rôle prépondérant à Vierzy. A Erlon, l'action des axes de communication est beaucoup plus réduite, puisqu'elle ne concerne que la petite portion du bassin versant déconnectée.

A Vierzy, le bassin versant fonctionne dans son ensemble, si la **"cuvette" située en amont du chemin** (au tiers amont) **est remplie d'eau** et lorsque les sols présentent une certaine saturation en eau dans l'horizon superficiel (probablement sur les cinq premiers centimètres). L'engorgement en eau de la "cuvette" sur la partie amont du bassin est possible parce que les sols sont particulièrement tassés et que la semelle de labour est très compacte. De plus, cette "cuvette" collecte environ 50 ha ce qui est loin d'être négligeable. Il faut par la suite une à deux semaines sans pluie pour que l'eau accumulée s'infilte (les sols ne sont imperméables que très temporairement). Une averse de 20 mm, quand cette zone est saturée en eau, peut entraîner une contribution de l'ensemble du bassin. **A l'inverse, le ruissellement ne concerne que la partie aval du bassin, si les zones amonts ne sont pas reliées.**

A Erlon, les ruissellements se déclenchent rarement suite à une saturation d'une forte épaisseur de sol (sauf en hiver, cas 20 décembre 1993). Un engorgement superficiel en eau est suffisant.

TROISIEME PARTIE

EROSION ET DEGRADATION DES SOLS ET DES EAUX DE SURFACE

Modalité de transferts et exportations de matériaux solides
et solubles sur les bassins versants
et propositions de gestion

Erosion et dégradation des sols et des eaux :
Modalité de transferts et exportations de matériaux solides et solubles
sur les bassins versants et propositions de gestion

Introduction

Les eaux de ruissellement sont vectrices d'éléments solides et solubles originaires des parcelles cultivées.

- Les transports solides

Les MES, qui transitent à l'exutoire, proviennent des versants et/ou des talwegs. Deux processus principaux interviennent dans l'entraînement des particules : le splash et l'arrachement par les eaux de ruissellement. Certains éléments permettent de montrer la coexistence de ces deux processus, et parfois la dominance de l'un ou l'autre, ces mécanismes se déclenchant de façon préférentielle sous certaines conditions. Dans le cas d'érosion par arrachement de particules, il est important d'évoquer la notion de débit érosif, passage du ruissellement diffus non érosif au ruissellement érosif concentré.

Les transferts de MES sont, tout d'abord, liés aux facteurs morphopédologiques. Ces derniers, en conditionnant la formation et la concentration du ruissellement, influencent la quantité et l'origine des MES érodées. Par exemple, un grand bassin présentant d'importantes surfaces d'alimentation en eau planes semble plus sensible à une érosion concentrée par un puissant débit. A l'inverse, un bassin ayant de fortes pentes paraît plus sensible à l'érosion de versants. Des éléments comme les dimensionnements de rigoles ou le Cs137, marqueur des déplacements de sol, apportent des indications sur l'importance des migrations sur les versants ou dans les talwegs, mouvements qui peuvent résulter de l'érosion, comme du travail du sol par l'agriculteur.

Les transferts solides sont, par ailleurs, en relation avec les pratiques culturales. La sensibilité d'un sol au splash et à l'incision est fonction du couvert végétal. Par exemple, en période hivernale, les cultures d'hiver et les intercultures travaillées sont plus sensibles à l'incision qu'un labour ou qu'un chantier de récolte, du fait de l'ameublissement de la surface et de la faible rugosité. Alors qu'au printemps, une surface battante est très sensible à l'érosion diffuse

Un premier chapitre établit une synthèse des exportations en MES. Puis, il présente les modalités de déplacement et les concentrations en relation avec les facteurs pluviométriques, morphopédologiques et cultureux. Enfin, il présente les impacts de l'érosion sur le milieu sol.

- Les transferts de polluants

De nombreuses substances transitent à l'exutoire au cours d'un ruissellement. Dans un second chapitre, les concentrations et les flux sont quantifiés afin d'apporter une explication sur l'origine géographique des polluants et les conditions de déplacement. Les transferts solubles sont en étroite relation avec les transports solides car certains polluants sont fixés sur les MES. Il existe aussi un rapport avec les apports agricoles en relation avec les dates d'épandage, la nature des produits utilisés, leur forme et les quantités épandues et perdues.

- Situations à risques et propositions

Ces transferts ne sont pas sans effet sur le milieu récepteur, qui est atteint tant au niveau quantitatif que qualitatif. Le dernier chapitre met en valeur l'impact des flux solides et liquides sur les eaux de surface et sur l'habitat dans deux situations extrêmes : les très fortes pluies hivernales et les orages violents. Les premières entraînent d'importants ruissellements et contribuent à la formation des crues. Les seconds occasionnent des transferts polluants considérables. L'ampleur de ces risques justifie que l'on recherche des solutions, sous forme de pratiques culturales ou d'aménagements, solutions qui doivent être adaptées aux volumes et à la composition des ruissellements.

I - Le ruissellement et l'érosion, des pertes solides variables

I - 1 - MES dans les eaux de ruissellement

I - 1 - 1 - Ordre de grandeur des concentrations en MES

Les concentrations en MES mesurées dans les eaux de ruissellement sont très variables selon les ruissellements. Si elles sont faibles dans les épisodes hivernaux, les ruissellements estivaux, très chargés, peuvent être comparés dans certains cas à des coulées boueuses (tab. I - 1 - 2 - a, b et c)

Les concentrations en MES relevées dans les coulées boueuses sont extrêmement élevées (maxi 26 %, soit environ 300 g/l) en comparaison avec celles rencontrées dans la littérature. Elles correspondent pratiquement à des coulées par solifluxion des sols, la charge maximale de terre potentiellement mise en suspension sur les sols étudiés étant de 33 % (mesures de laboratoire, Gilbert Chêne, 1994). Ceci s'explique aussi par la localisation de la station de mesure, directement implantée dans un talweg sec - où la pente est encore marquée - et non dans un cours d'eau.

Munoz (1992) a relevé les plus fortes teneurs de 166 à 10 660 mg/l sur le bassin versant de l'Ardières (Beaujolais) pendant des orages (mesures entre 1988 et 1989). Mais en général, les concentrations mesurées aux exutoires des bassins sont inférieures : quelques milligrammes à 400 mg/l pendant de grosses crues sur l'Orgeval (MUXART, PENVEN, 1993), 5 à 160 mg/l pendant une crue de juin (DORIOZ, FERHI, 1994). Sur parcelles, Larue (LARUE et al, 1995) relève des charges presque comparables : 30 à 50 g/l, mais ces valeurs chutes à 0,44 g/l à l'exutoire. Ainsi au cours d'un orage, les BVEC peuvent avoir un comportement voisin de celui d'une parcelle.

Pour les ruissellements consécutifs à des pluies modérées, les flux de MES sont modestes : 0,2 à 27 kg/ha sur le site d'Erlon et 0,4 kg/ha et 6 kg/ha sur celui de Vierzy. Les mesures sur parcelles de 20 m², pour des sols comparables, montrent, bien sûr, des valeurs supérieures : 120 à 200 kg/ha pendant le mois qui suit le semis (LARUE, MAHOU, MONNIER, 1995). De même les estimations sur bassin versant avec écoulement pérenne d'une dizaine de km², au cours d'une crue, donnent un ordre de grandeur comparable : 4,2 à 88 kg/ha sur le bassin versant du Mélarchez (MUXART, PENVEN, 1993)

Contrairement à celles consécutives aux pluies modérées, les sorties au cours d'un orage sont considérables : 20 t/ha à Erlon en août 1995 (suite à une pluie plus de 102 mm en deux heures). Ce chiffre est très supérieur aux plus forts taux d'érosion hivernale notés dans le Pays de Caux : 140 à 240 t/km², soit 1,4 à 2,4 kg/ha (par estimation du volume des rigoles) (OUVRY, 1992). Il est aussi au-dessus des 57 t/km²/an (570 kg/ha) mesurés sur le bassin versant de La Tortue, dans la Sarthe (LARUE, MAHOU, MONNIER, 1995). L'intensité des pluies constitue ici le principal facteur explicatif de cette forte charge en MES.

Tableau I - 1 - 2 - a : Bilan des ruissellements et des transferts de MES à Erlon entre 1993 et 1995

Date(s) du ruissellement	Pj en mm	I max pd 1 mn en mm/h	Pj-1 en mm	P 10 j en mm	V en m ³	Qi maxi en l/mn	MES total en kg (1)	MES teneur maxi en % (2)
10-Nov-93	13,5	3	0	0,5	57	1 200	93	0,70
10*-11-12-13-Dec-93	15	15	1,5	23,3	407	2 000	209	0,32
15-16-17*-18-Dec-93	19,2	8	2,1	57,9	142	585	90	0,14
19-Dec-93	20,5	10	0	65,5	190	2 150	600	0,51
19-20*-21-Dec-93	41	30	20,5	86,1	670	8 500	***	***
04*-05-06-Janv-94	4	1	2,7	18,3	69	1 250	34	0,09
10-11-12-13-14-15-16*-Janv-94	13	3	4	19,5	408	985	326	0,26
20-21-22-23-24-25-26-27*-28- Janv-94	5,5	15	2	15,5	110	1 400	65	0,10
04-Avr-94	24	7,5	0	21,5	2,5	14	3	0,19
24-Mai-94	9	24	0	44	13	900	500	6,1
06*-07-août-95	75	210	0	1,5	2 500	40 000	364 200	26

(1), (2), (*), (**), et (***) voir pages suivantes

Tableau I - 1 - 2 - b : Bilan des ruissellements et transferts de MES à Vierzy entre 1993 et 1995

Date(s) du ruissellement	Pj en mm	I max pd 1 mn en mm/h	Pj-1 en mm	P 10 j en mm	V en m ³	Qi maxi en l/mn	MES total en kg (1)	MES teneur maxi en % (2)
14-15*-Oct-93	6,2	4	20,2	71,6	142,7	700	100	0,08
20*-21-Dec-93	28,7	24	20,3	89,7	1 424,6	6 300	1 083	0,18
03-Janv-94	9,6	24	7,5	57,5	64,7	960	77	0,14
25-Janv-95	20,6	48	5,6	55,6	20,9	306	245	0,14
11-Jul-95	45,8	108	0	8,8	>> 20 000 **	>> 33 000 **	très élevé **	très élevé **

(1), (2), (*) et (**) voir pages suivantes

I - 1 - 2 - "Crue liquide" ou "crue boueuse" : vers une typologie basée sur la charge en MES

Au regard des résultats, il apparaît deux types de signaux ayant des caractéristiques de volume et surtout de charge en MES différentes.

On distingue d'une part la "crue boueuse" qui se caractérise par :

- une concentration en MES forte à très forte : 10 à 60 g/l ;
- un écoulement bref 30 mn à 2h30 ;
- une lame d'eau variable : 10 à 100 mm ;
- des intensités notables à élevées : 24 à 200 mm/h pendant 1 mn (4 à 72 mm/h en 1 h).

et, d'autre part, la "crue liquide" qui se manifeste par :

- une concentration en MES faible : inférieure à 10 g/l (souvent même inférieure à 1 g/l) ;
- un écoulement à durée variable, plutôt long : quelques heures à une journée ;
- une pluie d'origine faible ou importante (quelques millimètres à 50 mm) mais avec des intensités modérées (1 à 24 mm/h pendant 1 mn, 2 à 8 mm/h pendant 1 h).

Malgré les différences de pentes, de textures de surface et d'activités culturelles des sites, on y observe les deux types de crues. La classification semble donc applicable à différents contextes géomorpho-pédologiques et cultureux.

La différenciation se base essentiellement sur la concentration en MES et non sur le flux solide. En effet, une crue liquide peut présenter un flux en MES notable. Par exemple en décembre 1993 à Vierzy, environ 1 100 kg de terre ont été exportés sans que les concentrations n'aient été considérables (tab. I - 1 - 2 - a, b et c). Mais le ruissellement ayant duré plus de 24 heures, il y a eu cumul des exportations.

La coulée boueuse n'est pas forcément associée à des débits instantanés très élevés. C'est le cas lors de certains orages, le 6 juillet 1991 et le 24 mai 1994 (tab. I - 1 - 2 - a et c, les débits instantanés ont seulement atteint 300 et 900 l/mn, ce qui reste modéré. Les intensités jouent un rôle important, mais en association avec d'autres facteurs. En effet, les coulées boueuses ont lieu lors d'averses d'intensité variable : moyenne à très forte pour la région (24 à 200 mm/h pendant au moins 1 mn ou 4 à 72 mm/h pendant au moins 1 h). Il semble donc que des facteurs autres, comme les états de surface, des dépôts érosifs antérieurs dans les fonds de talweg et le taux de couverture du sol par la végétation interviennent dans cette différence de charge en MES. C'est pourquoi, dans les chapitres suivants, nous allons tenter de cerner l'origine des sédiments, afin de mieux comprendre les mécanismes de prise en charge et de transport.

La période d'étude considérée est relativement courte et les ruissellements sont peu nombreux, mais quelques résultats antérieurs confirment cette classification.

Tableau I - 1 - 2 - c : Bilan des ruissellements et des transferts de MES à Erlon entre 1989 et 1992
(d'après WICHEREK et al, 1993)

Date(s) du ruissellement	Pj en mm	I max pd 1 mn en mm/h	Pj-1 en mm	P 10 j en mm	V en m3	Qi maxi en l/mn	MES total en kg (1)	MES teneur maxi en % (2)
24-Sept-89	12,5	36	-	-	0,275	6	7	3
27-Fev-90	27,5	17	-	-	12,8	110	58	0,7
08-Mai-90	19	51	-	-	130	3 000	9 500	11
28-Oct-90	23	5	-	-	120	340	730	0,7
25-Nov-90	8,5	3	-	-	72	450	114	0,2
06-Jul-91	15,5	60	-	-	3	300	283	13
07-Jul-91	2,5	13	-	-	0,475	50	37	10
25-Mai-92	12,5	43	-	-	0,2	25	4	2,5
28-Mai-92	5,5	9	-	-	0,25	16	10	4
30-Mai-92	5	29	-	-	11	900	300	3
31-Mai-92	2	12	-	-	0,6	60	14	2,7
31-Mai-92	12,5	72	-	-	400 ****	5 000 ****	40 000 ****	13 ****
02-Juin-92	16,5	18	-	-	160	2 000	14 000	12

(1) La charge en MES est exprimée en pourcentage du poids total de l'échantillon constitué d'eau boueuse. Pour rapporter en g/l, on multiplie ce pourcentage avec la densité donnée par la courbe d'étalonnage présentée ci-après (fig. I - 1 - 2 - a).

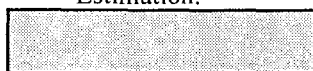
(2) L'estimation des exportations correspond à la somme des produits des valeurs de débits instantanés et de la charge en MES au même moment.

* Lorsque le ruissellement s'étale sur plusieurs jours, * indique le jour du débit maxi qui est aussi le jour pris pour la valeur de pluie journalière.

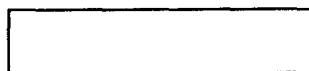
** La station a été détruite par la coulée boueuse et le village déclaré sinistré.

*** Dysfonctionnement du préleveur.

**** Estimation.



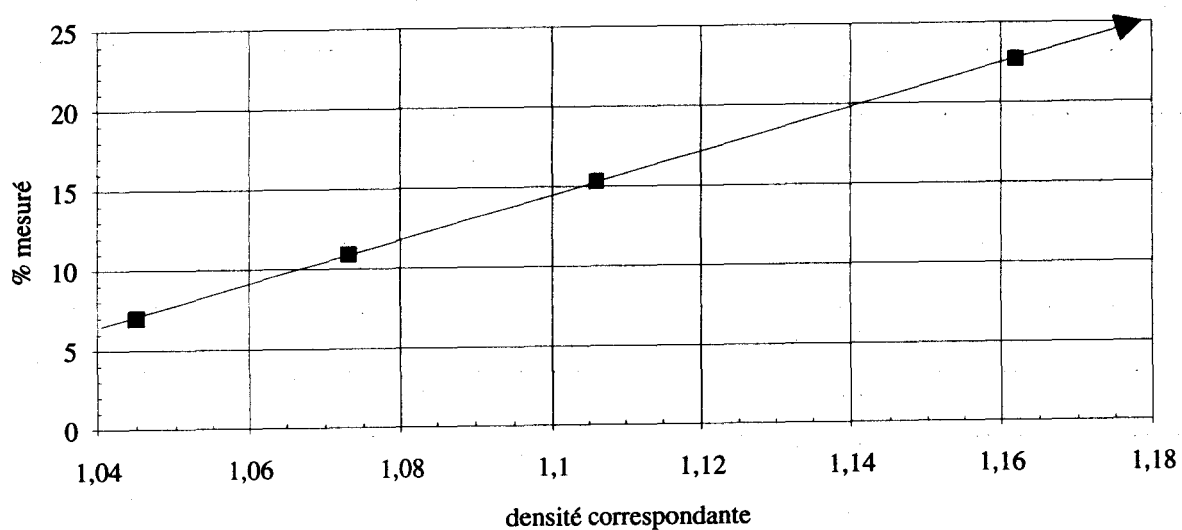
Crue boueuse



Crue liquide

Figure I - 1 - 2 - a : Courbe d'étalonnage : pourcentages mesurés de matières solides dans l'eau et densités correspondantes

Les pourcentages mesurés sont multipliés par cette densité pour obtenir le poids réel de terre exportée.



I - 2 - Variations temporelles des concentrations en MES : les turbidigrammes

La charge mesurée en MES peut être très variable entre les différents ruissellement (jusqu'à un facteur 10 à Vierzy et 200 à Erlon), mais aussi au cours d'un même ruissellement (jusqu'à un facteur 10 à Vierzy et 52 à Erlon).

I - 2 - 1 - Comportement de la charge en MES

I - 2 - 1 - 1 - Evolution des concentrations

*** les ruissellements courts**

A Erlon comme à Vierzy, les ruissellements ne durant qu'une à deux heures montrent des valeurs en MES qui suivent l'évolution des débits (fig. I - 2 - 1 - a, b et c ci-après). Toutefois, les concentrations en MES ne semblent pas proportionnelles à ces mêmes débits.

Le 24 mai 1994 à Erlon, les débits restent inférieurs à 1 000 l/mn, alors que les concentrations s'élèvent à plus de 1 %.

Le 3 janvier 1994 et le 25 janvier 1995 à Vierzy, les débits inférieurs à 1 000 l/mn présentent une charge en MES proche de 0,1 % (0,11 à 0,14 %). Dans la partie précédente, la relation entre les intensités, la rapidité de la réponse et de la durée du ruissellement a été montrée. Pour des ruissellements hivernaux la charge solide est élevée, en relation probablement avec de fortes intensités. Les intensités^(*) n'interviennent apparemment pas sur le débit maximum mais sur la rapidité des déplacements.

*** Les ruissellements longs et de période hivernale**

A Vierzy, on observe deux types de comportement en étroite relation avec les débits. Lorsque le débit se maintient en dessous 1 000 l/mn, les MES restent inférieures à 0,1 % (0,06 à 0,1 %). Elles évoluent à peine et ne suivent pas les variations du débit. Quand le débit dépasse le seuil des 1 000 l/mn, les concentrations évoluent dans le même sens. C'est le cas le 15 octobre 1993 et le 20 décembre 1993 (fig. I - 2 - 1 - d, e, f et g ci-après). Dans chacune de ces situations, les intensités restent inférieures à 4 mm/h et les concentrations supérieures à 0,1 % correspondent à des débits élevés (3 000 à 5 000 l/mn).

Le 15 octobre 1993, l'augmentation du débit jusqu'à 800 l/mn ne s'accompagne pas d'une augmentation de la charge en MES, mais, à l'inverse, d'une baisse (à $t = 260$ mn). En effet, la première vague d'eau correspond à une légère augmentation des concentrations en MES (entre 190 et 240 mn). Mais la vague suivante apporte une eau claire, peu chargée de MES. Dans la précédente partie, on a émis l'hypothèse que cette seconde vague pourrait provenir essentiellement de la partie amont du BV. Sur cette partie amont du site, les pentes des versants et des talwegs étant modérées, l'arrachement de MES a probablement été faible et les dépôts vraisemblables (à cette date, les sols tassés par les récoltes sont moins sensibles à l'incision, d'autant que les intensités des pluies sont faibles). L'eau qui arrive de l'amont est probablement moins chargée en MES et entraîne une dilution de celle plus chargée qui provient de l'aval, d'où cette diminution de la charge totale.

(*) Plusieurs pics de 24 mm/h ont été enregistrés le 3 janvier 1994. Le 25 janvier 1995, les intensités ont atteint 24, puis 36 et 48 mm/h.

Figure I - 2 - 1 - 1 - a : Intensités, débits instantanés et MES à Erlon le 24 mai 1994

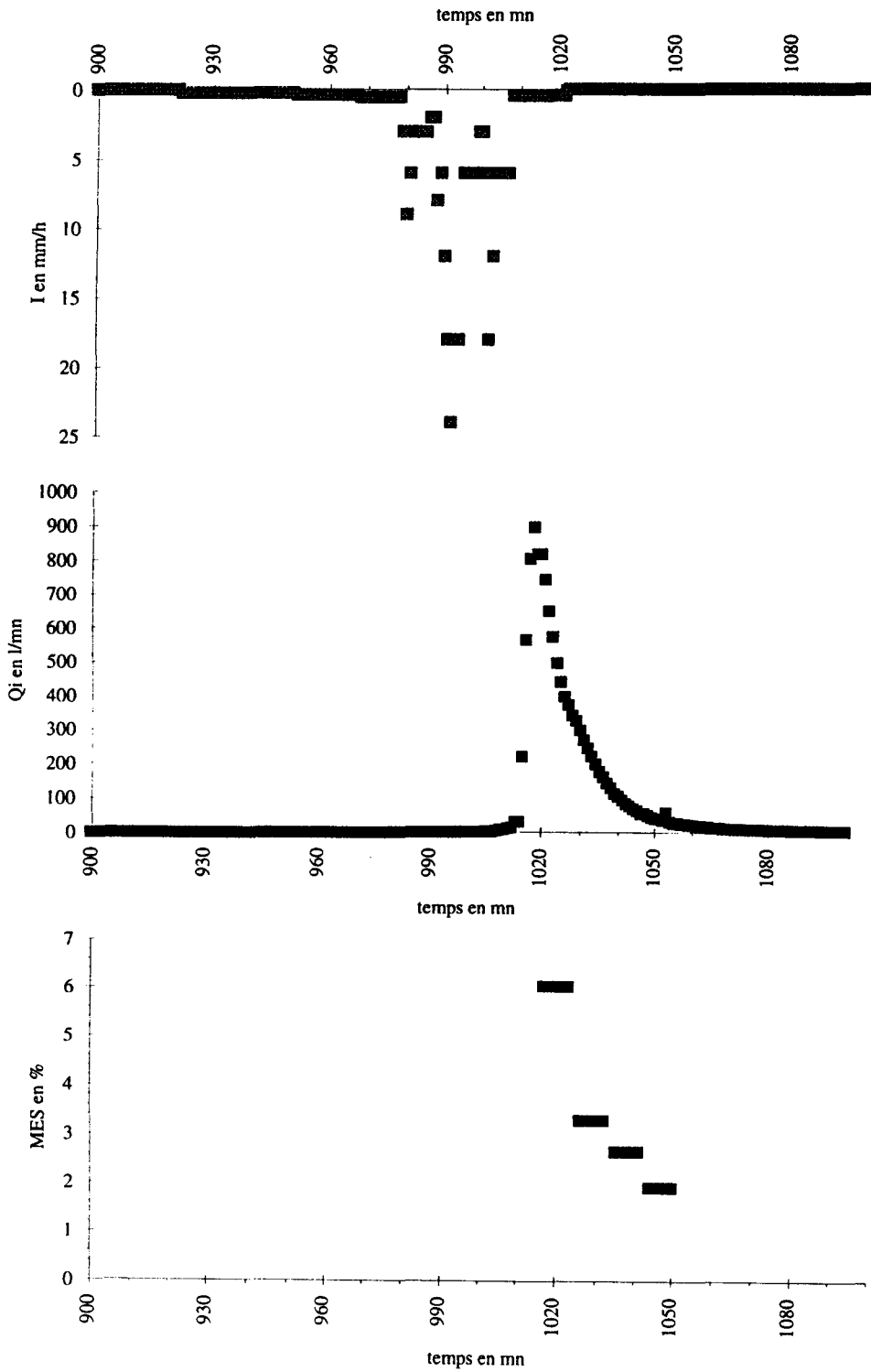


Figure I - 2 - 1 - 1 - b : Intensités, débits instantanés et MES à Vierzy le 3 janvier 1994

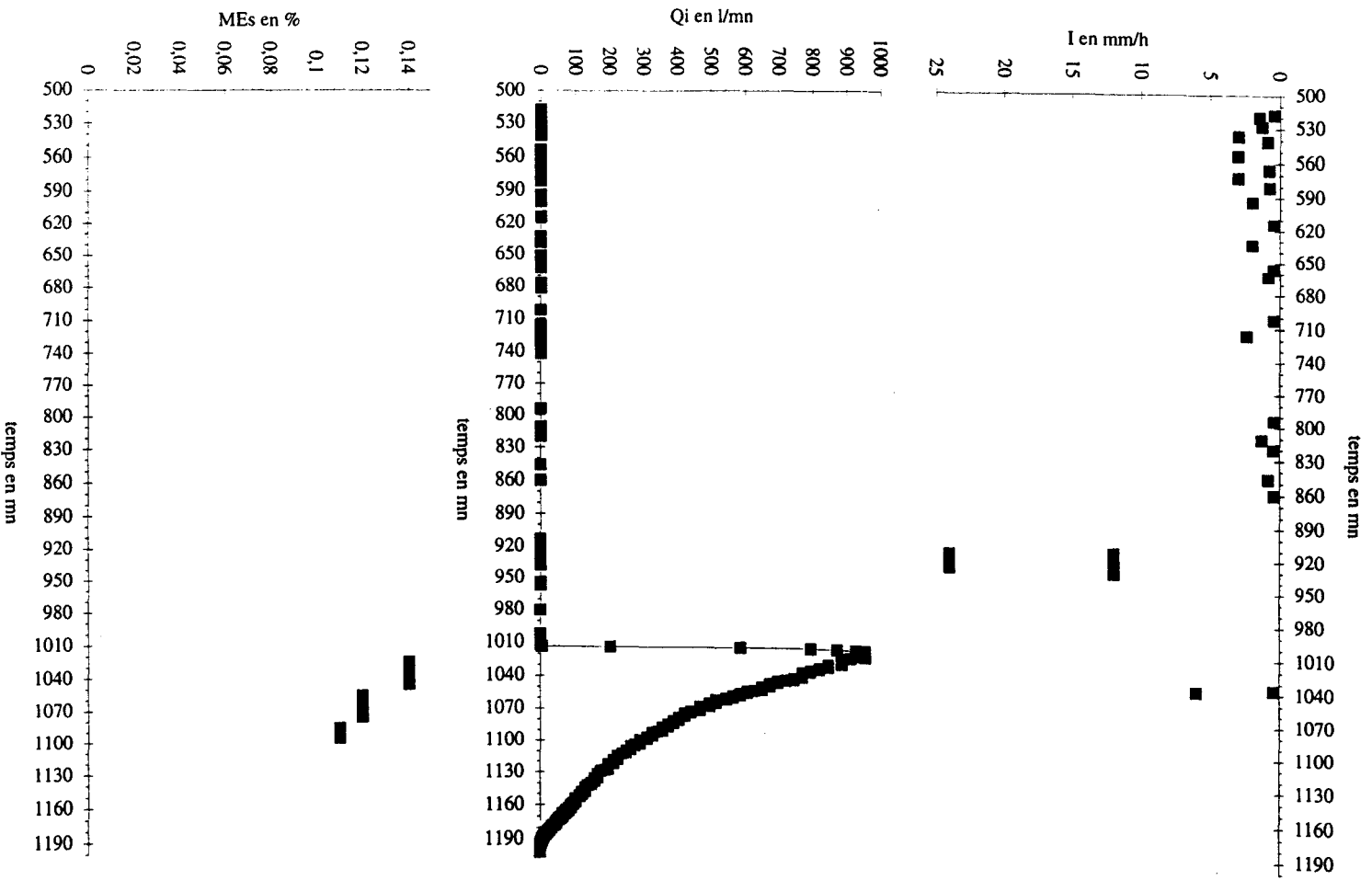
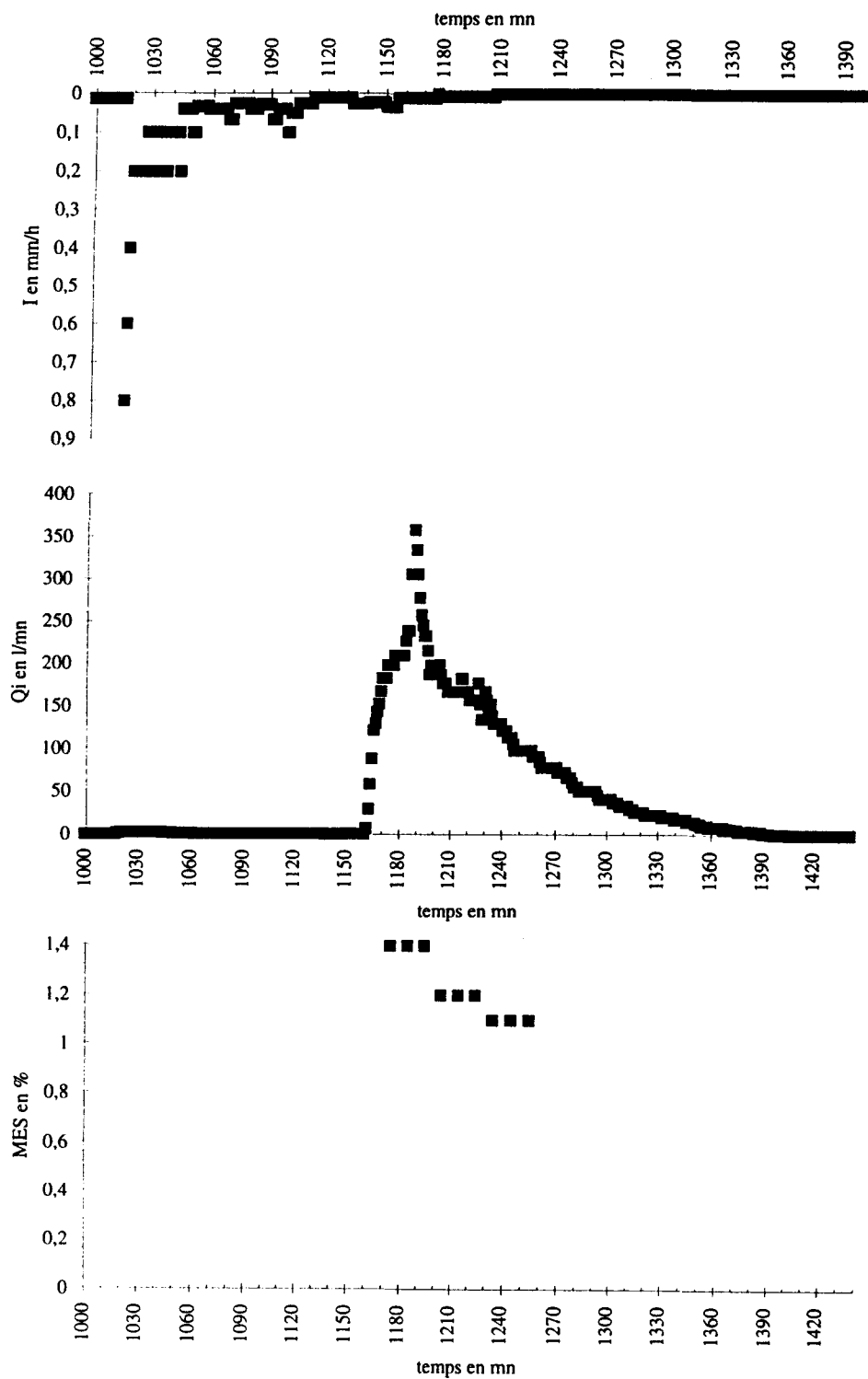


Figure I - 2 - 1 - 1 - c : Intensités, débits instantanés et MES à Vierzy le 25 janvier 1995



A Erlon, cette même tendance de prise en charge en fonction du débit est observée. Pour des débits inférieurs ou proches de 1 000 l/mn et des intensités inférieures à 4 mm/h, les MES ne dépassent pas 0,1 % et tendent à suivre l'évolution du débit. Les concentrations augmentent alors que le débit tend vers 1 000 l/mn (exemples des 10 novembre et 17 décembre 1993).

Une augmentation des débits en relation avec de plus fortes intensités (plusieurs pics à plus de 10 mm/h) entraîne systématiquement un accroissement des concentrations en MES qui deviennent supérieures à 0,1 % (exemples des 10 et 19 décembre 1993).

Ainsi, sur les deux sites, la charge hivernale en MES semble suivre les mêmes règles. Les débits inférieurs à 1 000 l/mn véhiculent une charge minimale qui constitue une sorte de bruit de fond. En période hivernale, le débit devient érosif au-delà de ce seuil de 1 000 l/mn. Ces résultats laissent aussi à penser que l'érosion hivernale n'est qu'indirectement liée aux états de surface, indirectement puisque ce sont eux qui entraînent la formation du ruissellement et conditionnent le débit. L'érosion printanière semble davantage relever de ces états de surface.

* Les ruissellements de printemps et d'été

Les concentrations sont nettement supérieures à 0,1 %, que les débits soient inférieurs ou supérieurs à 1 000 l/mn. Elles suivent l'évolution des débits, mais sans être vraiment proportionnelles (voir fig. I - 2 - 1 - 1 - a et voir aussi les 6-7 août 1995 à Erlon en annexe 16).

Les concentrations en MES semblent donc répondre à certaines règles en relation avec les débits, l'intensité des pluies et des états de surface.

Figure I - 2 - 1 - 1 - d : Intensités, débits instantanés et MES à Vierzy le 20 décembre 1993

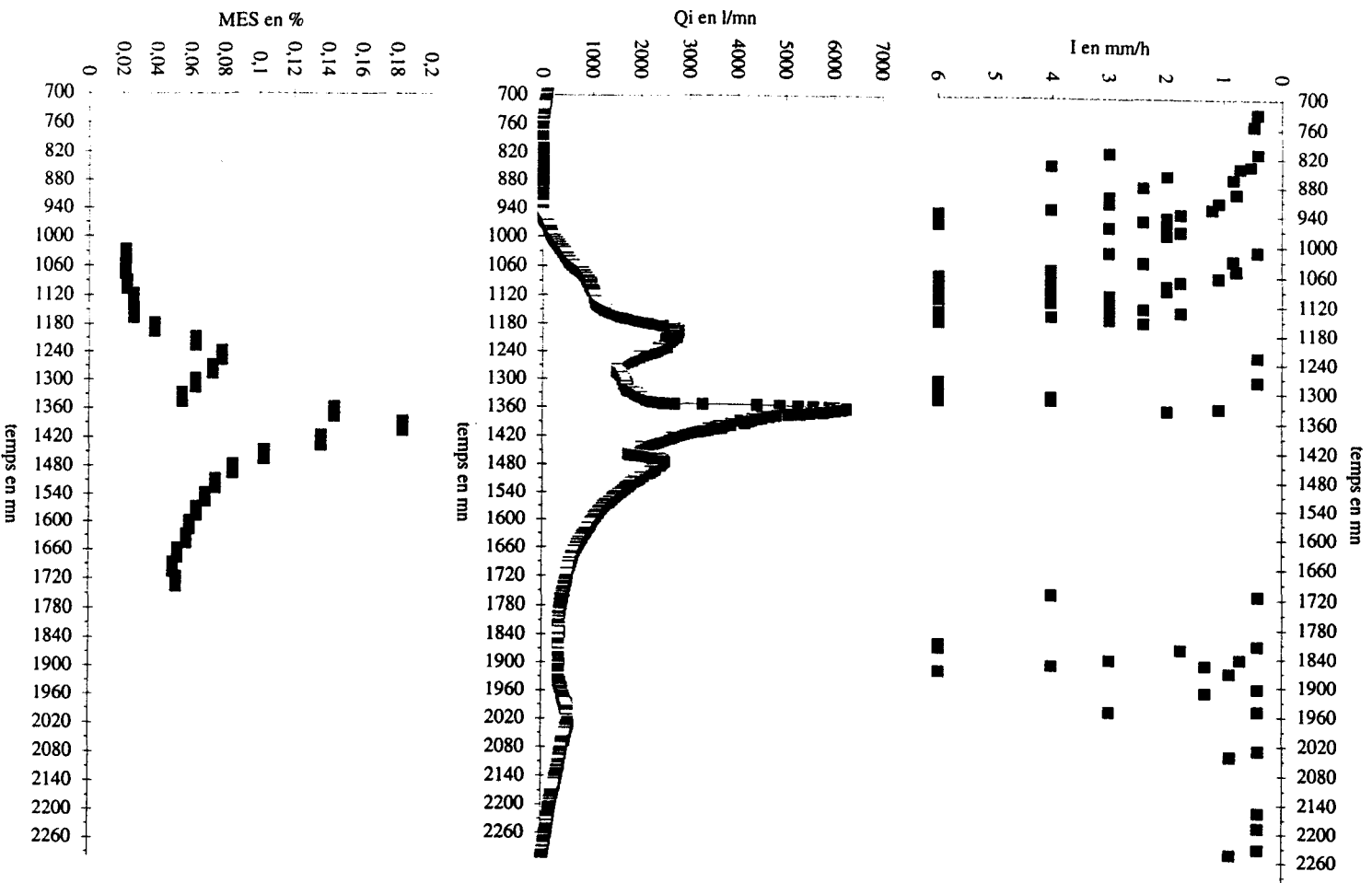


Figure I - 2 - 1 - 1 - e : Intensités, débits instantanés et MES à Vierzy le 15 octobre 1993

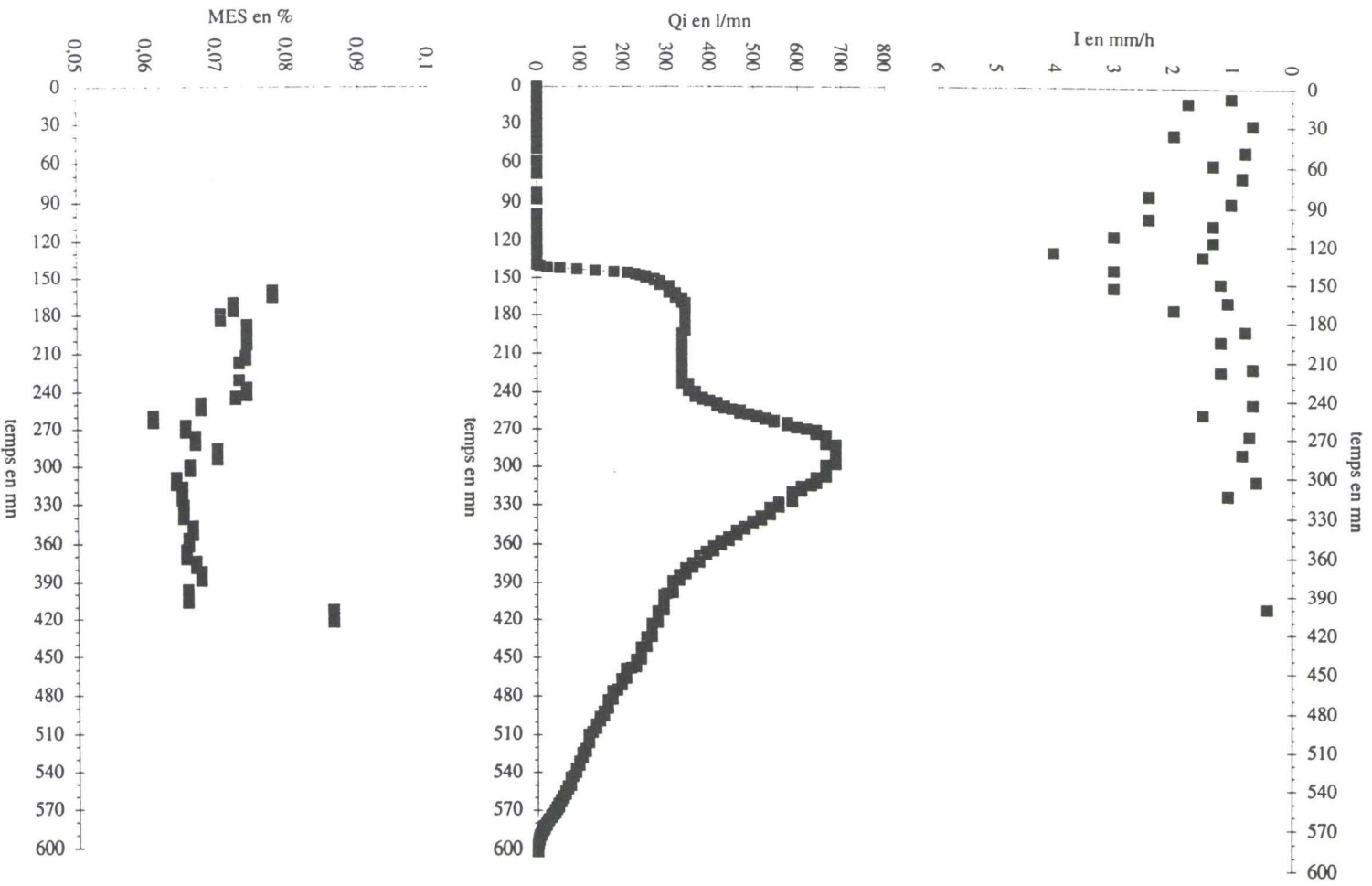


Figure I - 2 - 1 - 1 - f : Intensités, débits instantanés et MES à Erlon le 10 novembre 1993
voir aussi le 17 décembre 1993 en annexe 16

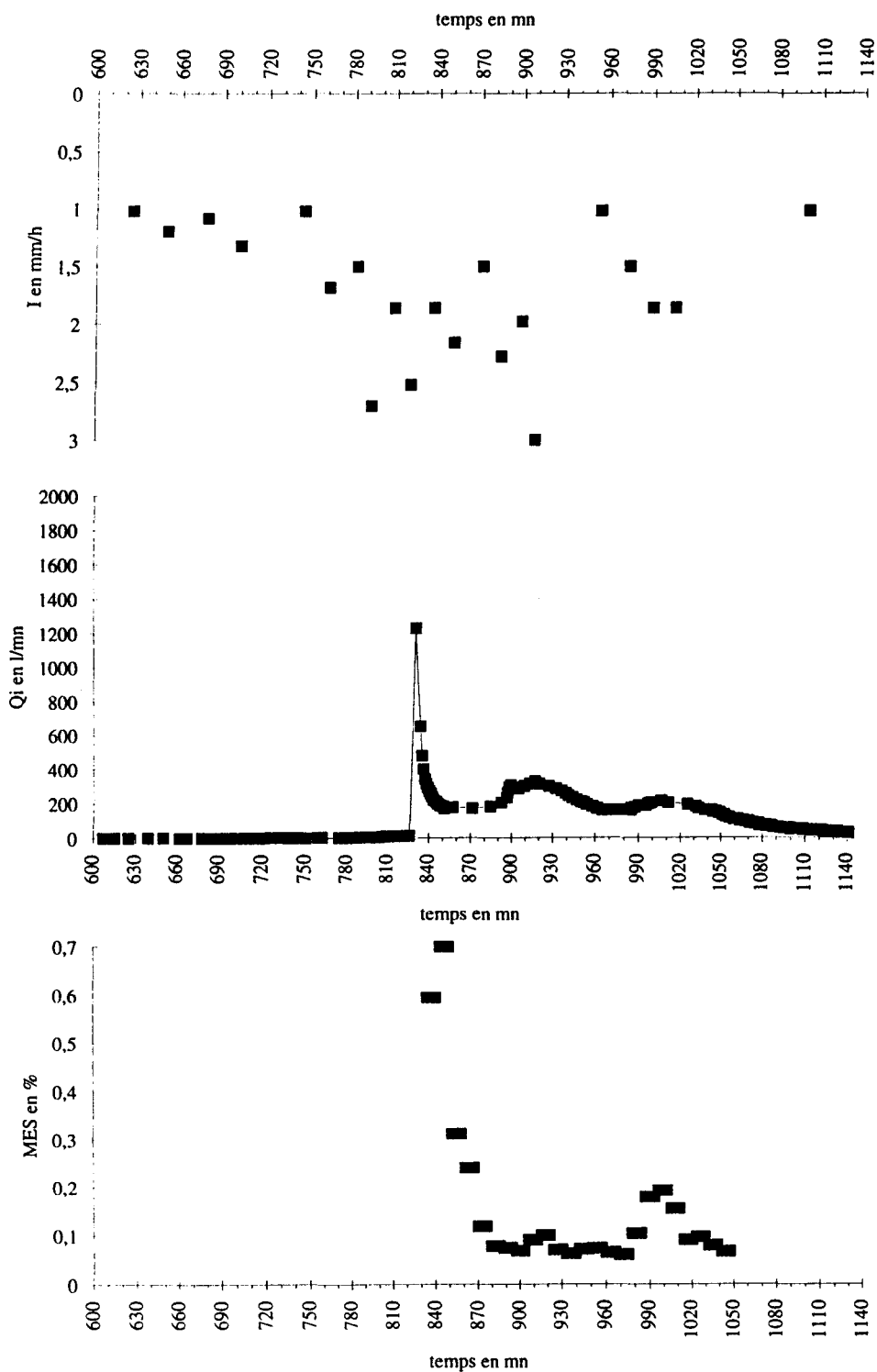
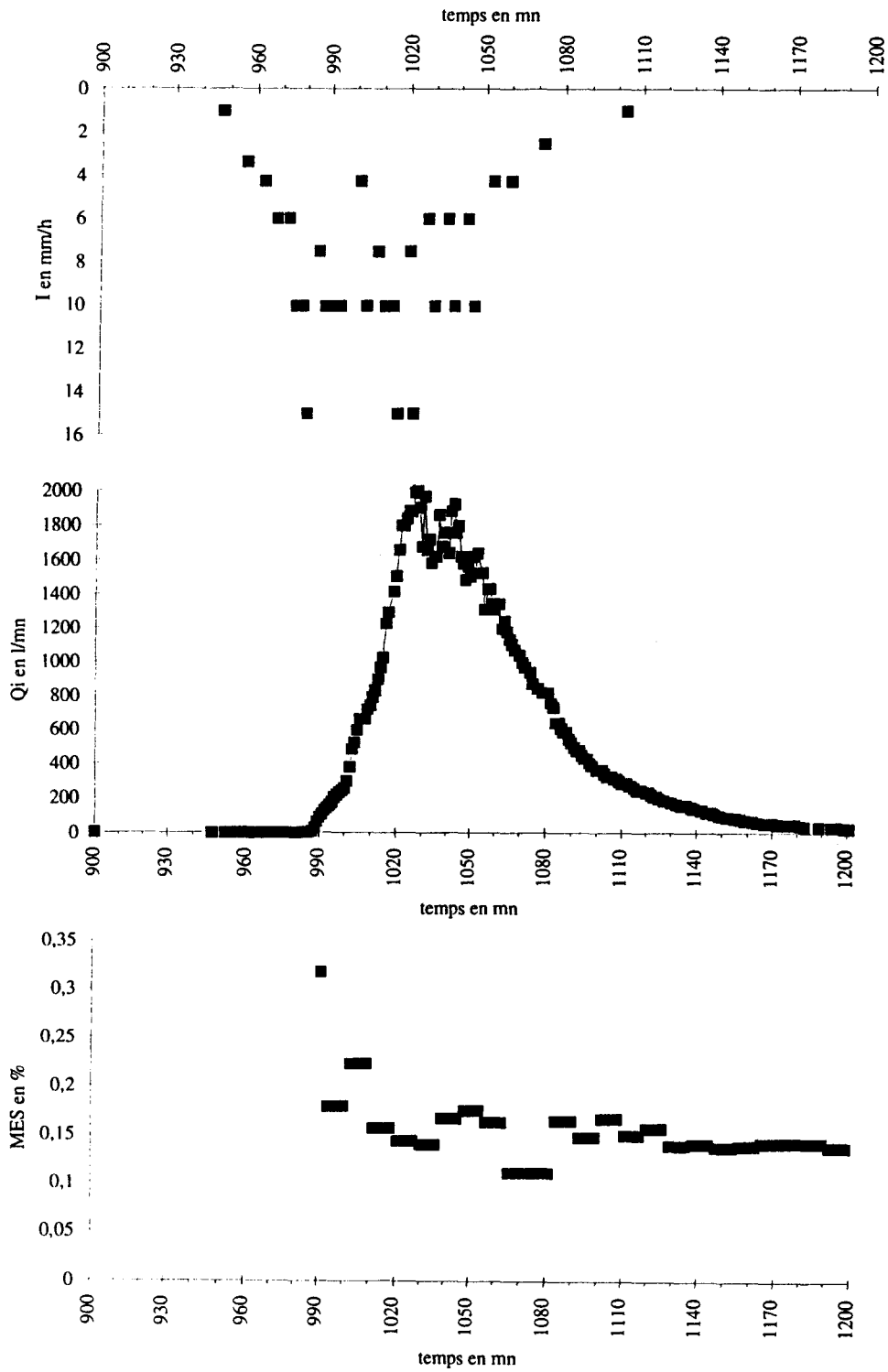


Figure I - 2 - 1 - 1 - g : Intensités, débits instantanés et MES à Erlon le 10 décembre 1993
voir aussi le 19 décembre 1993 en annexe 16



I - 2 - 1 - 2 - Les reprises de dépôts

Souvent les premiers prélèvements présentent des concentrations élevées qui ne sont pas en relation avec les débits. Cette arrivée correspond probablement à une reprise de dépôts, puis vient ensuite l'érosion directe. Ces plus fortes teneurs en MES s'accompagnent de plus faibles concentrations en nitrates ce qui confirme qu'il s'agit de sol déplacé où l'azote a déjà été entraîné par un précédent écoulement.

C'est le cas le 15 octobre à Vierzy (voir fig. I - 2 - 1 - 1 - e). Ce phénomène ne se reproduit pas au cours des ruissellements suivants, comme si ce premier ruissellement d'automne constituait un nettoyage des dépôts.

On observe la même chose à Erlon. Par exemple le 10 novembre 1993, les deux premiers échantillons sont environ deux fois plus chargés que les suivants (0,6-0,7 contre 0,06-0,3 %). Ce constat est encore plus sensible à la période printemps été. Les 6-7 août 1995, les premiers prélèvements sont très chargés (26 et 19 %) en partie en relation avec une forte reprise de dépôts. Avant cette date avancée, de petites averses, n'ayant pas entraîné de ruissellements notables, ont déplacé des particules de terre, en particulier dans les traces de roue (voir les états de surface, annexe 21). Toutefois, la reprise de dépôt ne peut à elle seule expliquer les très fortes valeurs (voir ci-après).

La reprise de dépôt n'est pas systématique. Le 24 mai 1994, on n'observe pas de reprise de dépôts. Les pluies précédentes ont, semble-t-il, davantage contribué à la formation de la croûte de battance qu'au déplacement de sol (voir les états de surface, annexe 21).

I - 2 - 2 - Relation avec les débits et l'intensité des pluies

I - 2 - 2 - 1 - Relation MES et Qi pour les ruissellements courts

Si on considère la corrélation débits/concentrations en MES pour l'ensemble des mesures à Vierzy (quatre ruissellements, soit 55 échantillons), le coefficient de régression, r^2 , est particulièrement mauvais (tab. I - 2 - 2 - 1 - a). Par contre, les ruissellements considérés individuellement donnent d'assez bonnes régressions. En particulier, les 3 et 25 janvier, où les ruissellements sont courts et consécutifs à des pluies plus intenses, la corrélation est très bonne. En fait, ce sont les résultats du 15 octobre 1993, premier ruissellement de la saison et postérieurs à des pluies peu violentes, qui faussent la relation.

A Erlon, la corrélation débits/concentrations en MES pour l'ensemble des mesures (10 ruissellements, soit 152 échantillons) n'est pas excellente (tab. I - 2 - 2 - 1 - b). Même considérés individuellement, les écoulements montrent des coefficients de régression assez mauvais. Toutefois, il semble qu'au cours de ruissellements successifs (10 novembre au 19 décembre) la relation s'améliore. Comme à Vierzy, les ruissellements courts, liés à des pluies intenses (exemple le 24 mai 1994), présentent une très bonne corrélation.

Pour les deux sites, l'ensemble des mesures donne donc de mauvaises régressions débits/concentrations en MES. Par contre, si l'on considère les ruissellements individuellement, elles sont en général meilleures, mais différentes pour chaque ruissellement. Ce qui montre que les départs de MES, s'ils se font en relation avec le débit, ne dépendent pas uniquement de ce facteur. Ils relèvent aussi d'un facteur intensité des pluies ou état de surface qui donnent à la droite de régression une pente plus ou moins forte.

Si l'on compare les droites de régression débits/concentrations en MES d'Erlon et de Vierzy (uniquement pour les ruissellements hivernaux), on constate (fig. I - 2 - 2 - 1 - a et e) que pour des débits équivalents l'entraînement de MES est toujours bien supérieur à Erlon, fait qui ne peut s'expliquer que par les différences morphopédologiques. Toutefois, sur les deux sites, pour les débits de moins de 1 000 l/mn, les concentrations en MES sont essentiellement inférieures à 0,1 %, ce qui montre une certaine résistance des sols à l'entraînement par de petits débits et la faible capacité de prise en charge d'un débit inférieur à 1 000 l/mn quelle que soit la pente du BVEC.

Tableau I - 2 - 2 - 1 - a : Corrélation débits et concentrations en MES à Vierzy

$$\text{MES} = aQ_i + b$$

Date(s) du ruissellement	I max pd 1 mn en mm/h	Qi maxi en l/mn	MES teneur maxi en %	a	b	r ²
15-Oct-93	4	700	0,08	-2,3*10 ⁻⁵	0,08	0,32
20-Dec-93	24	6 300	0,18	2,8*10 ⁻⁵	0,019	0,63
03-Janv-94	24	960	0,14	5,14*10 ⁻⁵	0,096	0,97
25-Janv-95	48	306	0,14	0,00028	0,075	0,96
ensemble des ruissellements				1,1*10 ⁻⁵	0,064	0,11

Tableau I - 2 - 2 - 1 - b : Corrélation débits et concentrations en MES à Erlon

$$\text{MES} = aQ_i + b$$

Date(s) du ruissellement	I max pd 1 mn en mm/h	Qi maxi en l/mn	MES teneur maxi en %	a	b	r ²
10-Nov-93	3	1 200	0,70	0,00073	0,00051	0,08
10-Dec-93	15	2 000	0,30	-0,52*10 ⁻⁵	0,16	0,07
17-Dec-93	8	585	0,14	9,54*10 ⁻⁵	0,0358	0,29
19-Dec-93	10	2 220	0,51	0,00022	0,085	0,81
04-15-Janv-94	1	1 250	0,09	-0,00031	0,176	0,29
16-Janv-94	3	985	0,26	5,15*10 ⁻⁵	0,068	0,17
20-28-Janv-94	15	1 400	0,33	-0,00146	0,169	0,16
04-Avr-94	7,5	14	0,19	-	-	-
24-Mai-94	24	900	6,1	0,0059	1,619	0,98
06-07-Août-95	210	40 000	26	0,00041	1,91	0,39
ruissellements de mai et août				0,00039	2,2679	0,40
ruissellements sans mai et août				6,68*10 ⁻⁵	0,1098	0,06
ensemble des ruissellements				0,00048	0,316	0,59

Figure I - 2 - 2 - 1 - a : Corrélation débits et concentrations en MES à Vierzy pour l'ensemble des ruissellements

$$y = 1,1 \cdot 10^{-5} x + 0,064$$

$$r^2 = 0,11$$

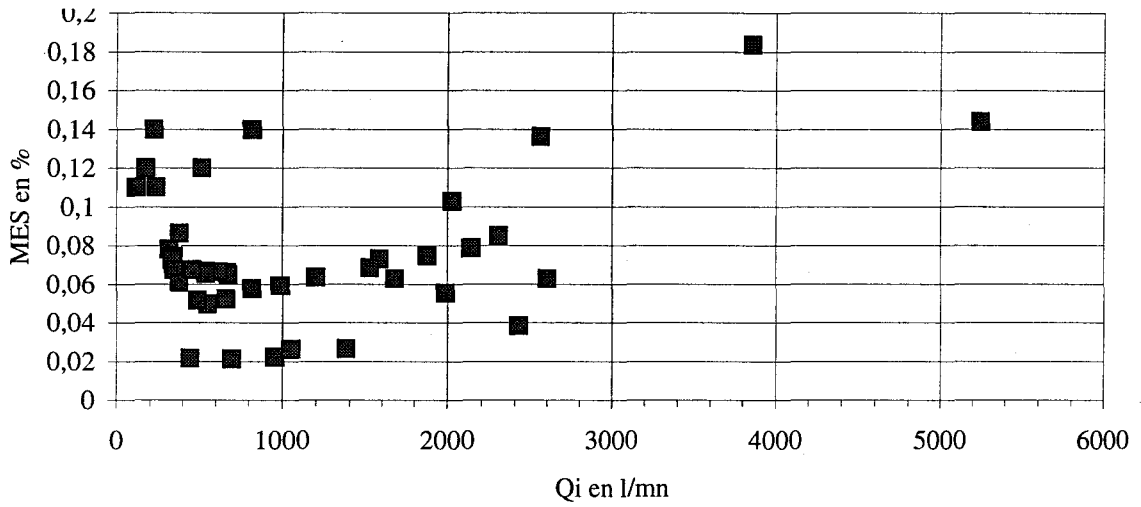


Figure I - 2 - 2 - 1 - b : Corrélation débits et concentrations en MES à Vierzy le 15 octobre 1993

$$y = -2,3 \cdot 10^{-5} x + 0,08$$

$$r^2 = 0,32$$

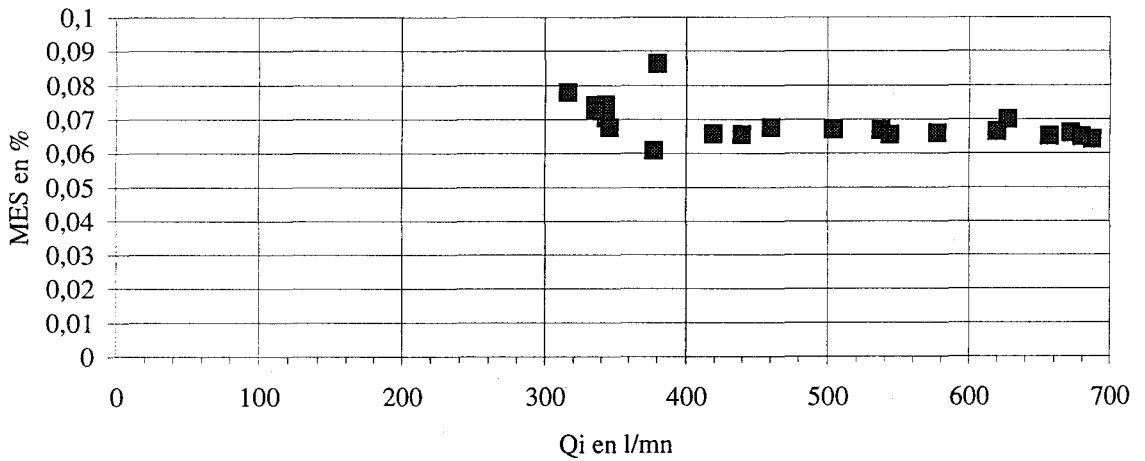


Figure I - 2 - 2 - 1 - c : Corrélation débits et concentrations en MES à Vierzy le 3 janvier 1994

$y = 5,14 \cdot 10^{-5} x + 0,096$
 $r^2 = 0,97$

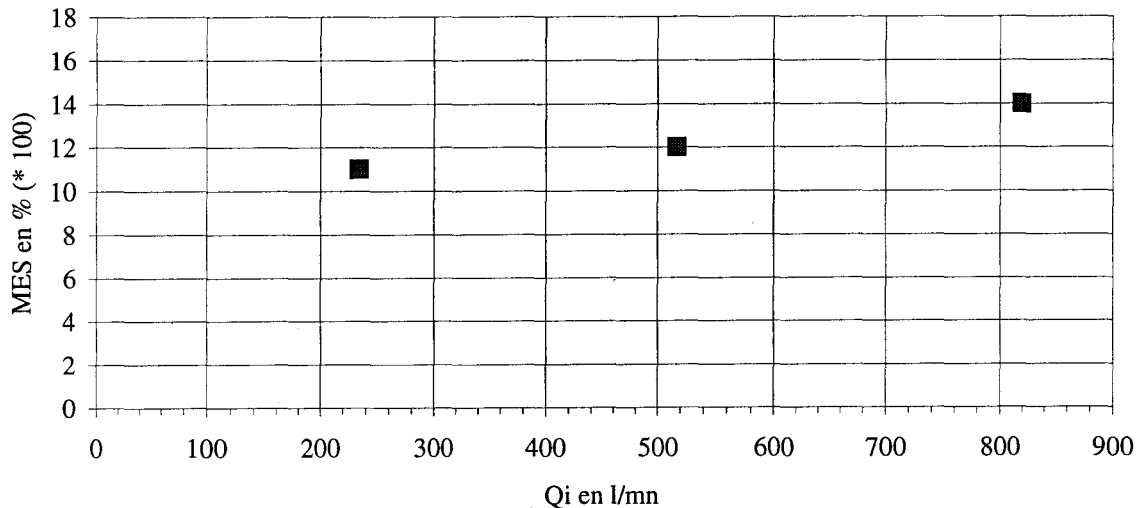


Figure I - 2 - 2 - 1 - d : Corrélation débits et concentrations en MES à Vierzy le 25 janvier 1995

$y = 0,00028 x + 0,075$
 $r^2 = 0,96$

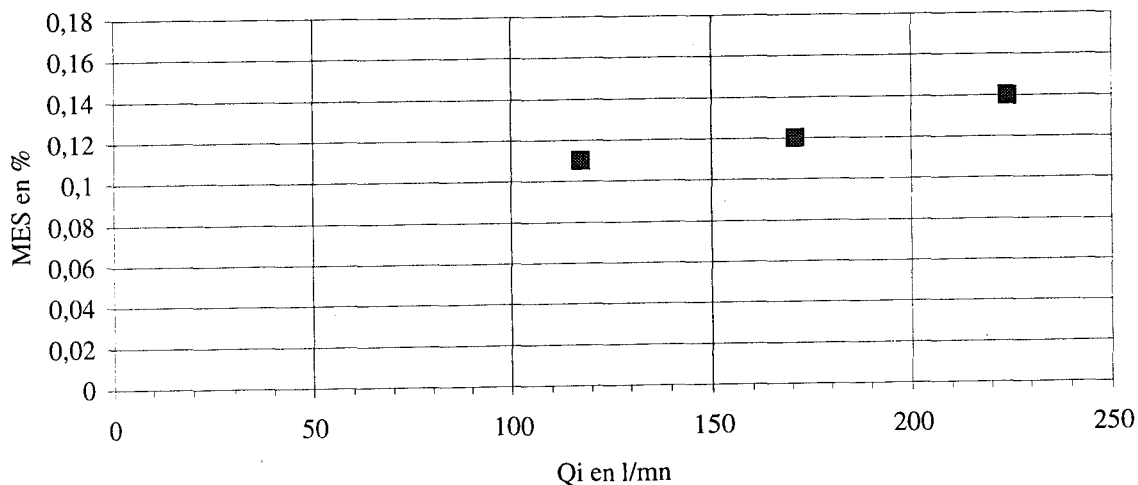


Figure I - 2 - 2 - 1 - e : Corrélation débits et concentrations en MES à Erlon pour l'ensemble des ruissellements

$y = 0,00048 x + 0,316$
 $r^2 = 0,59$

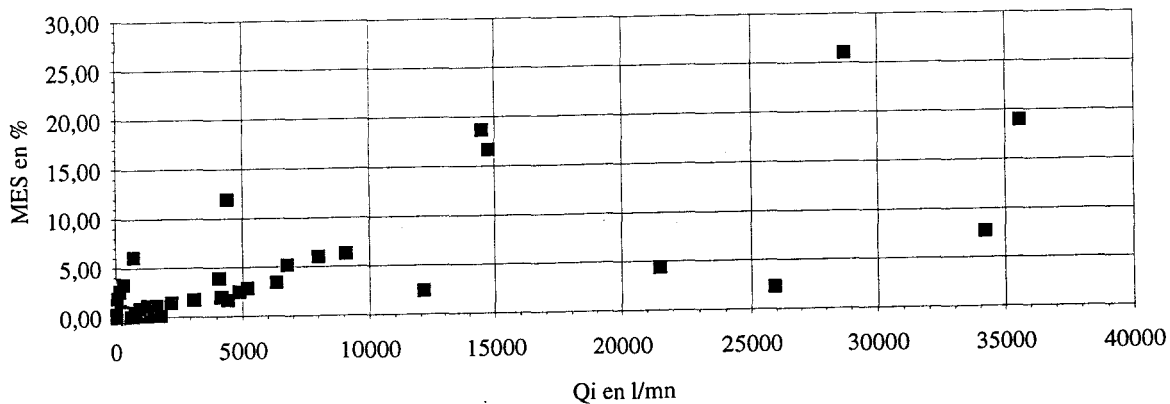


Figure I - 2 - 2 - 1 - f : Corrélation débits et concentrations en MES à Erlon le 10 novembre 1993
 voir aussi les 10 et 17 décembre 1993 annexe 16

$$y = 0,00073 x + 0,00051$$

$$r^2 = 0,08$$

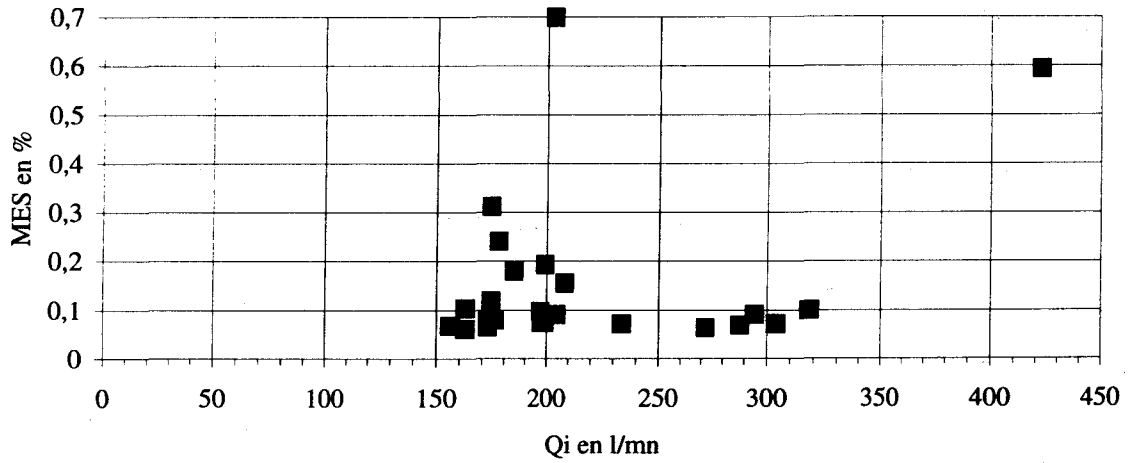
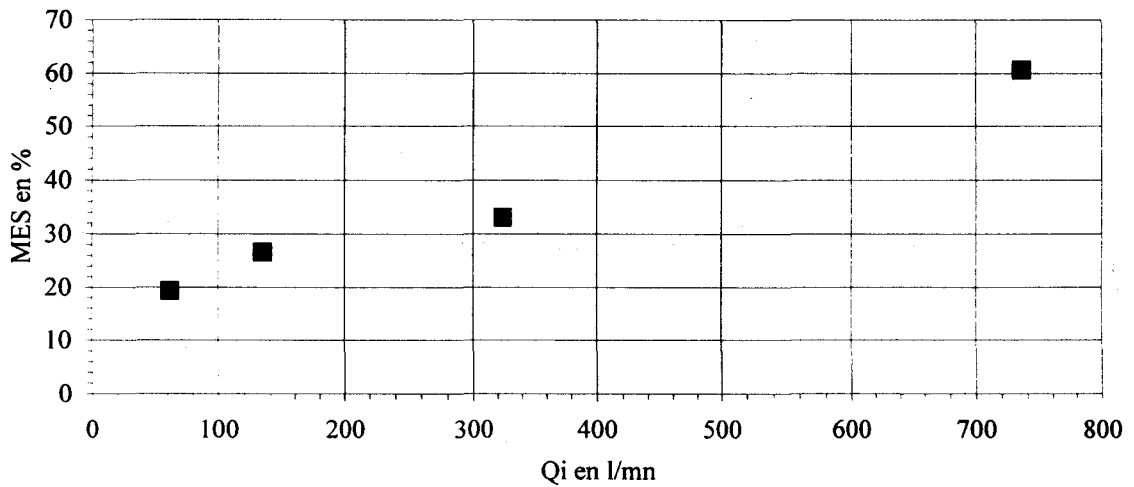


Figure I - 2 - 2 - 1 - g : Corrélation débits et concentrations en MES à Erlon le 24 mai 1994

$$y = 0,059 x + 1,619$$

$$r^2 = 0,98$$



Sur une période d'étude plus longue et avec un nombre de ruissellements plus élevé, il serait intéressant de corrélérer la charge en MES et les états de surface (pour des pluies et des débits maxi comparables). La variété des données à l'échelle du BVEC rend cette opération particulièrement difficile.

I - 2 - 2 - 2 - Une relation MES et Qi qui varie pendant le ruissellement

Lorsque les ruissellements sont longs et que les concentrations tendent à évoluer parallèlement au débit, on remarque - pendant un même ruissellement - une double corrélation entre les débits et les concentrations en MES. C'est le phénomène d'hystérésis (*) qu'on observe normalement lors des crues des cours d'eau.

Une première corrélation relie assez bien les concentrations en MES et le débit de montée (pendant la concentration des eaux). Une seconde associe les débits de décrue et les concentrations. Pour des débits identiques, la seconde corrélation donne des concentrations supérieures.

Pendant la première phase, l'absorption de l'eau par les sols tend à créer une force qui retient les particules de sol. Pendant la seconde phase, le sol, probablement fragilisé par le maximum du ruissellement, est plus facilement érodé. Pendant cette période, les infiltrations sont réduites et les sols des bassins tendent plus à dégorger qu'à absorber de l'eau.

Cette hystérésis négative, observée pour des ruissellements longs de plusieurs heures, se produit aussi bien à Vierzy qu'à Erlon, et en toute saison (exemples fig. I - 2 - 2 - 2 - a et b). L'existence de ce phénomène montre que lors d'un ruissellement la charge en MES, d'un bassin versant à talweg le plus souvent sec, se comporte comme celle d'un cours d'eau en crue, cours d'eau qui possède une charge de fond et donc des conditions de transferts apparemment différentes.

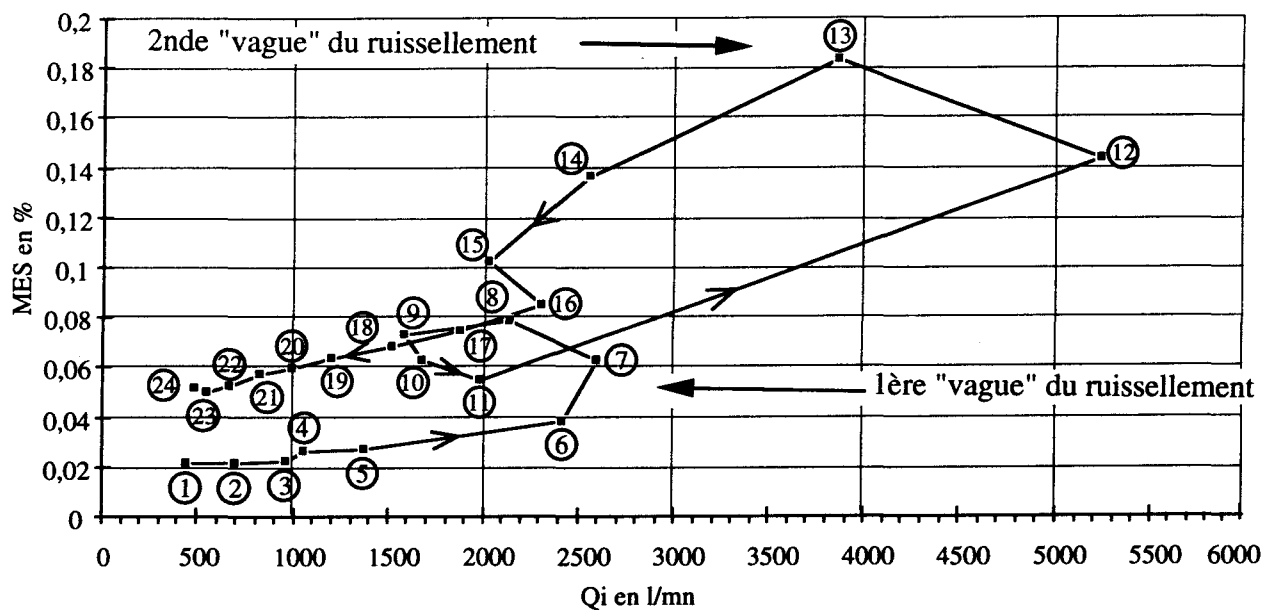
Un même phénomène a été observé sur le BVEC expérimental de Blossville (Pays de Caux). Il s'agit dans ce cas d'une hystérésis positive, c'est-à-dire un transfert de MES plus important lors de la montée des eaux (Ben Khadra, comm. orale, 1996). La texture des sols peut expliquer cette différence par rapport aux sites d'Erlon et de Vierzy.

- Sur les sols plus limoneux, plus pauvres en matières organiques et en argile du Pays de Caux, la dégradation des surfaces est plus rapide et, en conséquence, l'entraînement de particule est plus précoce.

- L'érosion en nappe, qui prédomine dans le Pays de Caux, se produit dès la formation du ruissellement sur les versants, alors que l'érosion concentrée est absente en relation avec la nature des sols, d'une part, et avec les très faibles pentes, d'autre part.

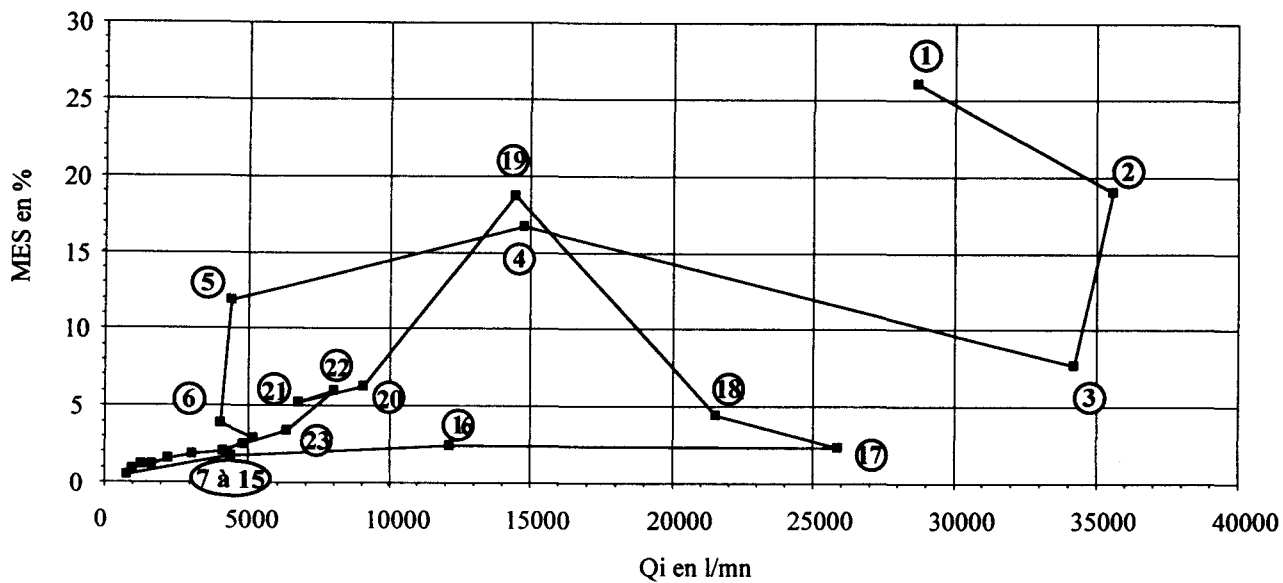
(*) Le phénomène d'hystérésis correspond à une évolution particulière de la relation débits/concentrations. Cette relation dessine une courbe en forme de boucle qui évolue soit dans le sens des aiguilles d'une montre (hystérésis positive), soit dans le sens inverse (hystérésis négative). Ce phénomène s'observe aussi bien pour les concentrations solides que solubles comme on le verra par la suite (I - 2 - 2 - 2) et peut indiquer l'arrivée d'eau d'origine différente comme de l'eau hypodermique (BRAVARD, comm. écrite 1996 ; RICHARDS, 1982).

Figure I - 2 - 2 - 2 - a : Corrélation débits et concentrations en MES à Vierzy le 20 décembre 1993



⑫ Numéro de prélèvement

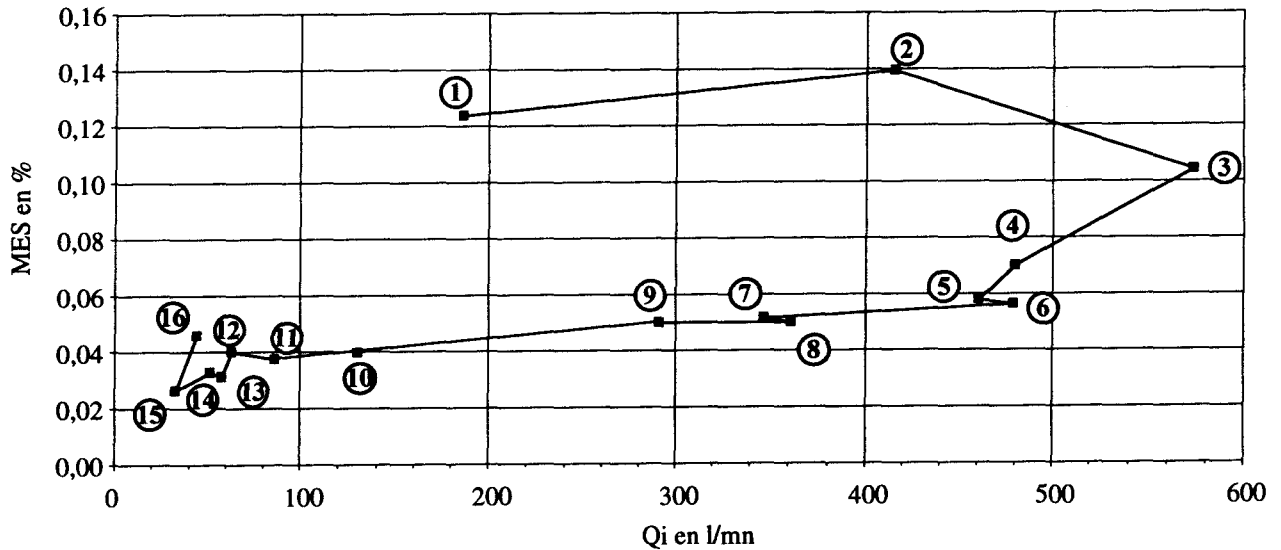
Figure I - 2 - 2 - 2 - b : Corrélation débits et concentrations en MES à Erlon les 6-7 août 1995



⑫ Numéro de prélèvement

Une seule situation inverse a été observée. Le 17 décembre 1993 à Erlon, la charge en MES de la montée des eaux est supérieure à celle de la décrue (fig. ci-dessous). Mais, les intensités pluviiales enregistrées au cours du premier pic de débits, quatre fois supérieures à celles de la décrue, pourraient expliquer cette différence.

Figure I - 2 - 2 - 2 - c : Corrélation débits et concentrations en MES à Erlon le 17 décembre 1993



⑫ Numéro de prélèvement

I - 2 - 2 - 3 - Vitesses de déplacement des MES

Lorsque le débit et les concentrations évoluent parallèlement, l'observation attentive des courbes correspondantes montre un léger décalage entre le maximum de débit et le maximum de MES, ceci au cours des ruissellements courts et longs. Il apparaît que la charge en MES se déplace avec un certain temps de retard par rapport au flux liquide (tab. I - 2 - 2 - 3 - a et b).

Ce retard peut s'expliquer par le fait que la première vague d'eau qui ruisselle est en cours de formation, elle n'a pas encore assez de force tractrice pour éroder (sols encore bien structurés). Le ruissellement se substitue progressivement à l'infiltration. Les écoulements de janvier 1994 et 1995 à Vierzy tendent à confirmer ce fait. Le temps de décalage y est faible ou nul : ces ruissellements sont caractérisés par un temps de concentration très brefs. La vague acquiert très vite de la puissance. Le ruissellement et l'érosion sont synchrones.

Tableau I - 2 - 2 - 3 - a : Décalage entre les maxima de débits et de concentrations en MES à Vierzy

	heure en mn du Qi max	heure en mn des prélèvements du flacon où les concentrations en MES sont max (*)	temps approximatif de décalage en mn (**)
15-Oct-93	284	pas de max net	-
20-Dec-93 1er pic	1 209	1 236-1246-1 256	27 +
20-Dec-93 2nd pic	1 363	1 386-1 396-1 406	23 +
03-Janv-94	1 019	1 025-1 035-1 045	6 +
25-Janv-95	1 188	1 174-1 184-1 194	aucun

(*) Trois prélèvements sont mélangés dans un flacon. Les prélèvements sont réalisés toutes les 3 minutes le printemps et l'été et toutes les 10 mn en automne et en hiver.

(**) Ce temps est approximatif en raison du mélange des trois échantillons dans un seul flacon. La charge en MES mesurée résulte d'un mélange inconnu. Quelques minutes mesurées ne suffisent pas à montrer l'existence d'un décalage.

Tableau I - 2 - 2 - 3 - b : Décalage entre les maxima de débits et de concentrations en MES à Erlon

	heure en mn du Qi max	heure en mn des prélèvements du flacon où les concentrations en MES sont max (*)	temps approximatif de décalage en mn (**)
10-Nov-93 1er pic	831	843	12 +
10-Nov-93 2nd pic	899	915	16 +
10-Dec-93	1 042	1 048 - 1 051 - 1 054	6 +
17-Dec-93	418 - 421	446 - 449 - 452	26 +
19-Dec-93	346	293 - 303 - 313	aucun
19-Dec-93	404 - 406	413 - 423 - 433	9 +
24-Mai-94	1 018	1 017 - 1 020 - 1 023	aucun
6*-7-Août-95 1er pic	1 418	1 429 - 1 432 - 1 435	11 +
6*-7-Août-95 2nd pic	1 545	1 564 - 1 567 - 1 570	19 +

(*) Trois prélèvements sont mélangés dans un flacon. Les prélèvements sont réalisés toutes les 3 minutes le printemps et l'été et toutes les 10 mn en automne et en hiver.

(**) Ce temps est approximatif en raison du mélange des trois échantillons dans un seul flacon. La charge en MES mesurée résulte d'un mélange inconnu. Quelques minutes mesurées ne suffisent pas à montrer l'existence d'un décalage.

Ce décalage explique les mauvaises corrélations établies précédemment entre les débits et les concentrations en MES. Si on répercute ce décalage sur les concentrations, les corrélations en sont améliorées (fig. I - 2 - 2 - 3 - a et b). Ceci tend à confirmer que l'arrachement et l'entraînement des particules du sol se font en relation avec le débit. En fait, le décalage est probablement lié à la taille des MES. Entre autre, la forme de l'hystérésis, positive ou négative, semble dépendre de la taille des particules érodées. Par exemple pour le ruissellement des 6-7 août 1995 à Erlon^(*), les trois premiers prélèvements présentent des MES plus fines que les suivants, pour des débits pourtant élevés (diamètres médians : 11,49 μm , 19,79 μm et 13,99 μm pour des débits de 28 178 l/mn, 35 557 l/mn et 34 187 l/mn). Par contre, les MES du second pic de ruissellement (figure I - 2 - 2 - 2 - b, n° 16 à 19) sont légèrement plus grossières, pour des débits moins élevés (diamètre à 10 % deux à trois fois supérieur, diamètre médian 21,61 μm à 25,46 μm , pour des débits de 12 002 l/mn à 25 916 l/mn). Dans le premier cas, l'hystérésis est positive ; dans le second, elle est négative peut être en relation avec un transport plus lent de particules légèrement plus grossières, d'où un décalage des maxima de débits et de MES.

(*) Des granulométries au laser (jusqu'à 0,04 μm) ont été réalisées sur les 24 échantillons prélevés au cours de ce ruissellement. Les résultats sont présentés en annexe 18 et figure II - 2 - 2 - 1 - h).

Figure I - 2 - 2 - 3 - a : Corrélation débits et concentrations en MES décalée à Vierzy le 20 décembre 1993

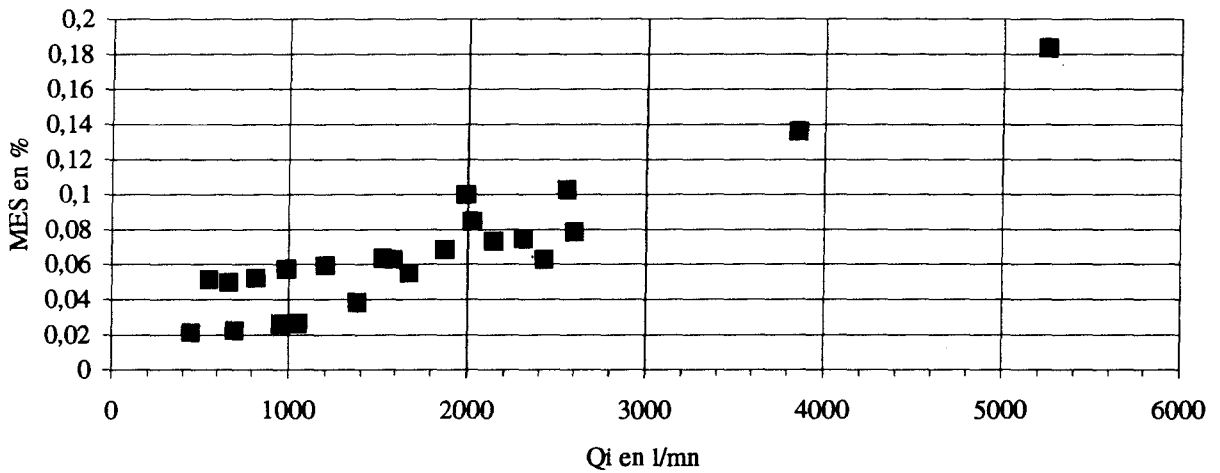
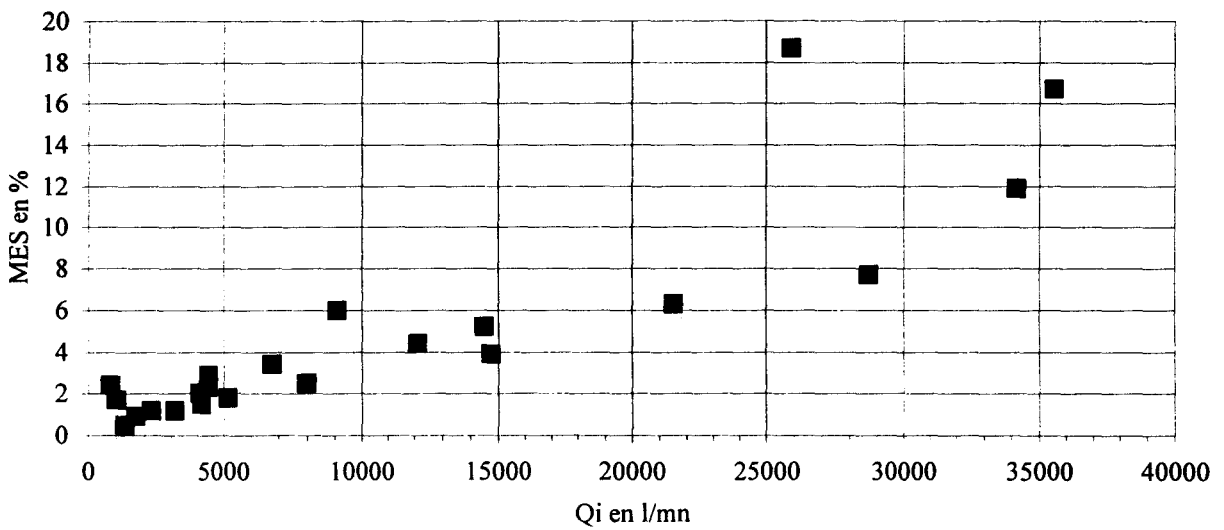


Figure I - 2 - 2 - 3 - b : Corrélation débits et concentrations décalée en MES à Erlon les 6-7 août 1995

$$\text{MES} = 0,0004 * \text{Qi} + 0,4023$$

$$r^2 = 0,78$$



I - 2 - 2 - 4 - L'influence des intensités pluviales

Une intensité moyenne élevée correspond en général à des concentrations en MES plus importantes (20 décembre 1993, 3 janvier 1994, 25 janvier 1995, contre le 15 octobre 1993 à Vierzy : respectivement 8 ; 5,2 ; 6,9 et 1,9 mm/h pendant 1 heure). **L'intensité des pluies intervient indirectement sur la charge en MES en contribuant à l'augmentation du débit.**

Des pics d'intensité ponctuels au cours d'un ruissellement peuvent entraîner une augmentation de la charge en MES sans accroissement du débit. **L'intensité des pluies intervient directement sur la charge en MES en contribuant à une plus forte érosion directe, sans qu'il y ait forcément de relation avec une variation de débit.** A Erlon, le 10 novembre 1993 (annexe 16 ou ci-dessus fig. I - 2 - 1 - 1 - f et I - 2 - 2 - 1 - e), la corrélation débits/concentration en MES est très mauvaise ($r^2 = 0,08$). Un grand nombre d'échantillons présente des concentrations en MES inférieures à 0,1 % (flacons 6 à 17, prélèvements de 879 mn à 978 mn, et flacons 21 à 24, prélèvements de 1 014 mn à 1 141 mn). Le premier pic de MES ne peut être dissocié (834 mn à 870 mn) de la très forte augmentation des débits. Le second pic de MES, beaucoup plus discret (897 mn à 906 mn), peut être consécutif à la petite augmentation du débit ou au pic d'intensité à 3 mm/h

Si l'on a signalé précédemment qu'il fallait des pics de 10 à 24 mm/h, voire plus pour augmenter la charge en MES (de 0,14 à 6,1 %), on constate ici qu'une toute petite augmentation des intensités augmente, même faiblement, la charge en MES.

Le même constat peut être fait pour le ruissellement du 17 décembre 1993 à Erlon (annexe 16). Le premier pic de débit s'accompagne d'une charge en MES supérieure à 0,1%, suite à plusieurs pics d'intensité à 3,37 mm/h. Les deux autres pics de débit pourtant presque aussi élevés n'entraînent pas d'accroissement des teneurs en MES ; la pluie que en est l'origine ne présente pas de pics d'intensités. C'est le facteur intensité des pluies qui semble expliquer cette différence de charge en MES.

I - 3 - Origine des MES : versants ou talwegs

La très grande différence de la charge en MES mesurée entre l'hiver et le printemps est en relation avec la nature des processus d'érosion mis en oeuvre et l'origine des sédiments. Elle est le résultat combiné du splash, de l'incision des versants ou de l'érosion concentrée des talwegs. Elle résulte aussi des relais et/ou d'une mobilisation retardée des MES... Comment s'agencent ces processus et en relation avec quels facteurs ?

En ce qui concerne l'érosion concentrée, il semble qu'elle soit prédominante en hiver et que les BVEC soient inégalement atteints. Le principal facteur explicatif de la grande variabilité de cette érosion est l'extension des surfaces qui contribuent au ruissellement. Ces surfaces sont caractérisées par leur sensibilité à la battance et leur occupation végétale. L'importance des rigoles, quant à elle, semble aussi influencée par la texture de surface (teneur en sable), la longueur incisable des talwegs et l'indice de compacité des bassins (Gravelius). Par contre, le taux d'érosion concentrée n'apparaît pas corrélé aux pentes (LUDWIG, 1992).

Afin de chercher les origines des MES et de comprendre leurs déplacements, les flux à l'exutoire et le volume des rigoles ont tout d'abord été comparés, puis le Cs-137 a été utilisé comme marqueur des déplacements de sol.

I - 3 - 1 - Description du système érosif d'Erlon et de Vierzy

Il s'agit tout d'abord de décrire les traces d'érosion observées sur les bassins versants, en particulier leur localisation, leur densité et leur intensité.

A Erlon, suite à des averses de type orageux, on observe des traces d'érosion et des dépôts qui sont les uns et les autres plus ou moins marqués ou plus ou moins étendus en fonction de l'intensité du phénomène et des cultures en place.

L'érosion observée concerne essentiellement (fig. I - 3 - 1 - a) :

- les traces de roues. Ces dernières coupent perpendiculairement le talweg principal et suivent les fortes pentes des versants. Les parois et le fond de la trace de roue sont érodés sur quelques centimètres. L'incision des traces et l'érosion sont globalement moins marquées sur le haut des versants et pour des cultures comme les céréales.
- les talwegs secondaires. Des rigoles - de quelques centimètres à une dizaine de centimètres de profondeur et de largeur - apparaissent surtout lors des gros orages.
- le talweg principal. Sur la partie amont du BVEC, on remarque de petites rigoles éparses, puis sur le tiers ou les deux tiers aval apparaît une incision qui peut atteindre localement 6 m de large et 15-20 cm de profondeur (août 1995).

On n'observe pas :

- de ravines très profondes ;
- d'incisions sur les versants, malgré les fortes pentes (3-8 %) hormis celles des traces de roues.

Les dépôts sont notés :

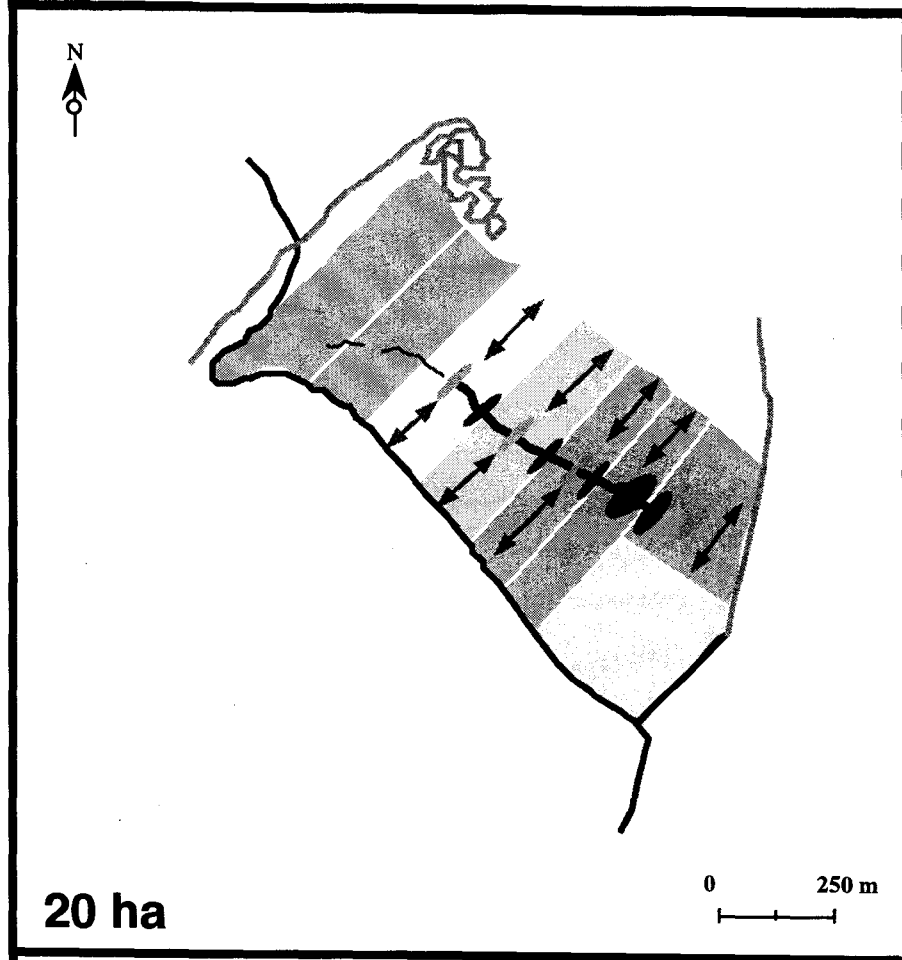
- à l'intersection du talweg principal et des traces de roues. Une partie des particules érodées dans les traces de roues sont piégées dans cette zone d'atténuation des pentes et de tassement du sol. Les dépôts occupent la largeur du talweg (2 à 6 m), dans les deux traces de roues, sur quelques millimètres à quelques centimètres d'épaisseur.
- à l'intersection du talweg principal et d'une limite de parcelle : un léger changement de la pente, le changement de rugosité ou une parcelle aval un peu surélevée occasionnent un dépôt en forme de cône qui peut s'étendre sur 5-20 m² et atteindre 15 cm d'épaisseur.
- à la station de mesure où la pente diminue nettement et où le flot est ralenti par les installations.

En hiver, les traces d'érosion sont beaucoup plus discrètes (dans les traces de roues, quelques petites rigoles), sauf dans le cas de très gros ruissellements comme en décembre 1993 où l'on observe des traces importantes de coulées et de transports de silex dans le talweg principal.

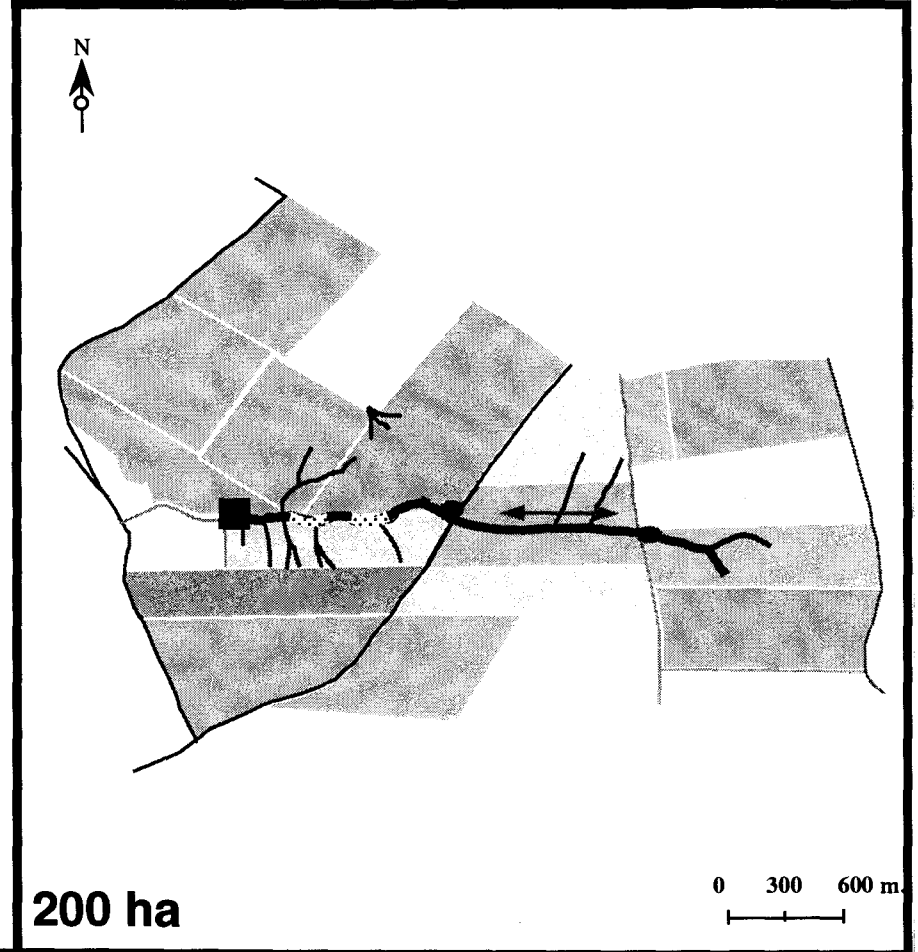
A Vierzy, les traces d'érosion ne s'observent que sur le tiers aval du talweg principal (fig. I - 3 - 1 - a), malgré des pentes faibles de 1 à 2 % (sauf incision de quelques traces de roues ou dépôts après de gros orages à l'amont, mais rare). Sur la partie amont, à l'intersection du talweg principal et du chemin, on observe la formation une grande mare d'eau, étape indispensable pour que l'eau de l'amont franchisse le chemin surélevé d'une dizaine de centimètres (2ème Partie, II - 2 - 2 - 4). Sur la partie aval (tiers), le ruissellement est concentré dans le talweg et gonflé par l'apport de la route goudronnée. Le ruissellement forme alors dans le talweg deux grands méandres où alternent dépôts et érosion (longueur rectiligne 750 m : 250 m ravine + 175 m dépôts + ravine + dépôts + ravine). Les talwegs secondaires ne sont pas incisés, mais on y observe des traces de coulées et des dépôts à l'intersection avec le talweg principal.

Figure I - 3 - 1 - a : Localisation des traces d'érosion et de dépôts sur les BVEC d'Erlon et de Vierzy

Erlon



Vierzy



rigoles diffuses
 incisions prononcées dans les traces de roues
 incisions du talweg
 ravinement aux cours de gros orages



petits dépôts dans les traces de roues
 dépôts importants aux limites de parcelles ou changements de pentes
 sédimentation dans le talweg
 station de mesure

I - 3 - 2 - Comparaison des flux et du volume des rigoles

Si on compare le poids de terre correspondant au volume des ravines(*) et les flux à la station (tab. I - 1 - 2 - a et b), les ordres de grandeur sont comparables en hiver et totalement disproportionnés lors de gros orages.

Par exemple le 25 janvier 1995 à Vierzy, l'échantillonnage d'eau de ruissellement à la station a permis d'évaluer à 250 kg les sorties en suspension (tab. I - 1 - 2 - b), ce qui, en ordre de grandeur, correspond à l'érosion de talweg mesurée, soit 250 à 500 kg.

*Volume de la ravine d'environ 70 m de long : 1 200 000 à 2 000 000 cm³, soit environ 750 kg à 1000 kg.
Volume des dépôts dans le talweg en chaumes à l'aval de la ravine (croûte sédimentaire d'au moins 2 mm) soit environ 500 kg.*

Par contre, les 6 et 7 août 1995 à Erlon, l'orage a entraîné une sortie à l'exutoire de près de 350 t (tab. I - 1 - 2 - a), alors que le poids correspondant aux rigoles et aux ravines observées est bien inférieur : 18 t.

*Volume cumulé des rigoles et des ravines dans le maïs et les pois soit plus de 18 000 kg.
Volume érodé dans les traces de roues du maïs soit moins de 6 000 kg.
Volume cumulé des dépôts dans les traces de roues et aux limites des parcelles dans les haricots (jusqu'à 5 cm d'épaisseur) : quelques centaines de kg.
Volume déposé dans la cuve de mesure soit quelques 800 kg.*

Le 25 janvier 1995 à Vierzy, les quantités exportées correspondent globalement au volume des rigoles et la charge en suspension est très bien corrélée au débit (sans décalage entre concentration et débit). Pour ce ruissellement, l'érosion effective(**) pourrait correspondre uniquement au débit qui incise le talweg. Le 3 janvier 1994, toujours à Vierzy, la charge en MES maxi est aussi élevée et le débit maxi est plus de trois fois supérieur, mais la quantité exportée est plus de trois fois inférieure. La ravine déjà formée depuis le 20 décembre rencontre la semelle de labour et ne peut s'approfondir, tout au plus elle s'élargit légèrement. La relation débit/concentration en MES est supérieure le 25 janvier (voir fig. I - 2 - 2 - 1 - a, c et d), date où la susceptibilité du talweg à l'incision est plus importante car non encore érodé. Les intensités des pluies, qui ont atteints 48 mm/h le 25 janvier et 24 mm/h en 1 mn le 3 janvier, semblent avoir contribué à l'augmentation rapide du débit (et donc à la capacité d'incision). En effet, les deux ruissellements sont de type 2, c'est-à-dire présentant une augmentation exponentielle du débit (tab. 2nde Partie, II - 2 - 2 - 1 - b). Dans les deux cas, la charge semble résulter du débit, débit peut être qualifié d'érosif pour le talweg.

(*) On appelle ravines les incisions dont les dimensions sont supérieures à celles des rigoles. Une rigole mesure quelques centimètres à une dizaine de centimètres de profondeur et de largeur et quelques mètres de long. Le volume des rigoles et des ravines est estimé suite à des mesures de terrain : largeur, longueur et profondeur en différents points. Le volume est converti en poids de terre sèche à l'aide d'une courbe reliant la densité apparente réelle et le poids de terre sèche. Cette courbe a été réalisée suite à plusieurs séries de prélèvements de terre, en particulier pour des analyses de Cs-137.

(**) C'est-à-dire celle qui entraîne une sortie de terre du bassin et pas seulement un déplacement.

Cependant, le ruissellement des 20-21 décembre à Vierzy ne confirme pas ce raisonnement simple. Le volume de la ravine consécutive à ce ruissellement suffit à peine à expliquer la quantité des MES exportées, soit 1 083 kg. Pourtant, à cette date, les sols (états de surface et couvert) sont dans le même état que le 3 janvier 1994.

Lors du ruissellement des 20-21 décembre 1993 à Vierzy, le premier pic de débit (à 3 000 l/mn, fig. I - 2 - 1 - 1 - d) n'entraîne que 0,08 % de MES. Pour un débit 10 fois inférieur, la charge est plus importante le 3 janvier. Le talweg n'était pas encore vraiment incisé le 20 décembre, si on suit le raisonnement exposé plus haut, le débit devrait être plus érosif. La charge en MES n'augmente qu'au second pic de débit, soit 6 300 l/mn. Pour l'ensemble de ce ruissellement, la relation débit/concentration en MES donnent des concentrations inférieures à celles des 25 et 3 janvier. La principale différence entre ces trois ruissellements réside dans les valeurs d'intensités maximales des pluies. Ces dernières sont de 6 mm/h pour le premier pic de débit et de 24 mm/h pour le second le 20 décembre. Ces derniers pics d'intensités à 24 mm/h pendant 1 minutes ont probablement occasionner une érosion plus diffuse. La bonne corrélation établie entre les débits et les concentrations en MES implique une relation MES, intensité et débits. Ce fait est à recouper avec la boucle d'hystérésis observée (fig. I - 2 - 2 - 2 - a) et confirme l'action conjointe de l'érosion de talweg dominante et de l'érosion de versant (diffuse et en rigoles dans les traces de roues). Ces observations confirment l'hypothèse avancée (I - 2 - 1 - 1) : les intensités contribuent, même légèrement, à l'augmentation de la charge. C'est le cas pour les trois ruissellements cités ci-dessus.

Un dernier exemple peut soutenir cette hypothèse. Le 15 octobre 1993, les intensités des pluies sont faibles (maxi 4 mm/h) et le débit maxi (700 l/mn), ainsi que les concentrations en MES, restent modérés. Mais le ruissellement, long et volumineux par rapport à ceux de janvier, permet un cumul des exportations (100 kg). Aucune ravine n'est observée. L'érosion concentrée est quasi inexistante et les faibles exportations doivent provenir d'une légère érosion diffuse.

Toutefois, l'érosion diffuse hivernale demeure extrêmement réduite (77 à 100 kg à Vierzy pour 180 ha !). L'érosion concentrée, bien que notable, ne prend pas une ampleur exceptionnelle. Même le 20 décembre pour un événement météorologique remarquable, les exportations de terre - des versants et du talweg - restent très modérées.

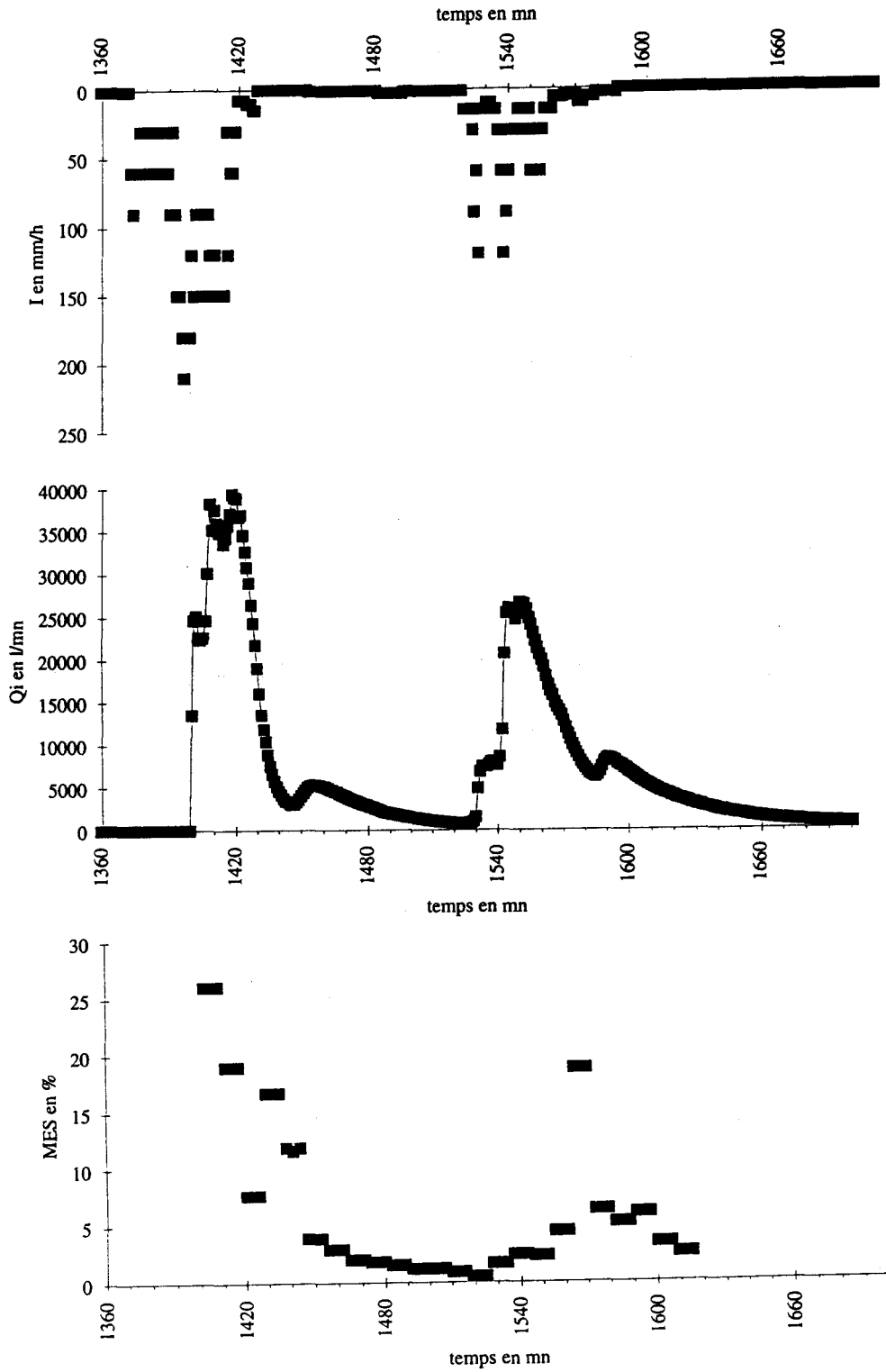
A Erlon, l'érosion de talweg est peu marquée en hiver (talweg à peine incisé). Les MES semblent davantage provenir des traces de roues et probablement aussi des versants (en petite proportion). Par contre, au printemps et en été, elles proviennent de tous les compartiments. Par exemple, le 24 mai 1994, pour un ruissellement court et un débit maximum de 900 l/mn, les exportations sont équivalentes à celles du 19 décembre 1993 où le débit a atteint 2 150 l/mn. Dans le premier cas, le talweg et les traces de roue sont nettement incisés, dans le second non.

Les 6-7 août 1995 à Erlon, autre exemple, les MES proviennent de l'ensemble du BVEC. Dès le tout début du ruissellement, les MES semblent venir des versant. Une première averse de 8 mm avec des intensités de 80 mm/h en 1 mn a probablement sensibilisé les sols déjà battants (détachement de particules non déplacées, humectation, etc...). Dès la principale averse (pic d'intensité à 210 mm/h), les MES des talwegs (reprise de dépôts) et des versants - par splash - sont mobilisées. Elles arrivent à l'exutoire dans la première vague de ruissellement qui se produit une minute après le pic d'intensité à 210 mm/h et 7 mn après le début de l'averse. Compte tenu de la rapidité de la réponse et de l'importance de la charge, cette eau pourrait provenir des parcelles en maïs et en haricots à l'amont immédiat. Les temps de réponse et de propagation sont réduits au minimum. Le troisième échantillon qui montre une eau plus claire pourrait provenir de la parcelle amont en chaumes. Puis la charge en MES suit une évolution que l'on peut qualifier de classique : parallèle au débit mais décalée de quelques minutes. Pendant les périodes intermédiaires, débits et MES s'équilibrent, une très bonne corrélation s'établit (voir fig. I - 3 - 2 - a ci-après et fig. I - 2 - 2 - 2 - b).

L'importante charge des deux premiers échantillons serait consécutive aux intensités de 210 mm/h (on ne peut pas avoir de doute sur la validité de ces deux prélèvements, les sondes et le préleveur ont été vérifiés et nettoyés une dizaine de jours avant l'orage, seulement 4 mm d'eau sont tombés depuis). Le flux de MES calculé pour ces deux échantillons représente plus du tiers du flux total, soit environ 120 t. Ce qui pourrait s'expliquer, compte tenue de l'intensité des pluies et de la vitesse de formation du ruissellement (rappelons que la vitesse tractrice des limons est de 3 cm/s au delà la charge solide s'accroît considérablement). Toutefois, il est impossible de dire quand l'érosion de talweg se produit. Le premier flot est puissant et le sol est tassé. Le second les sols sont humectés et la charge en MES est supérieure pour un débit équivalent.

On retiendra que l'incision du talweg est fréquente à Vierzy (même si elle est modeste compte tenu de la surface du BVEC), presque annuelle en hiver. Elle est moins marquée à Erlon et reste associée à des pluies exceptionnelles.

Figure I - 3 - 2 - a : Evolution des débits et des concentrations en MES à Erlon les 6-7 août 1995



I - 3 - 3 - Déplacements sur les versants : des quantités considérables

Les mesures à l'exutoire ne permettent pas d'appréhender tous les déplacements de MES au sein du bassin versant. De même, l'observation des rigoles ne reflète pas l'ensemble des zones d'érosion. De nombreux transferts ont aussi lieu sur versants où les MES sont le plus souvent redéposées, ce qui explique que les concentrations mesurées à l'exutoire des BVEC soient souvent inférieures à celles enregistrées sur des parcelles expérimentales présentant les mêmes caractéristiques de pentes et de sols. Alors comment appréhender ces déplacements sur versants quand des mesures ne sont pas réalisables à l'échelle des parcelles du BVEC ? Recourir à un élément marqueur, indicateur des mouvements de sol, comme le Cs-137, constitue une bonne alternative tant aux mesures directes (dimensionnement des rigoles, pesée des sorties de parcelles) qu'aux mesures indirectes (mesure de MES à l'exutoire d'un bassin versant élémentaire) (BERNARD, LAVERDIERE, 1994a)^(*).

A Erlon, les valeurs de perte de sol données par le Cs-137 sont très élevées^(**), en moyenne 18 t/ha/an pour les six stations localisées sur les versants et 9 t/ha/an dans le talweg principal (tab. I - 3 - 3 - 2 - a). De plus, les déplacements sur le tiers aval du BVEC sont estimés à 160 t/an (WICHEREK, BERNARD, 1995).

(*) L'utilisation de radio-isotopes, technique récente, est surtout une approche à moindre coût que celle par parcelles ou bassins versants élémentaire (BERNARD, LAVERDIERE, 1994b). Parmi les nombreux traceurs, le Cs-137 est considéré comme le meilleur pour plusieurs raisons. Il est tout d'abord peu sensible au lessivage (car fréquemment retenu par les particules du sol). Sa demi-vie de 30 ans permet des mesures à long terme. De plus, il est très peu prélevé par les cultures. En fait, le Cs-137 apporte beaucoup à l'étude de la redistribution spatiale, car il se déplace avec le sol. Enfin, son introduction artificielle dans notre environnement à la fin des années 1950 correspond à la période de transformation de notre agriculture. Pour toutes ces raisons, il a été décidé de tester les teneurs en Cs-137 sur les bassins versants en complément des mesures réalisées à l'exutoire.

Pour une approche des déplacements sur pente, des prélèvements de Cs-137 ont été réalisés sur les versants et dans les talwegs des BVEC, en décembre 1992 à Erlon et en février 1993 et janvier 1995 à Vierzy. Ils se font à deux profondeurs, en surface (0-5 cm) et dans la semelle de labour (30-35 cm), ce prélèvement plus profond indiquant normalement l'activité en Cs-137 d'un sol non déplacé. L'échantillonnage a été réalisé par les membres du laboratoire. Les échantillons ont été traités à l'Université Laval de Québec par MM. Claude Bernard et Marc Laverdière, respectivement chercheur du MAPAQ et professeur à l'Université Laval.

La formule utilisée, corrigée suite aux retombées de Tchernobyl en 1987, est la suivante (BERNARD, 1989) :

$$Ps = [(Csn - Csé) / Csn * Cl]$$

avec

Ps = Perte de sol

Csn = Activité spécifique en Cs-137 du sol d'un site non érodé (BV/m²)

Csé = Activité spécifique en Cs-137 du sol d'un site érodé (BV/m²)

Cl = Poids de la couche de labour (t/ha)

(**) Ces valeurs apparaissent d'autant plus considérables que le bassin versant est resté en pâture jusqu'en 1986. La valeur d'ablation avancée, de 7 t/an, correspond en théorie à une moyenne pour les 35 dernières années, soit 245 t pour cette période. Mais sous pâture, l'érosion est beaucoup plus faible que sous culture. Ainsi, si l'on ramène ces 245 t aux années de culture, c'est-à-dire aux dix dernières années (1986-95), l'érosion annuelle avoisinerait 24,5 t/an.

Deux facteurs peuvent expliquer les fortes valeurs d'érosion observées à Erlon, en particulier sur les versants (18 t/ha) : les orages et le travail du sol. Tout d'abord, l'érosion lors des gros orages (comme ceux de 1983, 1992, 1995) est parfois considérable. L'ordre de grandeur des exportations, évaluées à 7 t/ha/an à Erlon (WICHEREK, BERNARD, 1995), paraît acceptable si on considère qu'au cours d'un gros orage 18 t/ha peuvent être exportées à la station (août 1995). Toutefois certaines années aucun orage ne touche le bassin. Discuter de la validité de ce chiffre revient à rechercher le nombre de gros orages, orages ayant entraînés une érosion notable. En effet, seuls les gros orages entraînent des pertes de sol considérables. L'érosion hivernale reste très modérée (quelques kilogrammes à 1 tonne, cette dernière valeur est exceptionnelle, elle est liée aux très fortes pluies de l'hiver 1993-94). La fréquence de ces gros orages est très variable. Les derniers en date sont ceux de 1958, 1983, 1992, 1995 ; soit 4 sur 35 ans ce qui est assez faible. Pour la période 1993-1995, les exportations moyennes mesurées à la station sont de 6,8 t/ha/an. Ce chiffre est surtout consécutif à l'orage du 6-7 août 1995 qui a lui seul a apporté 364 t (soit 20 t/ha). Sur une période sans orage, comme 1993, les pertes par érosion sont beaucoup plus faibles : 3,7 t (soit 0,2 t/ha, par exemple pour 1993.). Ce qui permet de supposer que parallèlement à ces événements exceptionnels, les pratiques culturales jouent un rôle extrêmement important dans les déplacements de sol. En effet, les labours annuels, dans le sens de la plus forte pente, contribuent très fortement à la descente de sol des versants vers les talwegs. A titre de référence, le site de la station implantée en 1989 se trouve aujourd'hui "encaissé" au milieu des parcelles cultivées : un petit dénivelé de 10 à 15 cm sépare les cultures de la pelouse. On pourrait penser à un simple tassement du sol là où la station est implantée. Mais le fossé d'évacuation des eaux de ruissellement, localisé à l'aval de la station, a lui aussi subi cet enfoncement. Situé auparavant au même niveau que le talweg principal, il est aujourd'hui à environ 60 cm en dessous du niveau du talweg actuel. Ce qui représente de 1989 à 1995, un remblaiement du talweg proche de 10 cm par an, presque uniquement lié au travail du sol. Sur un talweg large d'une vingtaine de mètres et long de près de 800 m, ces déplacements peuvent représenter 1 à 8 t/ha/an (densité du sol prise pour l'évaluation du poids : 1,4). Cette action de l'agriculteur est davantage prononcée suite aux gros orages, puisque dès l'automne, le labour sera accentué de façon à boucher la ravine du talweg principal. Cette pratique pourrait en partie expliquer les fortes valeurs d'érosion observées sur les versants et celles moindre du talweg.

Comme à Erlon, les valeurs de perte de sol données par le Cs-137 à Vierzy sont élevées, en moyenne 11 t/ha/an pour les stations localisées sur les versants et 13 t/ha/an dans le talweg principal (tab. I - 3 - 3 - 2 - b). A la différence d'Erlon, ce site est cultivé depuis plusieurs siècles. Les quantités érodées mesurées s'appliquent donc bien à une période de 35 ans. Par ailleurs, les différences d'érosion entre le talweg et les versants sont moindres qu'à Erlon. Ceci étant peut être lié à une érosion plus modérée sur les versants moins pentus et à une érosion concentrée fréquente dans le talweg. De plus, dans le cas présent, le travail du sol par les agriculteurs intervient moins dans les déplacements de sol. Les labours sont réalisés parallèlement au talweg principal. En conséquence, les descentes de terre vers ce talweg sont beaucoup moins importantes. Le talweg n'est rebouché que lors de gros orages comme celui de juillet 1995 (on notera à ce propos une tendance des agriculteurs à apporter de la terre extérieure au site, pour le comblement de ravines ou d'anciens chemins). La valeur de 13 t/ha/an résulterait de l'érosion du talweg par les ruissellements. A Vierzy, on peut faire le même constat. L'importance des exportations est liée à l'existence de très gros orages. Ces derniers sont relativement rares : les derniers ont eu lieu en 1941, 1968, 1988 et 1995. Mis à part ces gros événements où on eu lieu des coulées de boue, l'érosion hivernale demeure modeste et ne permet pas d'expliquer les 11 t/ha/an la quantité de terre exportées du bassin versant de Vierzy.

Ainsi, l'érosion du talweg semble plus importante à Vierzy (13 t/ha/an) qu'à Erlon (9 t/ha/an). On observe l'inverse pour l'érosion des versants qui atteint 18 t à Erlon contre 11 t à Vierzy, l'action des agriculteurs étant capitale sur le premier des deux sites(*).

(*)On peut aussi signaler certains facteurs qui peuvent entraîner soit une surestimation, soit une sous-estimation de l'érosion mesurée à l'aide du Cs-137.

- Le point de référence où l'érosion est considérée comme nulle (5 à Erlon et 15 à Vierzy) peut être plus ou moins bien choisi. A Vierzy, le point 15 se situe dans une zone où aucune trace d'érosion n'a été observée et où les pentes sont proches de 1 %. L'érosion y est vraisemblablement inexistante. Par contre, à Erlon le point 5 se situe sur une pente de 3 à 4 %, dans un talweg où des rigoles ont pu être observées. En considérant que l'érosion y est nulle, on sous-estime l'érosion aux autres points.

- L'évaluation des conséquences de Tchernobyl est délicate car les retombées sont fortement liées à la densité du nuage radioactif au dessus du site et aux pluies ayant entraîné les retombées. Les quantités de terre déplacées peuvent ainsi être sur ou sous-estimées.

- Les prélèvements dans la semelle de labour ne sont probablement pas assez profonds et donc entraînés une surévaluation du Cs-137, sauf sur les versants où l'érosion fait "rapprocher" de la surface des sols normalement moins riches en Cs-137. En particulier à Erlon, les prélèvements ont été réalisés à 30 -35 cm de profondeur dans la semelle de labour, mais certains labours, comme ceux précédents les betteraves, se font à 35 cm de profondeur. De plus, occasionnellement, l'agriculteur pratique du sous-solage (2 fois au cours de la période 1986-95), ce qui entraîne des effets opposés : une dilution du Cs-137 dans les 30-40 premiers centimètres et une augmentation de la teneur en Cs-137 dans la partie supérieure de la semelle de labour, celle qui est prélevée.

- En plus de ces problèmes liés à l'échantillonnage, des problèmes de méthode peuvent se poser. Par exemple, la relation entre la perte de sol et le Cs-137 peut évoluer (BERNARD, 1989) lorsque les sédiments érodés sont plus fortement constitués de particules fines, plus riches en Cs-137.

Tableau I - 3 - 3 - 2 - a : Activités en Cs-137 mesurées à la station d'Erlon

Points de prélèvement	Activité en Cs-137 (Bq/m ²)	Mouvements de sol (t/ha/an) (*)
Moyenne talweg		- 9
1	3 954	+ 5
2	1 806	- 35
3	3 078	- 12
4	2 738	- 20
5	3 688	0
Moyenne versants		- 18
6	3 490	- 3
7	2 445	- 25
8	2 499	- 23
9	1 749	- 35
10	2 146	- 30
11	2 056	- 32

(*) - indique une ablation et + un dépôt.

Tableau I - 3 - 3 - 2 - b : Activités en Cs-137 mesurées à la station de Vierzy

Points de prélèvement	Activité en Cs-137 (Bq/m ²)	Mouvements de sol (t/ha/an) (*)
Moyenne talweg		- 13
1	1 160	- 33
2	1 320	- 28
3	2 520	+ 4
4	1 560	- 21
5	1 970	- 10
6	1 470	- 23
7	2 030	- 8
8	1 780	- 14
9	1 510	- 20
10	2 030	- 8
11	2 260	- 2
12	2 060	- 7
13	2 050	- 7
14	1 460	- 22
15	2 350	0
moyenne versants		- 11
5.1	2 100	- 6
5.2	1 780	- 13
6.1	1 420	- 21
6.2	1 120	- 27
6.3	1 620	- 16
6.4	1 910	- 12
7.1	2 400	+ 1
7.2	1 660	- 16
7.3	1 680	- 17
7.4	2 530	+ 5
13.1	2 090	- 6
13.2	1 650	- 19
14.1	2 240	- 3
14.2	2 130	- 5

(*) - indique une ablation et + un dépôt.

Figure I - 3 - 3 - 2 - a : Localisation des prélèvements sur fond de carte des textures de surface à Erlon

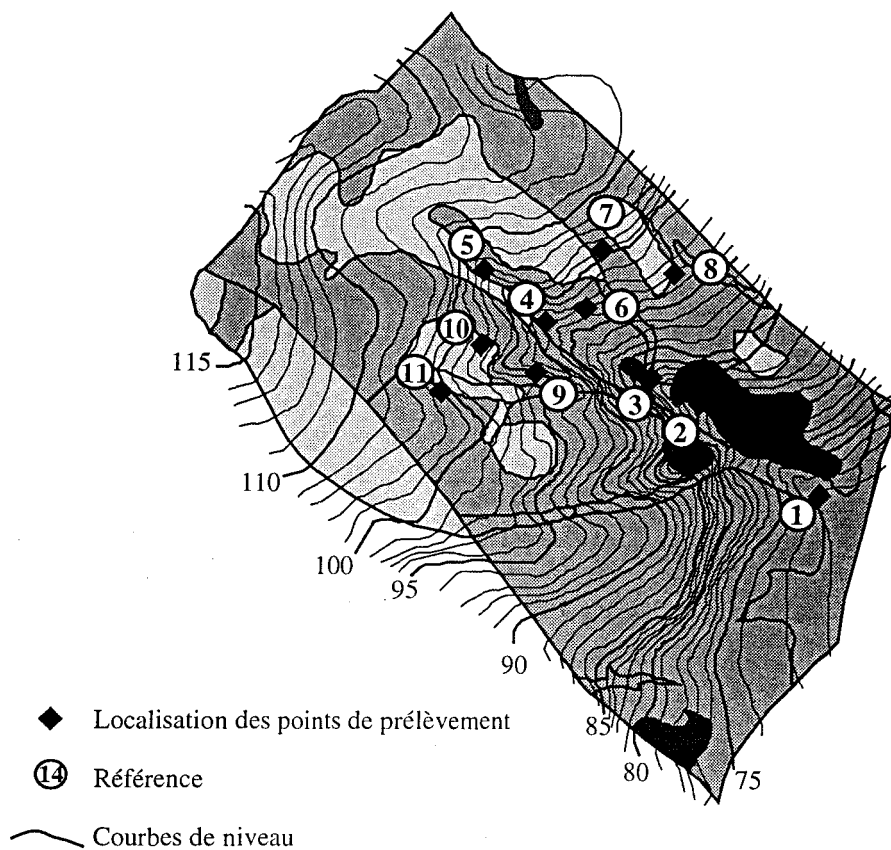
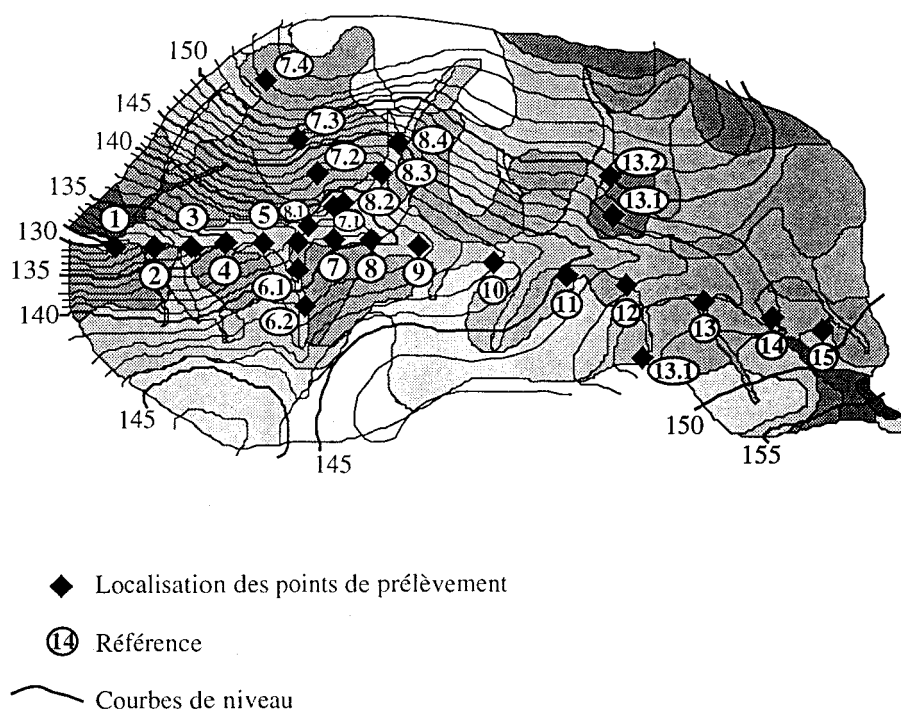


Figure I - 3 - 3 - 2 - b : Localisation des prélèvements sur fond de carte des textures de surface à Vierzy



Si l'évaluation des exportations par la méthode du Cs-137 reste délicate, les valeurs ponctuelles données par le dosage de ce radioélément sont particulièrement intéressantes. En effet, les valeurs de Cs-137 illustrent l'importance spatiale et temporelle des relais (WICHEREK, BERNARD, 1995). Elles permettent de localiser, voire de cartographier, les versants les plus érodés, les zones de dépôts et les zones intermédiaires, soumises à la fois à des dépôts et des reprises. Toutefois, le fonctionnement de ces relais, sites d'érosion et de redéposition, est particulièrement difficile à interpréter car on ne sait pas quelle est la part du dépôt et celle de l'ablation (L. Mabit, thèse en cours, Paris IV). Cette situation complexe se rencontre en particulier au niveau des talwegs. Dans un premier temps, l'interprétation des résultats nécessite de bien repositionner les points de prélèvements par rapport aux pentes, aux textures de surface et aux limites parcellaires. Sinon les interprétations peuvent être délicates.

Ainsi, à première vue, l'érosion semble plus importante sur le versant ouest du bassin versant d'Erlon (points 9, 10 et 11). Dans le cas présent, les points 9, 10 et 11 se situent sur des versants à fortes pentes (7-8 %) alimentant un talweg secondaire. Les points 7 et 8 se situent, quant à eux, sur une pente très légèrement moins forte (5-6 %), mais surtout une pente perpendiculaire au travail du sol. Quant au point 6, proche du talweg principal, il bénéficie probablement des dépôts colluviaux de bas de pente que l'on observe fréquemment sur le bassin et du travail du sol par l'agriculteur.

A Vierzy, les résultats actuels semblent montrer une plus forte érosion sur le versant nord, ce qui a en effet été signalé par Jean Maucorps au cours de la réalisation de la carte pédologique du site au 1/5 000 (voir 2ème Partie, I - 1 - 2 - 1). L'érosion est sur le versant nord comprise entre 12 et 27 t/ha/an. Deux exceptions apparaissent, les points 7.4 et 7.1. Le premier se localise sur la partie haute et plane du bassin (pente inférieure à 1 %). Le second se positionne dans une partie où le talweg forme un méandre. Situé sur la partie extérieure de ce méandre, il bénéficie, d'une part, des dépôts du versant (léger replat, pente 2-3 %) et, d'autre part, des décantations des transports du talweg. En effet, on a constaté à cet endroit la présence d'une grande zone d'atterrissements souvent gorgée d'eau. Comme on l'a décrit précédemment (2ème Partie, II - 2 - 2 - 4), les ruissellements traversent la D804 à son intersection avec le talweg, puis suivent le tracé de ce talweg. La sinuosité du tracé et la faiblesse des pentes provoquent un ralentissement des écoulements, un engorgement en eau et des dépôts. Les analyses de Cs-137 confirment aussi l'existence d'un secteur d'atterrissements, précédemment définie comme une zone de relais indispensable (2ème Partie, II - 2 - 2 - 4), à l'intersection du talweg principal et du chemin terre, au tiers amont du BVEC. En effet, deux points complémentaires présentent une activité en Cs-137 de 3 050 et 3 173 Bq (*), soit des dépôts de l'ordre de 15 à 20 t (L. Mabit, comm. orale 1996).

(*) Compte tenu de la période de demi-vie du Cs-137, il faudrait normalement augmenter ces valeurs de 7 % par an, sur deux ans (1993-1995), pour pouvoir les comparer avec celles du tableau I - 3 - 3 - 2 - b.

A Erlon, l'érosion résultante dans le talweg est fortement dépendante de la pente et des apports latéraux (point 5 pour la pente, point 2 pour la concentration des apports latéraux). Elle dépend d'un bilan entre l'érosion concentrée qui affecte le talweg sous forme d'une ravine qui peut atteindre plus de 6 m de large et entre les dépôts sédimentaires provenant des versants (dans les traces de roues ou à la limite des parcelles). Elle est aussi fonction de la localisation des limites de parcelle. Il a été noté (3ème Partie, I - 3 - 1) qu'aux intersections des limites de parcelle (avec changement de culture) et du talweg principal d'importantes sédimentations pouvaient se produire. En raison de la variété des assolements, chaque limite de parcelle a été une année ou l'autre été le siège de dépôts (dépôts plus ou moins importants en relation avec les pluies ayant occasionné les entraînements). Le point 3 apparaît très près d'une limite de parcelle ce qui pourrait expliquer son taux d'érosion moins élevé, dépôts et érosion alternant au rythme des assolements et des ruissellements. Le point 1, quant à lui, se situe dans la partie basse et plane du bassin. Il bénéficie, d'une part, des dépôts provenant du talweg et, d'autre part, de ceux provenant des versants, surtout ceux pratiqués par l'agriculteur lors du travail du sol.

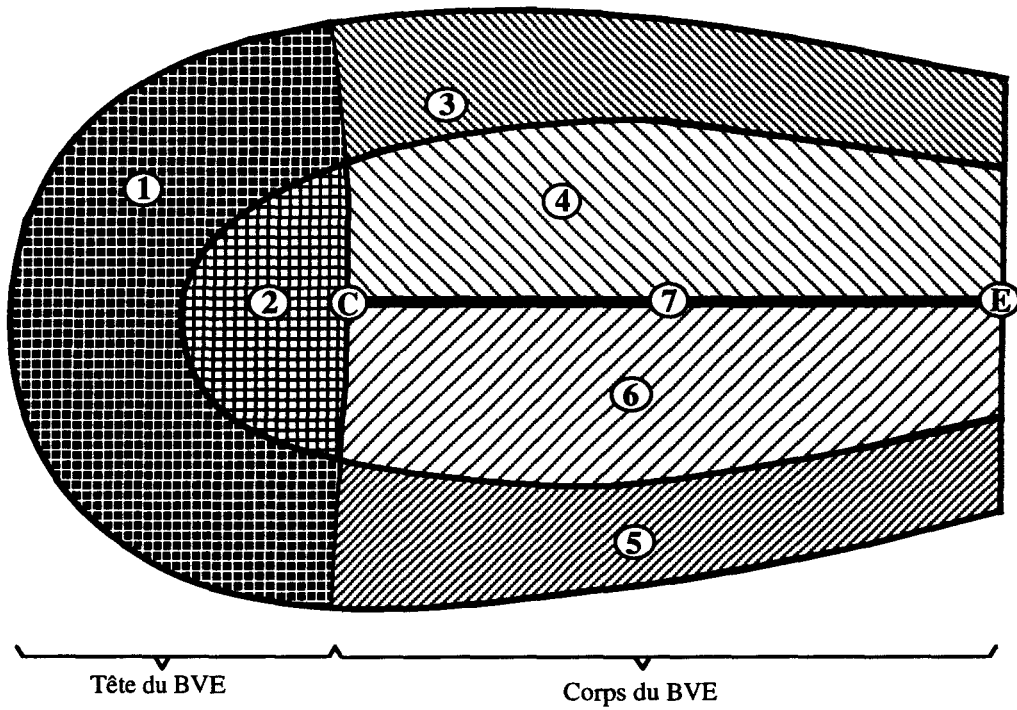
Le Cs-137 permet de montrer que le travail du sol joue un rôle important sur le déplacement de sol, mais aussi que l'érosion touche inégalement les versants. Les départs de terre se font à différents endroits du bassin versant et les phénomènes de redéposition sont nombreux. C'est pourquoi l'utilisation de cet outil dans l'étude de l'érosion des sols fait l'objet d'un travail complémentaire afin de préciser les déplacements sur versants et de localiser les zones de dépôt. Enfin, les analyses de Cs137 montrent que l'érosion moyenne des versants est plus importante à Erlon qu'à Vierzy (18 t/ha contre 11 t/ha). Par contre, l'érosion de talweg est plus élevée à Vierzy (13 t/ha contre 9 t/ha). En effet, les résultats de Cs-137, comme les comparaisons des volumes de rigoles et des flux de MES, montrent une très nette prédominance de l'érosion de talweg à Vierzy, par rapport à Erlon, ce qui pourrait être en relation avec les grandes surfaces d'alimentation en eau du bassin.






I - 3 - 4 - Surfaces d'alimentation en eau et surfaces d'érosion

I - 3 - 4 - 1 - Le découpage des BVEC

L'observation du fonctionnement des bassins versants a montré l'existence de zones produisant du ruissellement, généralement à pentes faibles et situées à l'amont, et des zones produisant des sédiments, plus particulièrement le talweg. La superficie des surfaces d'alimentation amont se révèle être en étroite relation avec la taille des ravines aval. A partir de ce constat, un zonage des différentes parties du bassin est établi en SUM (Sous-Unités Morphologiques) ayant un rôle différent dans les processus d'érosion (LUDWIG, 1989 ; OUVRY, 1986). On distingue la tête (1) et le corps du bassin constitué des deux versants (2 et 3). Puis on distingue le talweg (4) dont la surface d'alimentation augmente vers l'aval (fig. I - 3 - 4 - 1 - a ci-dessous). Chacune de ces SUM possède des surfaces d'alimentation en eau de ruissellement et des localisations d'incision différentes. De plus, les SUM 1, 2 et 3 peuvent être sous-divisées en deux zones : une zone amont, généralement en pente faible (inférieure à 2 %), souvent uniquement susceptible de ruisseler (1a, 2a et 3 a), et une zone aval susceptible d'être incisée, où la pente est localement plus forte (1b, 2b et 3b).

Figure I - 3 - 4 - 1 - a : Découpage théorique du bassin versant (d'après LUDWIG, 1989)

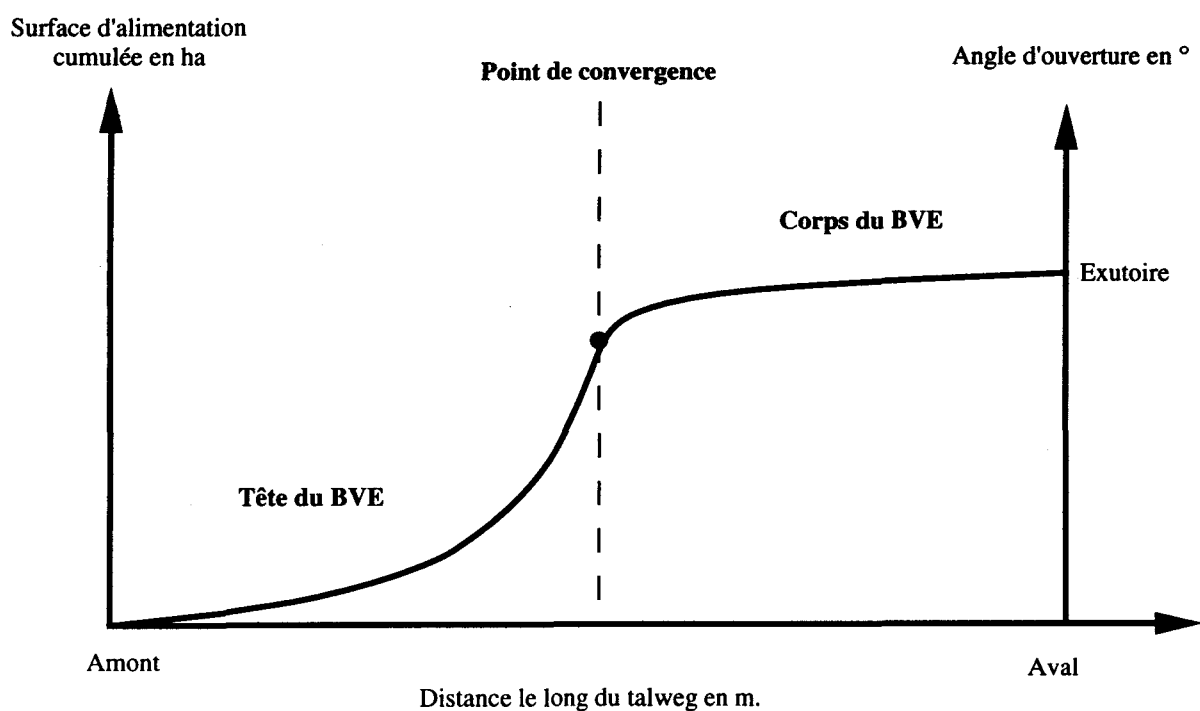


-  Tête du BVE, surface amont en pente faible
-  Tête du BVE, surface aval
-  Corps du BVE, surface amont en pente faible
-  Corps du BVE, surface aval, versant
-  Talweg
- C** Point de convergence
- E** Exutoire

La tête de BVEC est définie comme la surface dont les eaux de ruissellement convergent vers un point qui marque le début du talweg (C). Deux méthodes permettent de localiser ce point de convergence.

La première méthode consiste à tracer la courbe des surfaces d'alimentation cumulées le long du talweg (fig. I - 3 - 4 - 1 - c et d). On calcule la surface d'alimentation en différents points régulièrement espacés le long de la ligne de concentration principale des eaux (fig. ci-après). Puis, on trace la courbe représentant ces surfaces en fonction de leur distance à l'exutoire (ces surfaces sont exprimées en pourcentage de la surface totale du BVEC). Cette courbe se caractérise par un point d'inflexion qui marque la limite entre la tête et le corps du bassin, c'est-à-dire C (fig. I - 3 - 4 - 1 - b). A l'amont, la surface d'alimentation croît de façon exponentielle puis arithmétique. On remarque, en général, la contribution très nette des talwegs secondaires.

Figure I - 3 - 4 - 1 - b : Courbes théoriques des surfaces d'alimentation (en %) et des angles d'ouverture des vallons (en °)



Ce point d'inflexion est, selon les bassins, plus ou moins facile à repérer. Lorsqu'il est impossible de le discerner, on a recours à une autre technique, celle des angles d'ouvertures des vallons. L'angle d'ouverture en un point du talweg correspond à l'angle formé par deux droites passant par ce point et suivant la direction de la plus grande pente (perpendiculaire à la courbe de niveau la plus proche, voir fig. I - 3 - 4 - 1 - c et d).

Vers l'aval, dans le corps du bassin, les angles d'ouverture sont importants (120-180 °). En arrivant au niveau de la tête de bassin, le paysage se resserre et les deux versants se rejoignent, les angles diminuent. Lorsqu'on trace la courbe de ces angles en fonction de la distance à l'exutoire, un point d'inflexion apparaît sur la courbe (fig. I - 3 - 4 - 1 - e et f).

La confrontation des deux méthodes permet de réaliser un découpage plus précis des BVEC qui donne les résultats présentés par la suite (fig. I - 3 - 4 - 1 - g et h). La distinction entre la partie amont (1a, 2a et 3a) et la partie aval (1b, 2b et 3b) se fait à partir des valeurs de pente. Les surfaces à pente faible, inférieures à 2 % (LUDWIG, 1989) sont considérées comme étant uniquement des sources de ruissellement. On a ainsi divisé le bassin en 7 zones fonctionnelles. On détermine pour chaque bassin la surface respective de ces différentes zones. Pour le talweg, la distance est souvent plus indicatrice que la surface.

Figure I - 3 - 4 - 1 - c : Détermination des surfaces d'alimentation et des angles d'ouverture des vallons sur le bassin de Vierzy

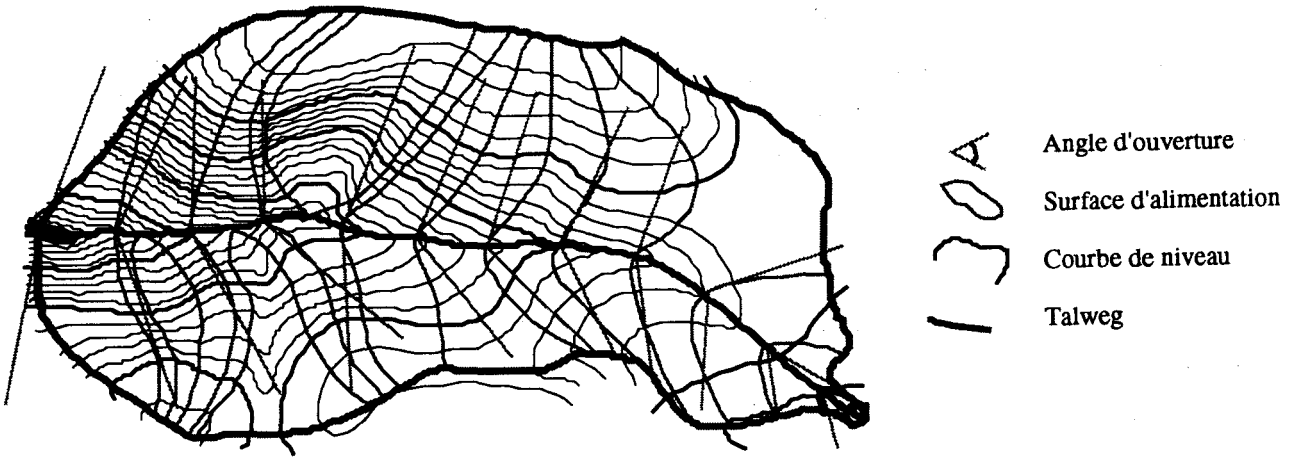
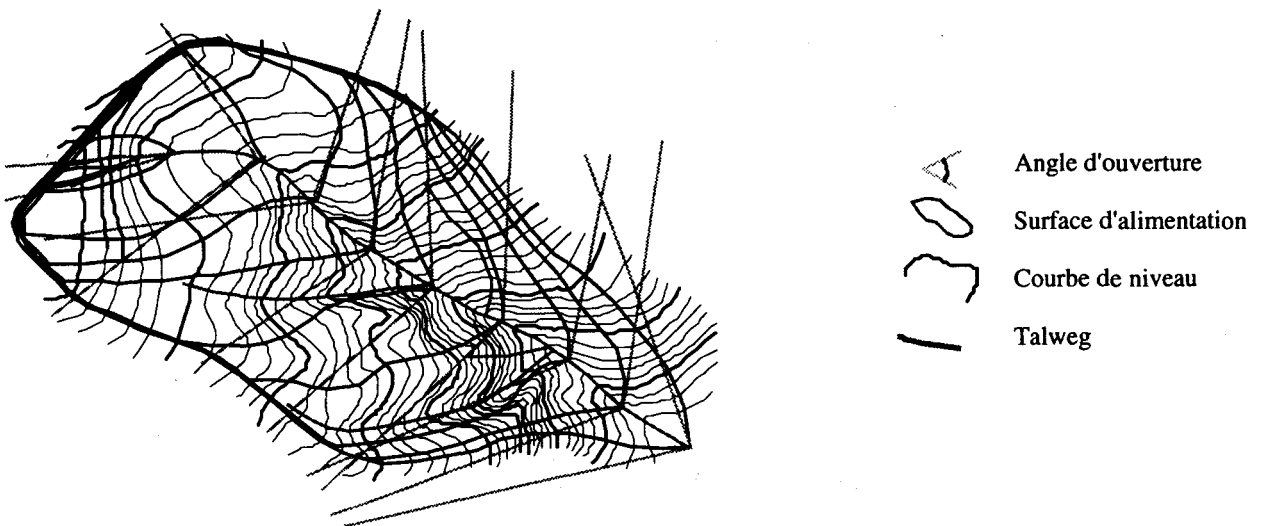


Figure I - 3 - 4 - 1 - d : Détermination des surfaces d'alimentation et des angles d'ouverture des vallons sur le bassin d'Erlon



Les résultats regroupés dans le tableau ci-après (I - 3 - 4 - 1 - a) montrent qu'à Vierzy, les superficies s'équilibrent entre les surfaces contribuant à l'alimentation en eau et celles contribuant à la concentration des écoulements. La dissymétrie nord/sud de la répartition des pentes fait que la zone de concentration sud est plus réduite. A Erlon, par contre, les surfaces contribuant au rassemblement des eaux sont très importantes, en raison des fortes pentes, et celles d'alimentation presque inexistantes.

Figure I - 3 - 4 - 1 - e : Courbes des surfaces cumulées et des angles d'ouvertures à Vierzy

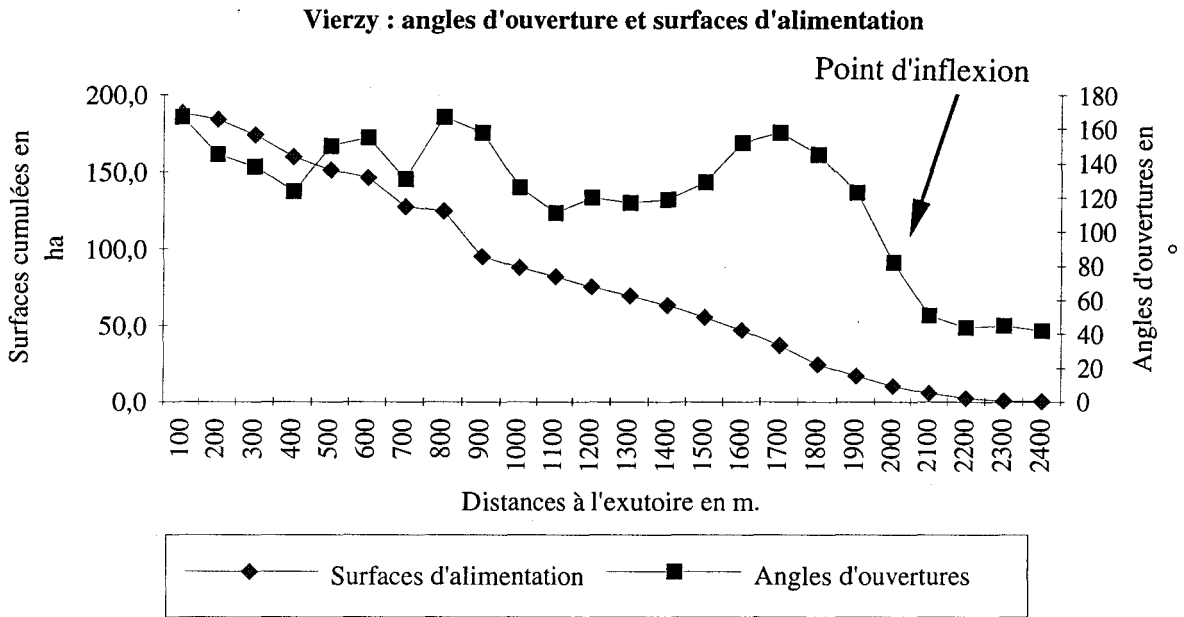


Figure I - 3 - 4 - 1 - f : Courbes des surfaces cumulées et des angles d'ouvertures à Erlon

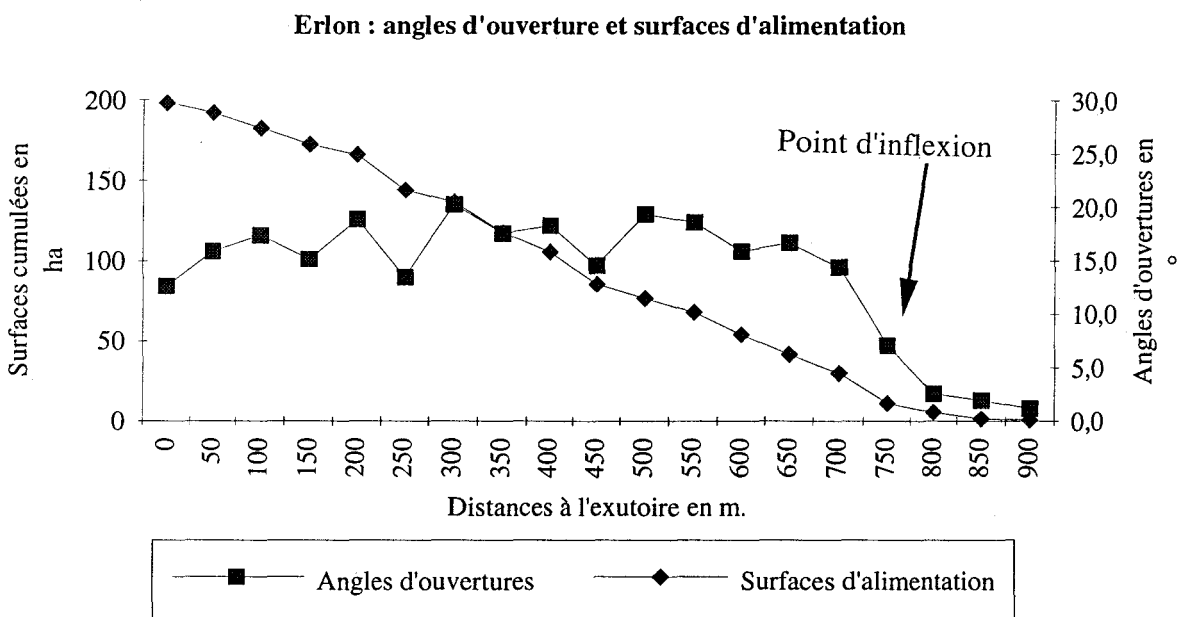
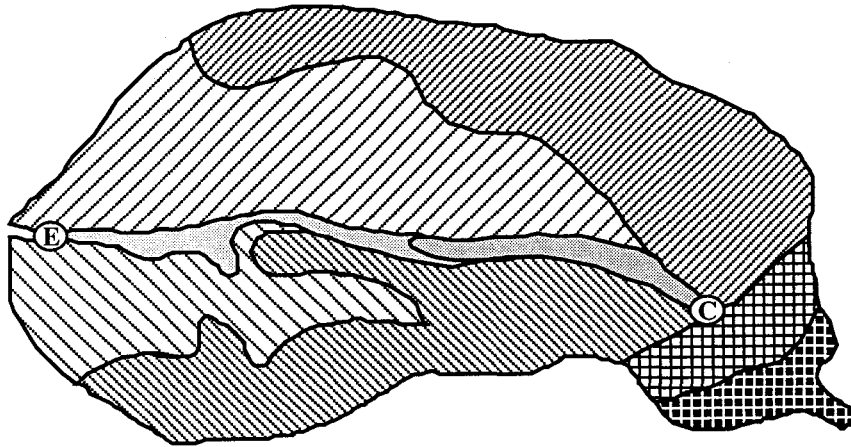


Figure I - 3 - 4 - 1 - g : Découpages en SUM du bassin versant de Vierzy











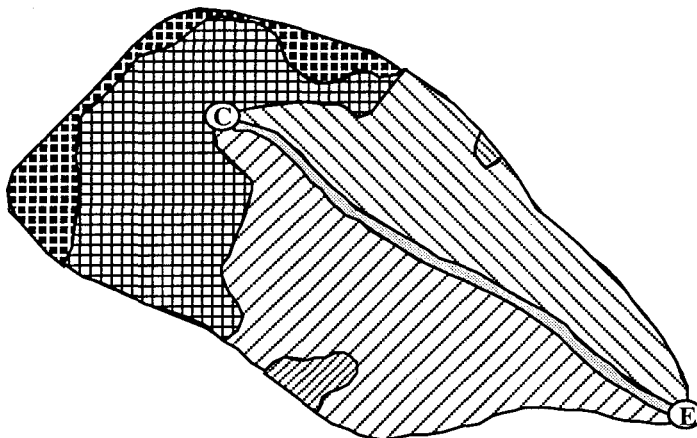
-  Tête du BVE, surface amont en pente faible
-  Tête du BVE, surface aval
-  Corps du BVE, surface amont en pente faible
-  Corps du BVE, surface aval, versant
-  Talweg amont, pente très faible
-  Talweg aval, pente faible
-  Point de convergence
-  Exutoire

Figure I - 3 - 4 - 1 - h : Découpages en SUM du bassin versant d'Erlon










-  Tête du BVE, surface amont à pente moyennement faible
-  Tête du BVE, surface aval à pente forte
-  Corps du BVE, surface amont à pente moyennement faible
-  Corps du BVE, surface aval, versant à pente forte
-  Talweg à pente forte
-  Point de convergence
-  Exutoire

Tableau I - 3 - 4 - 1 - a : Surfaces respectives de chaque SUM dans chacun des BVE

Zone	Localisation	Erlon		Vierzy	
		en hectares	en %	en hectares	en %
1a	tête amont	2,9	8,5	7,4	3,9
1b	tête aval	9,2	26,4	4,7	2,5
2a	versant 1 amont	0,5	1,6	47,7	25,3
2b	versant 1 aval	10,3	29,6	49,8	26,4
3a	versant 2 amont	0,1	0,4	44,2	23,4
3b	versant 2 aval	9,8	28,4	24,3	12,9
4	talweg	1,8	5,1	10,6	5,6
Total		34,7	100	188,7	100

(*) Le versant 1 est celui qui est à gauche lorsque l'on se situe à l'exutoire et que l'on regarde vers l'amont du BVEC.

I - 3 - 4 - 2 - Répartition des textures de surface dans les SUM

Le fonctionnement des zones préalablement définies dépend de la sensibilité des sols à la formation d'une croûte battance et à l'incision par les forces de cisaillement du ruissellement. Rappelons que le ruissellement se forme sur un sol ayant une croûte de battance dès une intensité de 1 mm/h (voir 1ère Partie, fig. I - 2 - 1 - 4 - b et I - 2 - 1 - 5 - a) et que l'incision est liée à une vitesse tractrice critique qui est voisine de 3 cm/s pour les limons (GOVERS ET RAUWS, 1988). Au delà de cette vitesse, la charge solide croît rapidement. La pente et le rayon hydraulique (section du flux/hauteur, en relation avec la concentration du flux et donc avec la surface d'alimentation et la présence de collecteur) sont à considérer (LUDWIG, 1989). Vis à vis du risque d'incision, les sols colluviaux sont moins bien structurés et plus sensibles. La présence de silex, pouvant être entraînés par le ruissellement, accentue l'arrachement des particules du sol.

En résumé, les surfaces sensibles à l'incision et à la battance dans chacune des SUM définies précédemment sont les suivantes :

Tableau I - 3 - 4 - 2 - a : Surfaces sensibles à la battance et à l'incision dans chacune des SUM (en ha et en %)

ZONE	LOCALISATION	ERLON				VIERZY				
		LM	LA	AL	Total	LM	LA	LAS	SL	Total
1a	tête amont	2,1	6,3	0	8,5	2,6	1,0	0,1	0,2	3,9
1b	tête aval	13,2	13,2	0	26,4	2,3	0,2	0	0	2,5
2a	versant 1 amont	0,4	1,3	0	1,6	4,4	20,9	0	0	25,3
2b	versant 1 aval	5,4	23,3	0,8	29,6	12,5	13,2	0	0,7	26,4
3a	versant 2 amont	0,1	0,4	0	0,4	18,3	5,1	0	0	23,4
3b	versant 2 aval	5,9	9,7	12,8	28,4	10,0	2,9	0	0	12,9
4	talweg	1,3	3,8	0	5,1	5,6	0	0	0	5,6
Total		28,4	58,0	13,6	100	55,5	43,2	0,1	0,9	100

La sensibilité à la battance doit principalement être considérée sur l'amont du bassin versant. Quant à la sensibilité à l'incision, elle est intéressante à observer sur les zones aval, là où le flux de ruissellement est déjà formé et assez puissant pour creuser. Pour simplifier la synthèse des données, on regroupe les textures en fonction de leur susceptibilité à ruisseler, puis en fonction de leur sensibilité à l'incision.

Tableau I - 3 - 4 - 2 - b : Surfaces sensibles de ruisseller sur les zones amont des bassins (en %)

Zone	ERLON			VIERZY		
	Sensibilité forte (*)	Sensibilité moyenne (**)	Sensibilité faible (***)	Sensibilité forte (*)	Sensibilité moyenne (**)	Sensibilité faible (***)
Tête amont	2,1	6,3	0	2,4	1,1	0
Versant 1 amont	0,4	1,3	0	4,4	20,9	0
Versant 2 amont	0,1	0,4	0	18,3	5,1	0
Talweg	1,3	3,8	0	5,6	0	0

(*) Sensibilité forte pour les sols LM, LMS, LS, SL et S

(**) Sensibilité moyenne pour les sols LA, LAS, LSA et SA

(***) Sensibilité faible pour les sols A et AL

En ce qui concerne la sensibilité à l'incision, elle concerne essentiellement les zones aval, là où le flux de ruissellement est déjà formé. Le sable accroît la sensibilité à l'incision et l'argile la diminue (LUDWIG, 1989).

Tableau I - 3 - 4 - 2 - c : Surfaces sensibles à l'incision sur les zones aval des bassins (en %)

Zone	ERLON			VIERZY		
	Sensibilité forte à très forte (*)	Sensibilité moyenne (**)	Sensibilité faible à très faible (***)	Sensibilité forte à très forte (*)	Sensibilité moyenne (**)	Sensibilité faible à très faible (***)
Tête aval	0	13,2	13,2	0	2,3	0,2
Versant 1 aval	0	5,4	24,1	0,7	12,5	13,2
Versant 2 aval	0	5,9	22,5	0	10,0	2,9
Talweg	0	1,3	3,8	0	5,6	0

(*) Sensibilité forte à très forte pour les sols LMS, LS, SAS et SL

(**) Sensibilité moyenne pour les sols LSA et LM

(***) Sensibilité faible à très faible pour les sols LAS, LA, A et AL

A Vierzy, en raison d'un talweg relativement plat, on observe une analogie entre le tracé de la ravine de fond de talweg et l'érosion dans le lit d'un cours d'eau à méandre. A Erlon, la plus forte pente du talweg ne permet pas ses divagations du tracé des ruissellements.

I - 3 - 4 - 3 - SUM et occupation du sol

La texture du sol n'est pas le seul facteur favorisant la formation ou la concentration du ruissellement, l'occupation du sol, le travail cultural et des états de surface dans les différentes SUM jouent aussi un rôle non négligeable.

L'occupation du sol et l'état des surfaces sur les zones d'alimentation en eau conditionne l'aptitude d'une surface à produire du ruissellement et le volume de ce dernier. Si on compare les hivers 1993-94, 1994-95 et 1995-96 à Vierzy, les zones d'alimentation (SUM amont) étaient couvertes par des proportions voisines de céréales d'hiver (tab. I - 3 - 4 - 3 - a). Les ruissellements commencent dès octobre dans le premier cas, en janvier dans le second et ne se produisent pas dans le dernier cas. Pendant l'hiver 1993-94, les sols nus des zones d'alimentation étaient en chaumes et en chantiers de récolte, donc tassés et battants, d'où les très volumineux ruissellements. En janvier 1994-95, les zones d'alimentation étaient en blé d'hiver, semé dès octobre, battants (sur la tête du BVEC et les zones amont), d'où un ruissellement plus tardif (pour des pluies équivalentes). En 1995-96, les blés d'hiver sont implantés plus tardivement (en novembre, donc moins battant en décembre) ; les sols nus correspondent davantage à des déchaumages et des labours (pour des pluies moins importantes que les deux hivers précédents mais non négligeables). On n'observe pas de traces de ruissellement.

Quant à l'occupation du sol des zones de concentration (SUM aval), et plus précisément du talweg, elle conditionne l'intensité des incisions. C'est le cas par exemple des chaumes laissés dans le talweg du BVEC de Vierzy qui limitent pour des ruissellements modérés l'incision hivernale du talweg.

Par ailleurs, le sens du travail du sol, facteur quasi permanent, est globalement défavorable à la concentration des écoulements, que ce soit sur les SUM amont ou aval, à Vierzy. Par contre à Erlon, la presque totalité des SUM aval (tab. I - 3 - 4 - 3 - b) est cultivée dans le sens de la plus forte pente et donc particulièrement favorable à la concentration des eaux dans le talweg.

Enfin, les états de surface sur les unes ou les autres de ces zones ont probablement un effet sur les fournitures en MES au printemps et en été. On a constaté que la corrélation débit/concentration en MES varie en fonction des saisons, c'est-à-dire en rapport avec les états de surface. Il serait souhaitable de confronter les quelques exemples actuels, peu nombreux, avec ceux à venir.

Le rôle des SUM est très probable à Vierzy où chacune couvre des superficies notables. Par contre à Erlon, les SUM amont étant quasi inexistantes, le fonctionnement du BVEC résulte presque uniquement de l'état des SUM aval. Par ailleurs, compte tenu de l'hétérogénéité spatiale des pluies signalée auparavant (2ème Partie, II - 1 - 1 - 2), il serait possible de détailler davantage l'impact de la répartition des pluies sur les SUM amont.

Tableau I - 3 - 4 - 3 - a : Surfaces (en %) de sols nus dans chaque SUM pendant deux hivers à Vierzy

Zone	Localisation	Vierzy		
		Surface en sols nus hiver 1993-94 en %	Surface en sols nus hiver 1994-95 en %	Surface en sols nus hiver 1995-96 en %
1a	tête amont	100	0	100
1b	tête aval	100	0	100
2a	versant 1 amont	58	42	62
2b	versant 1 aval	24	59	41
3a	versant 2 amont	54	46	6
3b	versant 2 aval	47	100	0
4	talweg	72	38	72
	moyenne pondérée	49,9 %	51,9 %	50,9 %

Tableau I - 3 - 4 - 3 - b : Surfaces (en %) cultivées dans le sens de la plus forte pente dans chaque SUM sur les deux BVEC

Zone	Localisation	Erlon	Vierzy
		Surfaces cultivées dans le sens de la plus forte pente en %	Surfaces cultivées dans le sens de la plus forte pente en %
1a	tête amont	2,6	100
1b	tête aval	17,1	100
2a	versant 1 amont	100	57
2b	versant 1 aval	100	0
3a	versant 2 amont	100	18
3b	versant 2 aval	100	0
4	talweg	-	-
	moyenne pondérée	79,7 %	35,9 %

I - 4 - Sorties du bassin : les flux solides annuels

I - 4 - 1 - Un bilan sur trois ans

Etablir un bilan annuel présente certaines difficultés.

Tout d'abord parce qu'il n'y a pas prélèvement lors des petits et moyens écoulements. Toutefois, compte tenu des résultats précédents, on peut évaluer les pertes en MES lors de ces petits et moyens ruissellements. En effet, on a pu constater que pour des débits inférieurs à 1 000 l/mn, les concentrations en MES étaient à peu de chose près constantes et faibles (sauf en cas de fort pics d'intensité). C'est donc la corrélation débits/concentrations en MES établie pour ces faibles Qi qu'on va utiliser.

Par ailleurs, le 20 décembre 1993 à Erlon, date d'un important ruissellement, la station "en panne" n'a pas prélevé. Pour ce ruissellement une évaluation des sorties en MES est aussi possible. Cette fois-ci, on utilise la relation débits/concentrations en MES établie le 19 décembre 1993. Elle paraît refléter le mieux l'état des sols à la date du 20 décembre.

Les résultats résultent donc d'estimations, mais ils donnent toutefois un ordre de grandeur.

Tableau I - 4 - 1 - a : Bilan des sorties solides à Erlon

	Pluie tombée en m ³ /ha (m ³ pour 18 ha)	Volume ruisselé en m ³ /ha (m ³ pour 18 ha)	Rapport volume ruisselé et pluie tombée en %	MES exportées en kg/ha (kg pour 18 ha)
1993	6 937 (124 866)	98 (1 762)	1,41 %	205 (3 695) (*)
1994	6 801 (122 418)	38 (677)	0,55 %	58 (1 039) (**)
1995	7 355 (132 390)	140 (2 515)	1,90 %	20 233 (364 223) (***)

(*) Le total a été évalué de la façon suivante :

Evaluation des exportations pour les ruissellements avec prélèvements, soit 606 m³ : 992 kg (somme du tab. I - 1 - 2 - a), soit **27 % des exportations totales.**

Estimation des exportations en MES pour le ruissellement du 20 décembre 1993, soit 860 m³ : 2 260 kg, soit **61 % des exportations totales.**

Estimation des exportations en MES pour les petits ruissellements de 1993, soit 295 m³ : 443 kg, soit **12 % des exportations totales.**

(**) Le total a été évalué de la façon suivante :

Evaluation des exportations pour les ruissellements avec prélèvements, soit 602,5 m³ : 928 kg (somme du tab. I - 1 - 2 - a), soit **81 % des exportations totales.**

Estimation des exportations en MES pour les petits ruissellements de 1994, soit 74 m³ : 111 kg, soit **19 % des exportations totales.**

(***) Le total a été évalué de la façon suivante :

Evaluation des exportations pour les ruissellements avec prélèvements, soit 2 500 m³ : 364 200 kg (orage d'août 1995, tab. I - 1 - 2 - a), soit **99,99 % des exportations totales.**

Estimation des exportations en MES pour les petits ruissellements de 1995, soit 15 m³ : 22,5 kg, négligeable, soit **0,01 % des exportations totales.**

Tableau I - 4 - 1 - b : Bilan des sorties solides à Vierzy

	Pluie tombée en m ³ /ha (m ³ pour 188 ha)	Volume ruisselé en m ³ /ha (m ³ pour 188 ha)	Rapport volume ruisselé et pluie tombée en %	MES exportées en kg/ha (kg pour 188 ha)
1993	6 549 (1 178 820)	9 (1 649)	0,13 %	7 (1 306) (*)
1994	5 990 (1 078 200)	< 1 (64,7)	0,01 %	< 1 (77) (**)
1995	7 325 (1 318 500)	>> 1 (>> 20)	-	- (***)

(*) Le total a été évalué de la façon suivante :

Evaluation des exportations pour les ruissellements avec prélèvements : 1 183 kg (tab. I - 1 - 2 - b), soit 91 % des exportations totales.

Estimation des exportations en MES pour les petits ruissellements de 1993, soit 82 m³ : 123 kg, soit 9 % des exportations totales.

(**) Le total a été évalué de la façon suivante :

Evaluation des exportations pour les ruissellements avec prélèvements : 77 kg (tab. I - 1 - 2 - b) , soit 100 % des exportations totales.

Pas de petit ruissellement en 1994

(***) Pas d'évaluation possible, aucun prélèvement au cours du très gros ruissellement de juillet 1995, probablement plusieurs centaines de tonnes

Ce bilan annuel à Erlon et à Vierzy montre une très importante variabilité inter-annuelle. Par ailleurs, quelque soit les années, les pertes spécifiques (par hectare) sont nettement supérieures à Erlon. Enfin, seul les gros orages entraînent des pertes en terre notable à l'hectare.

I - 4 - 2 - Nature des MES : des pertes en matières organiques et en éléments très fins

I - 4 - 2 - 1 - Les matières organiques

Les MES exportées sont parfois constituées d'une forte fraction de matières organiques (MO) indispensables à la fertilité et la stabilité des sols (forte réaction à l'eau oxygénée). Quelques dosages ont donc été réalisés, mais les résultats sont à considérer avec précaution. D'une part, l'eau oxygénée utilisée pour détruire les MO laisse un résidu dont le poids est difficile à évaluer car variable dans le temps (absorbe l'humidité) et, d'autre part, les quantités de MO considérées sont extrêmement faibles. C'est pourquoi pour un grand nombre de ruissellements, la marge d'erreur pouvant s'élever jusqu'à 30 % (G. Chêne, comm. orale 1994), aucun résultat n'a été avancé.

Tableau I - 4 - 2 - 1 - a : Récapitulation des pertes en MES et en MO

Dates	V total en m ³	Qi max en l/mn	MES min en %	MES max en %	MES total en kg	MO min en %	MO max en %	MO total en kg
15-Oct-93 à Vierzy	142,7	700	0,0608	0,086	100	0,0050	0,0412	29
10-Nov-93 à Erlon	57	1 200	0,0606	0,699	93	0,0288	0,0753	22
10-Dec-93 à Erlon	407	2 000	0,111	0,318	209	0,0202	0,1891	87
17-Dec-93 à Erlon	142	585	0,0261	0,14	90	0,0069	0,0416	40
19-Dec-93 à Erlon	190	2 150	0,0458	0,51	600	0,0123	0,0678	85
20-Dec-93 à Vierzy	1424,6	6300	0,02	0,18	1083	-	-	-
03-Janv-94 à Vierzy	64,7	960	0,11	0,14	77	0,0216	0,0429	19
04-Janv-94 à Erlon	68	1 250	0,09	0,09	36	-	-	-
16-Janv-94 à Erlon	408	985	0,065	0,14	469	-	-	-
27-Janv-94 à Erlon	430	1 400	0,12	0,33	387	-	-	-
04-Avr-94 à Erlon	2,5	14	0,086	0,19	3	-	-	-
24-Mai-94 à Erlon	13	900	1,92	6,05	500	-	-	-
25-Janv-95 à Vierzy	20,9	306	0,11	0,14	245	-	-	-
6-7-Août-95 à Erlon	2 500	40 000	0,5	26	364 200	0,0 19	0,442	# 8 100

Au cours des ruissellements hivernaux, les pertes totales en MO peuvent représenter entre 15 et 45 % des MES. Toutefois, comme, pour les MES, le flux total reste modeste. En revanche, les exportations sont considérables en août (8 100 kg, soit 450 kg/ha, la station étant alimentée par 18 ha, voir 2ème Partie, II - 2 - 2 - 4). Pourtant, les pertes en MO ne représentent alors que 2,2 % de celles en MES, au cours de cet écoulement.

Au cours d'un ruissellement, l'évolution des concentrations en MO suit sensiblement celle des teneurs en MES (fig. I - 4 - 2 - 1 - a ci-après et annexe 17). Mais la proportion de MO est très variable (tab. I - 4 - 2 - 1 - b ci-après). Elle est assez faible en août (faible proportion, mais très forte exportation totale), mais peu représenter la majeure partie des MES en hiver. On peut toutefois signaler que les pourcentages ne dépassent pas 0,2 % du flot, et que les valeurs oscillent fréquemment autour de 0,02 %. Il semble même que cette valeur moyenne diminue de novembre à décembre 1993 à Erlon.

Figure I - 4 - 2 - 1 - a : Pertes en MO, une évolution sensiblement identique à celle en MES

Exemple du 10 novembre 1993 à Erlon.

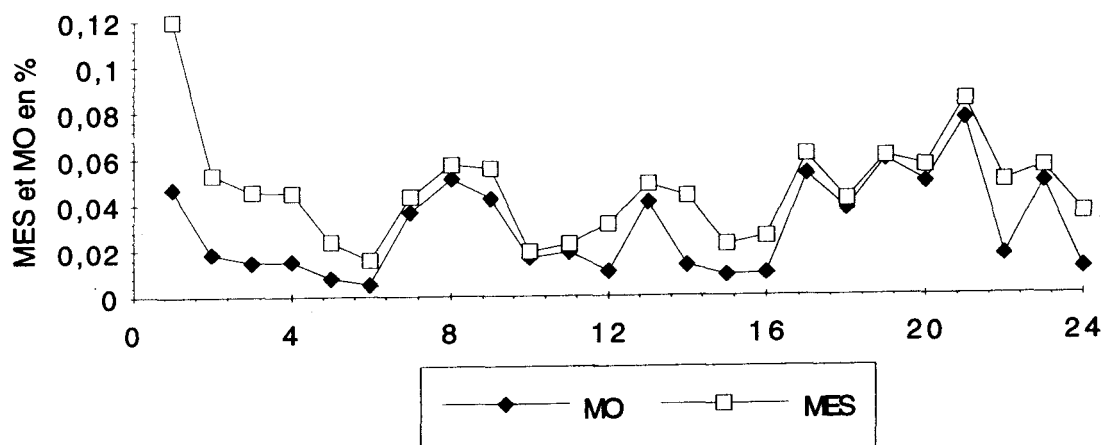


Tableau I - 4 - 2 - 1 - b : Proportion de MO dans les MES

Dates	MO / MES en %
15-Oct-93 à Vierzy	8 à 60
3-Janv-94 à Vierzy	18 à 39
10-Nov-93 à Erlon	30 à 90
10-Dec-93 à Erlon	10 à 75
16-17-Dec-93 à Erlon	10 à 80
19-Dec-93 à Erlon	10 à 75
6-7-Aoû-95 à Erlon	1,7 à 3,8

I - 4 - 2 - 2 - Les éléments fins

Après les faibles et moyens ruissellements hivernaux, que ce soit à Erlon ou à Vierzy, on n'observe que très peu de terre décantée dans les cuves de mesure. Par contre, après les écoulements printaniers et estivaux et les forts ruissellements hivernaux, les dépôts sont importants et remplissent les cuves. Uniquement composés d'éléments fins à Vierzy, ils sont en plus constitués de silex à Erlon. Dans la cuve, les dépôts sont triés : au fond on retrouve les silex, puis en surface les particules plus fines. Les silex ont essentiellement été observés lors du ruissellement du 20-21 décembre 1993 (répartis sur l'ensemble de la cuve, ils représentaient environ 50 % du volume). Par contre en août 1995, on en observe peu dans le dépôt (moins de 10 % du volume). Leur déplacement apparaît beaucoup plus limité en présence de couvert végétal. Entraînés avec la masse boueuse, ils jouent probablement un rôle dans l'incision des sols nus. Il faut toutefois un débit maximum important pour les mettre en mouvement et dans tous les cas, ils sont rapidement redéposés.

En ce qui concerne les matières érodées, trois types ont été observés : celles, déposées dans les traces de roues du aweg, celles déplacées en fond de coulée et décantées dans les cuves de mesure et celles en suspension prélevées par l'échantillonneur. Quelques granulométries ont été réalisées sur chacune. Pour les MES des ruissellements, les quantités de sédiments restant après évaporation de l'eau étant le plus souvent faibles, seuls les échantillons du ruissellement des 6-7 août 1995 ont fait l'objet de granulométries.

Les sédiments les plus fins sont ceux déposés dans les talwegs. Il s'agit essentiellement de limons fins que le ruissellement, pas assez puissant, n'a pas pu entraîné jusqu'à l'exutoire (tab. I - 4 - 2 - 2 - a). Les MES qui se déposent dans la cuve de mesure ou qui transitent à l'exutoire ne présentent pas de différence de granulométrie, ce sont des limons moyens et des limons fins. On n'observe pas de distinction entre Erlon et Vierzy ; ce qui tend à confirmer que les conditions de prise en charge sont bien les mêmes sur les deux sites, c'est-à-dire en fonction du débit.

Tableau I - 4 - 2 - 2 - a : Résultats de quelques granulométries

	cuve 24 mai 1994 à Erlon	talweg 24 mai 1994 à Erlon	cuve 6-7 août 1995 à Erlon	cuve 3 janvier 1994 à Vierzy	talweg 31 mai 1995 à Erlon	talweg 31 mai 1995 à Erlon
diamètre médian	16,27	7,22	16,48	19,17	8,88	9,67
diamètre à 10 %	1,71	1,30	1,88	2,09	1,44	1,43
diamètre à 90 %	49,28	20,18	44,02	43,50	24,48	28,81

	ruissellement 6-7 août 1995 à Erlon n°1	ruissellement 6-7 août 1995 à Erlon n°3	ruissellement 6-7 août 1995 à Erlon n°15	ruissellement 6-7 août 1995 à Erlon n°18	ruissellement 6-7 août 1995 à Erlon n°21	ruissellement 6-7 août 1995 à Erlon n°24
diamètre médian	11,49	13,99	15,22	26,67	15,78	20,17
diamètre à 10 %	1,41	1,58	1,98	3,28	1,80	2,38
diamètre à 90 %	38,94	38,18	36,19	54,78	38,43	41,41

Nota bene : Les résultats bruts des granulométries sont présentés en annexe 18.

Les granulométries sont effectuées après destruction des MO (eau oxygénée), des carbonates (HCl) et des agrégats (10 mn d'ultrasons). Elles sont réalisées par la CILAS, Compagnie Industrielle de LASer. Le diamètre minimum mesuré est de 0,04 µm.

I - 4 - 3 - Conséquences des pertes solides

I - 4 - 3 - 1 - A terme une baisse de la fertilité ?

Le rôle des MO et des limons sur la fertilité des sols n'est plus à démontrer. Les MO interviennent sur la qualité et la stabilité des sols. Les sols des bassins versants, comme ceux de l'ensemble de la région, ne sont déjà pas très riches en MO : sur les différentes parcelles les teneurs dans les sols oscillent entre 14 et 16 ‰ à Vierzy et 15 à 17 ‰ à Erlon (d'après les analyses réalisées au cours de l'hiver 1993-94 et les archives des agriculteurs). Ces teneurs se maintiennent depuis quelques dizaines d'années comme le montre les archives de J. C. Doncoeur. Les fumures de fond comme les vinasses et les résidus de récoltes contribuent à ce maintien, mais dans l'ensemble, on peut considérer que les sols sont pauvres en MO. Si les pertes hivernales par ruissellement sont faibles (forte proportion MO/MES lié à la faible densité des MO, mais petit flux total), les pertes lors de très gros orages apparaissent énormes (en relation avec des flux de MES exceptionnels). C'est contre ces dernières qu'il faudrait lutter^(*). A Erlon, par exemple, il serait souhaitable de stabiliser les versants afin de réduire les départs de limons et de limiter les zones où la craie affleure. Sinon, à terme, on risque des difficultés de travail du sol et une baisse des rendements.

I - 4 - 3 - 2 - Un amincissement de la couche de terre arable

Ce sont les gros orages qui ont les plus graves conséquences, puisqu'ils entraînent une perte de terre arable de plusieurs millimètres (tab. ci-après) qui se traduit par un amincissement de la couche fertile. Ce problème est d'autant plus accru à Erlon où les sols des versants sont peu épais et où la craie n'est qu'à 30 cm par endroits. Rappelons que dans nos régions, on estime qu'un sol de 1,30 m peut se former en 12 000 ans (REVEL, 1993).

Tableau I - 4 - 3 - a : Estimation de la couche arable perdue d'après les quantités de terre transitées à l'exutoire

		Perte en kg/ha	Perte en mm (*)
Erlon			
	1993	205	0,0128
	1994	58	0,0036
	1995	20 233	1,265
Vierzy			
	1993	7	0,00044
	1994	< 1	< 0,00006
	1995	-	-

(*) Les densités mesurées sur le site varient entre 1,5 à 1,66 g/cm³, on adopte la valeur de 1,6 g/cm³.

Exemple de calcul à Erlon en 1993 avec une estimation de 205 kg/ha :

soit $(205 \times 1\ 000\ \text{g}) / 1,6 = 128\ 000\ \text{cm}^3/\text{ha}$, soit $128\ 000 \times 0,000001 / 10\ 000\ \text{m}^2 = 1,28 \times 10^{-5}\ \text{m} = 0,0128\ \text{m}$

(*) D'ailleurs, elles expliquent peut-être les très faibles teneurs dans les sols. En effet, le système d'exploitation actuel des sols (résidus de récoltes et vinasses ou autres amendements organiques) ne permet pas d'expliquer les faibles valeurs de MO. Des orages successifs et très érosifs ont pu provoquer un déséquilibre du bilan humique, qui aujourd'hui reste équilibré mais à un faible niveau.

Sur les trois années d'étude, le "taux d'érosion maximum compatible" américain (4,5 à 11,2 t/ha/an selon les sols), perte limite que l'on peut accepter sous peine de dégrader le sol de façon irréversible (NEBOIT, 1983) est atteint. Certes, les gros orages ne se produisent pas fréquemment : à Erlon, les derniers ont eu lieu en 1958, 1983, 1992 et 1995. Ce qui ramène le taux d'érosion à une valeur beaucoup plus acceptable. Toutefois, les mouvements sur versants, qui ne sont pas pris en compte par les flux totaux, mais mis en évidence par les analyses de CS-137 sont considérables et ne dépendent pas uniquement des orages à très fortes intensités. Des orages modestes, ainsi que le travail du sol par l'agriculteur, occasionnent aussi d'importants déplacements sur versants. Ces migrations provoquent un profond remaniement de l'épaisseur cultivable par amincissement des sols des versants. Par ailleurs, elles ont pour conséquence un enrichissement des talwegs en limons, limons qui constituent des colluvions très sensibles à l'incision, donc facilement érodables. Ainsi les dépôts dans les talwegs ne constituent qu'une décantation temporaire avant une reprise, en particulier hivernale.

I - 5 - Conclusion

*** Une concentration en MES en relation avec le débit, l'intensité des pluies et les états de surface**

A Vierzy comme à Erlon, pour des ruissellements hivernaux, **la charge en MES**, quoique réduite (0,06 à 0,14 %), **est en étroite relation soit avec l'intensité des pluies, soit avec l'amplitude des débits.**

La charge en MES, qui est relativement constante pour les faibles débits (0,05-0,07 %), peut dépasser 0,1 % dans deux cas :

- pour un ruissellement dont le débit maximum est inférieur à 1 000 l/mn, mais qui est accompagné de pics d'intensités pluviométriques répétés supérieurs à 10 mm/h à Erlon et 24 mm/h à Vierzy (ce ruissellement se caractérise aussi par des temps de réponse et de concentration plus courts) ;
- pour un ruissellement dont le débit dépasse 1 000 l/mn (dans ce cas, les concentrations en MES suivent sensiblement la même évolution que le débit).

La corrélation débits et MES n'est pas toujours évidente, en particulier en ce qui concerne les premiers ruissellements d'une série de plusieurs. **Elle s'améliore au cours des ruissellements successifs. Elle est très bonne pour les ruissellements courts et associés à de fortes intensités.**

Les imperfections de cette corrélation sont parfois liées à **un transfert des MES légèrement retardé par rapport aux débits (10 à 20 mn)**. Mais si on recale dans le temps les deux données, la corrélation s'améliore nettement, ce qui montre que les débits jouent un rôle important dans la prise en charge de MES, même si celles-ci se déplacent plus lentement, peut être sous forme de charge de fond.

* Une charge en MES qui dépend aussi des pluies antérieures et des textures de surface

Les premiers échantillons prélevés sont parfois caractérisés par des concentrations en MES plus élevées (0,6-0,8 contre 0,06-0,7) et non en relation avec les débits et les intensités. Il s'agit de **reprises de dépôts antérieurs de sédiments**. En hiver, cette remise en charge concerne presque uniquement les premiers ruissellements d'une série de plusieurs. Elle est **particulièrement importante en été (Erlon les 6-7 août 1995)**, où les averses antérieures et les états de surface ont largement contribué à des déplacements de particules et à la formation de croûtes sédimentaires dans les traces de roue et les talwegs.

Dans certains cas de **ruissellements longs**, pour des débits identiques, **la charge en MES est plus forte pendant la phase de décrue que pendant la phase de formation du ruissellement**, indiquant une sensibilisation des sols par le ruissellement à l'entraînement de sédiments. L'observation du phénomène inverse sur des sols plus limoneux (c'est-à-dire une charge en MES supérieure pendant la phase de formation du ruissellement que pendant la phase de décrue, sur le site de Blossville en Pays de Caux) laisse à penser que **la texture de surface peut être le facteur explicatif**, un sol plus argileux se déstructurant moins vite. La morphologie ne semble pas intervenir puisque les deux sites, Erlon et Vierzy, se comportent de façon semblable.

Au cours d'un même ruissellement, **un second pic de débit entraîne, proportionnellement au premier, une plus forte charge en MES**. C'est le cas le 20 décembre 1993 à Vierzy et les 6-7 août 1995 à Erlon. Il s'agit probablement de la conséquence de la **sensibilisation du sol lors du premier ruissellement**.

* Des déplacements considérables sur versants, Erlon

Malgré un nombre restreint d'observations, **la comparaison du dimensionnement des rigoles et des sorties à l'exutoire tend à confirmer que l'érosion hivernale affecte essentiellement les talwegs, alors que l'érosion de printemps et d'été concerne surtout les versants**. Toutefois à Erlon, une érosion prononcée du talweg principal ne se produit que pour des débits maxima élevés, c'est-à-dire supérieurs à quelques 6 000 l/mn (20-21 décembre 1993 ou 6-7 août 1995). Quant à l'érosion des versants, elle est très importante au cours des ruissellements consécutifs à des averses orageuses. On l'a constaté suite à l'orage des 6-7 août 1995 : les sorties mesurées à l'exutoire avoisinaient 350 t, alors que les volumes des rigoles et des ravines ne correspondaient qu'à une vingtaine de tonnes. **Ces très fortes pertes sur versants sont accentuées par le travail du sol par l'agriculteur** : les labours déplacent d'importantes quantités de terre des versants vers le talweg. Ce constat visuel explique en grande partie les valeurs élevées d'ablation sur versant données par les analyses de Cs-137 : 18 t/ha/an.

* Une forte sensibilité à l'incision des talwegs, Vierzy

Si **l'incision du talweg** en hiver reste rare à Erlon, elle est **beaucoup plus "fréquente" à Vierzy**. En effet, sur ce site, **elle apparaît pour des débits maxima relativement faibles** (300 l/mn le 25 janvier 1995). **Toutefois, elle reste assez rare, car les ruissellements sont peu nombreux à Vierzy.**

Cette sensibilité à l'incision du talweg principal est à mettre en relation avec **la présence de colluvions limoneuses sensibles à l'incision**, ainsi qu'avec **les importantes surfaces d'alimentation en eau** (SUM amont). **Sur ces zones d'alimentation en eau de ruissellement, les pentes sont faibles et l'érosion est très modérée** comme en témoignent les résultats de Cs-137. Les valeurs données sont de quelques tonnes à l'hectare. Par contre, les limons moyens et argileux, fortement et moyennement susceptibles d'émettre du ruissellement, y sont très présents.

* Une forte variabilité interannuelle de l'érosion et conséquences

L'érosion "chronique" consécutive à des pluies hivernales ou de petites averses orageuses reste modeste. Par contre, **les gros orages** (une centaine de millimètres en une à deux heures) **entraînent, à eux seuls, des pertes en terre qui avoisinent le seuil de tolérance américain** de 4 à 11 t/ha/an. Les pertes observées au cours de l'orage des 6-7 août 1995 approchent des 20 t/ha, alors qu'elles ne dépassent pas quelques centaines de kilogrammes les années sans orages.

Si ce constat s'applique aux deux sites, on note toutefois que **l'érosion annuelle** (pour des années sans gros orages^(*)) **est toujours supérieure à Erlon. Ce qui s'explique par la plus grande fréquence des ruissellements**, en relation avec les caractéristiques morphopédologiques du site et une relation débit/concentration en MES toujours supérieure à Erlon.

Les MES exportées sont en grande partie constituées d'éléments fins (diamètres médians 15 à 20 µm), **mais aussi de MO**. Comme pour les MES, **les pertes en MO restent modestes en hiver, mais deviennent importantes au cours des gros orages**. Ainsi, les 6-7 août 1995 près de 8 tonnes de MO ont été exportées du bassin versant. **Pourtant au cours de ce ruissellement, la fraction de MO présente dans les MES était faible** : entre 1,7 à 3,8 % de la charge solide. **En hiver, la part de MO est plus importante et très variable** (8 à 90 % de la charge en MES). Elle tendrait à diminuer au cours de l'avancement de la saison. **Toutefois, en hiver, les pertes totales restent très faibles, en relation avec les petites charge en MES** (20 à 40 kg par ruissellement).

Ainsi à Erlon comme à Vierzy, les risques d'érosion sont associés aux gros orages. **Ce risque est accru à Erlon, où les pentes sont fortes, les sols peu épais et le travail du sol facteur aggravant.** L'amincissement de la couche arable sur les versants peut entraîner l'apparition de plus en plus importante de la craie, et donc une **baisse des rendements et des difficultés à travailler le sol.**

(*) On ne peut comparer les pertes de terre consécutives à un gros orage puisqu'aucun relevé n'a été fait à Vierzy en juillet 1995).

Tableau II - 1 - 1 - b : Liste des produits phytosanitaires retrouvés dans les eaux de ruissellement

Date du ruissellement	Matière active	Culture concernée	Action biologique
24 mai 1994 à Erlon	Gamma HCH (lindane)	maïs	insecticide
24 mai 1994 à Erlon	Atrazine	maïs	herbicide
24 mai 1994 à Erlon	Métamitron	betterave	herbicide
24 mai 1994 à Erlon	Isoproturon	céréale	herbicide
24 mai 1994 à Erlon	Chloridazone	betterave	herbicide
11 juillet 1995 à Vierzy	Métamitron	betterave	herbicide
11 juillet 1995 à Vierzy	Isoproturon	betterave	herbicide
11 juillet 1995 à Vierzy	2,4 mcpa	céréale	herbicide
11 juillet 1995 à Vierzy	Endosulfan	pomme de terre	insecticide
6-7 août 1995 à Erlon	Gamma HCH (lindane)	maïs	insecticide
6-7 août 1995 à Erlon	Atrazine	maïs	herbicide
6-7 août 1995 à Erlon	Iprodione	haricot	fongicide
6-7 août 1995 à Erlon	2,4 mcpa	céréale	herbicide
6-7 août 1995 à Erlon	Deltaméthrine	pois	insecticide

II - Le ruissellement et l'érosion, une menace pour la qualité des eaux de surface

II - 1 - Nature et concentrations des polluants dans les eaux de ruissellement

II - 1 - 1 - Nature des polluants recherchés, rappels

Les diverses analyses ont essentiellement portées sur 4 ruissellements, ce qui est malheureusement très faible. Deux sont très courts et deux sont longs (tab. II - 1 - 1 - a ci-dessous).

Tableau II - 1 - 1 - a : Rappels des principales caractéristiques des ruissellements étudiés

	Erlon 24-Mai-94	Vierzy 25-Jan-95	Vierzy (*) 11-Jul-95	Erlon 6-7-Août-95
Pluie journalière en mm.	8,7	20,6	45,8	102,5
Pluie cumulée sur 8 jours en mm.	22,6	55,6	0,6	0
Intensité maximum pendant 1 mn en mm/h	24	48	108	210
Intensité maximum pendant 10 mn en mm/h	10,8	32	64	165
Intensité maximum pendant 1 h en mm/h	4,4	9,95	48	86,5
Débit instantané maximum en l/mn	901	359	>> 33 000	39 000
Débit instantané maximum incertitude en l/mn	50	10	-	2 000
Volume écoulé en l	12 300	20 900	>> 200 000	2 550 000
Volume écoulé incertitude en l	100	1 000	-	50 000
Temps de réponse en mn	58	174	53	56
Temps de concentration en mn	38	16	53	20
Durée du ruissellement en mn	251	234	-	1 252

(*) station de mesure détruite par la coulée boueuse, uniquement des prélèvements manuels.

Les analyses ont été ciblées les fertilisants régulièrement utilisés par les agriculteurs : azote et phosphore. Les diverses formes dosées sont : l'ammonium, les nitrates, l'azote total fixé et l'azote total soluble, les orthophosphates, le phosphore total fixé et le phosphore total soluble. En ce qui concerne les produits phytosanitaires recherchés, la liste est présentée dans le tableau II - 1 - 1 (page de gauche). Comme pour le phosphore et l'azote, ils sont recherchés sous forme soluble et fixée. Aucune mesure de métaux lourds n'a été réalisée. Outre les analyses coûteuses, l'absence d'amendements en contenant a été un facteur décisif.

II - 1 - 2 - Apports négligeables en N et P des eaux de pluie

Les substances véhiculées par l'atmosphère provenant des océans, des volcans, de l'érosion éolienne et des rejets industriels peuvent être entraînées et redéposées au sol par les pluies. La minéralisation des eaux de pluie est en général en étroite relation avec la distance avec les sources. Les concentrations en chlorures de sodium, par exemple, diminuent d'Ouest en Est à mesure que l'on s'éloigne de l'océan.

Lors de la période d'étude quelques échantillons d'eau de pluie ont été prélevés à la station de recherche de Cessières (directement à la station pour assurer un prélèvement immédiat) afin d'évaluer l'ordre de grandeur des apports atmosphériques. En effet, les apports en N et en P d'origine atmosphérique ne sont pas nuls, mais ils ne sont pas non plus élevés, surtout si on les compare à ceux d'origine humaine. De plus, la région n'est pas caractérisée par une abondante présence industrielle, possible source d'apport.

Dans la zone d'étude, la minéralisation des eaux de pluie est faible ($< 30 \mu\text{S/cm}$, sauf pour un échantillon) et le pH est légèrement acide (tab. II - 1 - 2 - a).

Tableau II - 1 - 2 - a : Résultats des analyses dans les eaux de pluie

Lieu de prélèvement	Cessières	Cessières	Cessières	Cessières	Cessières
date	24-Mai-94	19-Nov-94	15-Déc-94	24-Jan-95	12-Fév-95
pH	5,3	-	-	-	-
Conductivité $\mu\text{S/cm } 25^\circ$	29	71,1	5,7	17	25
N total mgN/l	7,00	0,67	0,91	1,20	0,71
P total mgP/l	0,022	0,021	0,010	0,032	0,004
P ortho mgP/l	0,009	0,016	0,003	0,030	0,003
NH ₄ ⁺ mgN/l	0,50	0,028	0,032	0,056	0,166
NO ₃ ⁻ mgN/l	0,66	0,26	0,40	0,14	0,39
Cl ⁻ mg/l	1,9	0,71	2,3	1,1	2,7
(NO ₃ +NH ₄)/Ntotal	0,17	0,43	0,47	0,16	0,78
Portho/Ptotal	0,41	0,76	0,30	0,94	0,75
Ntotal/Ptotal	318	32	91	38	178
NO ₃ /NH ₄	1,3	9,3	12,5	2,5	2,3

Les concentrations relevées dans les eaux de pluie sont peu élevées (à l'exception de l'échantillon du 24 mai 1994 qui semble pollué en N) et assez variables selon la date du prélèvement. Les apports totaux peuvent ainsi être considérés comme négligeables. En effet, une pluie de 10 mm peut apporter entre 0,067 et 0,7 kg d'azote par hectare (tab. II - 1 - 2 - b). Ou encore, 4,69 à 49 kg^(*) d'azote par hectare et par an sur la base d'une pluie annuelle de 700 mm (pour une culture de blé, l'apport d'azote peut varier de 180 à 220 kg par hectare). Ou encore, 93,8 à 980 kg d'azote par an sur un bassin versant de 20 ha sur la base d'une pluie annuelle de 700 mm. Pour le phosphore total, ces quantités sont beaucoup plus faibles (0,0004 à 0,0032 kg de phosphore par hectare pour une pluie de 10 mm et 0,56 à 4,48 kg de phosphore par hectare et par an).

(*) Ces 49 kgN/ha/an correspondent à l'apport de l'échantillon du 24 mai 1994, vraisemblablement pollué, soit par une déjection d'oiseaux, soit par un insecte ou encore par les retombées d'un épandage d'engrais.

Des analyses complémentaires pourraient apporter des informations supplémentaires sur la variabilité des apports été/hiver, ou sur le rôle des premières pluies ("lavage" de l'air). Ici, les apports sont liés à une zone essentiellement agricole non polluée par des activités urbaines ou industrielles, et ils restent négligeables par rapport à ceux enregistrés sur d'autres sites.

Tableau II - 1 - 2 - b : Estimations des quantités minimales et maximales apportées par mm d'eau de pluie et par hectare d'après les valeurs mesurées ci-dessus.

	kg/mm/ha mini	kg/mm/ha maxi	kg/an/ha mini	kg/an/ha maxi	kg/an/BV 20 ha mini	kg/an/BV 20 ha maxi
N total mgN/mm/ha	0,0067	0,07	4,69	49	93,8	980
P total mgP/mm/ha	0,00004	0,00032	0,028	0,224	0,56	4,48
P ortho mgP/mm/ha	0,00003	0,0003	0,021	0,21	0,42	4,2
NH4+ mgN/mm/ha	0,00028	0,0005	0,196	0,35	3,92	7
NO3- mgN/mm/ha	0,0014	0,0066	0,98	4,62	19,6	92,4
Cl- mg/mm/ha	0,0071	0,027	4,97	18,9	99,4	378

A titre d'exemple, les apports atmosphériques sur le lac Léman ont été estimés à 1 324 mg N/m² d'azote, 136 mg N/m² pour le phosphore total et 73 mg N/m² pour les ortho-phosphates pour l'année 1991. Soit 13,24 kg d'azote par hectare et par an, 1,36 kg de phosphore total par hectare et par an et 0,73 kg d'ortho-phosphates par hectare et par an. De plus, la variation mensuelle de ces apports est importante puisque l'on note des pointes en mars/avril et en octobre/novembre (10,9 mgN/m² en décembre et 226 mgN/m² en octobre). Enfin, on observe une grande divergence de résultats entre les stations. Au total, on estime à 685 t d'azote minéral, 49 t de phosphore total, et 304 t de chlorures les apports pour 1991. Toutefois, les résultats sont, d'après l'auteur, surévalués de 5 à 10 fois : pour remédier à cet inconvénient, il faudrait prélever loin des rives (BLANC, 1992).

Une autre étude, menée en Corse donne les concentrations suivantes de décembre 1982 à mars 1983 et selon les stations : 0,53 à 1,72 mg/l de nitrates, 4,8 à 5,3 mg/l de chlorures (pH 4,3 à 5,8). Bien que beaucoup de sels marins et d'acides forts (LOYE-PILOT, 1984) soient retrouvés dans les eaux de pluies, les concentrations en azote et en chlorures restent modérées.

Ainsi, les concentrations observées sur nos BVEC apparaissent la plupart du temps inférieures à celles mesurées sur d'autres sites. De plus, seule une petite fraction de ce flux peut atteindre l'exutoire en raison de l'interception par la végétation et les sols. Les sols cultivés, en relation avec leur utilisation constituent une bien plus grande source de N et P. De plus, pour l'azote, on considère souvent que les pertes par volatilisation compensent les apports atmosphériques (LHERMINIER, 1992). Du fait de ces constatations, les retombées atmosphériques en N et P ne seront pas considérés comme source d'apport pour la présente étude. Ils ne seront donc pas comptabilisés dans les bilans. On retiendra toutefois un "niveau-guide" de concentration pour une meilleure comparaison des valeurs mesurées dans les eaux de ruissellement (tab. I - 1 - 2 - c ci-après).

Tableau II - 1 - 2 - c : "Niveau-guide" retenu pour les eaux de pluie

	Ptot en mgP/l	Portho en mgP/l	Ntot EF en mgN/l	NO3 en mgN/l	NH4 en mgN/l
niveau guide eau de pluie	0,02	0,003	0,7	0,01-0,3	0,006-0,02

II - 1 - 3 - Ordre de grandeur des concentrations

A titre de comparaison avec celles des eaux de pluie citées ci-avant, les concentrations maximales en N et P relevées sont les suivantes (tab. II - 1 - 3 - a). La différence des ordres de grandeur montre bien la faiblesse des apports des eaux de pluie et la forte contribution des sols à la minéralisation des eaux de ruissellement.

Tableau II - 1 - 3 - a : Concentrations maximales en N et P dans les eaux de ruissellement

	Qi max en l/mn	MES max en g/l	Ptot max en mgP/l	Portho max en mgP/l	Ntot EF max en mgN/l	NO3 max en mgN/l	NH4 max en mgN/l
24 mai 94 à Erlon	901	60,5	22,2	0,862	20,3	13,1	3,66
25 janvier 95 à Vierzy	306	1,4	1,87	0,86	1,83	1,63	0,023
6-7 août 96 à Erlon	39 042	260	37,2	0,689	8,88	10,6	0,757

Nota bene : D'autres analyses ont été réalisées au cours de l'hiver 1993-94 à l'aide d'un colorimètre portable. Les résultats étant inférieurs à ceux cités et aussi moins précis, les valeurs n'ont pas été reportées ici, mais sont exploitées par la suite.

Comme pour les MES, on peut signaler que les concentrations en N et P mesurées à l'exutoire des bassins versants sont très élevées. Pour le phosphore total, les valeurs atteignent jusqu'à 37 mgP/l. En ce qui concerne le phosphore soluble, les concentrations relevées se situent dans la fourchette donnée par la bibliographie, mais elles sont toutefois supérieures aux valeurs les plus fréquemment citées (tab. I - 3 - 1 - b). Les concentrations en azote total, quant à elles, se situent au même niveau que les ordres de grandeur relevés dans la bibliographie (tab. I - 3 - 1 - c). Elles ne sont pas exceptionnelles.

Tableau II - 1 - 3 - b : Concentrations et exportations en N et P sur bassins versants agricoles d'après synthèse bibliographique (Dorioz, 1996)

Valeurs de concentration relevées dans la littérature en terre agricole (mg/l)

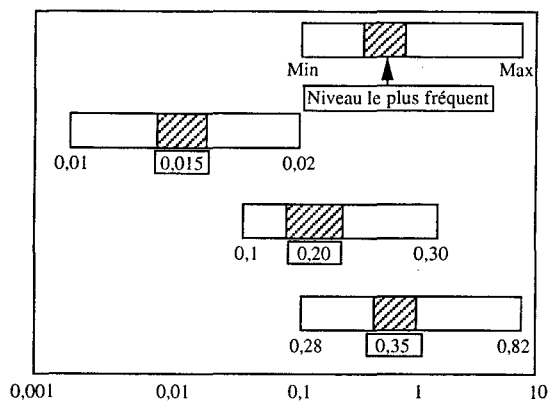
Paramètres	Fourchette	Valeurs fréquemment citées	Valeurs types retenues
P total	0,05-1,50	0,10-0,30	0,20
P soluble	0,01-0,61	0,05-0,7	0,06
N total	1,6-6,4	2,0-3,4	2,5

Valeurs d'exportation relevées dans la littérature en terre agricole (kg/ha/an)

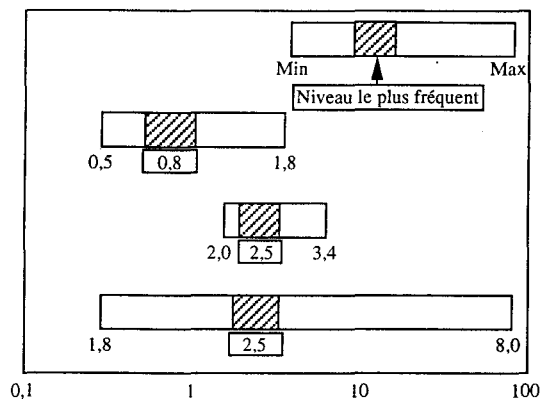
Paramètres	Fourchette	Valeurs fréquemment citées	Valeurs types retenues
P total	0,10-7,17	0,25-0,81	0,50
P soluble	0,09-4,48	0,09-0,22	0,15
N total	1,2-42,6	4,8-14,0	7,0

Tableau II - 1 - 3 - c : Concentrations et exportations en N et P en milieu urbain, forestier et agricole d'après synthèse bibliographique (Dorioz, 1996)

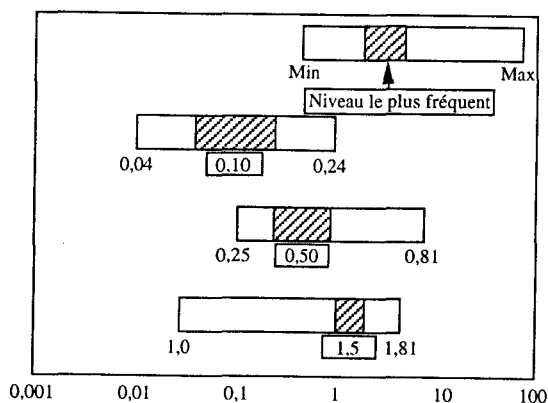
Niveau de concentration en P total (mg/l)



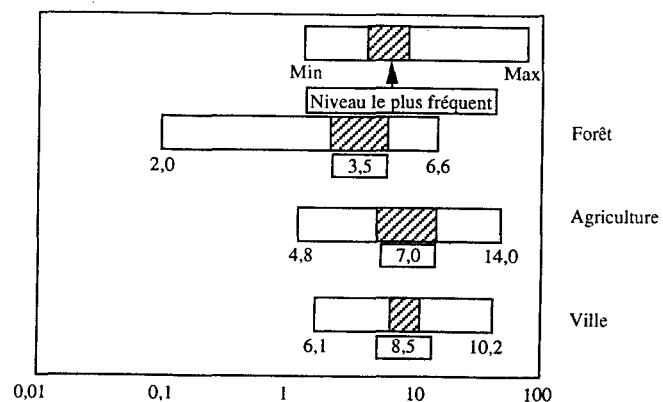
Niveau de concentration en N total (mg/l)



Niveau d'exportation en P total (kg/ha/an)



Niveau d'exportation en N total (kg/ha/an)



Pour plus de détail, la synthèse des résultats obtenus pour les différents ruissellements est présentée ci-dessous.

Tableau II - 1 - 3 - c : Valeurs moyennes, maximales et minimales pour les ruissellements étudiés

		24/05/94	25/01/95	6-7/08/95			24/05/94	25/01/95	6-7/08/95	
nb d'échantillons		4	3	24	nb d'échantillons		4	3	24	
Débits	moyenne	314	171	10 612	PO4/P fixé	moyenne	0,04	0,839	0,027	
	en l/mn					écart type	0,01	0,498	0,012	
	écart type	302	53	10 713		médiane	0,04	0,878	0,025	
	médiane	229	171	5 731		max	0,04	1,317	0,059	
	max	736	224	35 557		min	0,03	0,323	0,009	
	min	62	117	797	(NO3+NH4)/N fixé	moyenne	0,580	-	-	
MES	moyenne	34,8	1,23	63		écart type	0,118	-	-	
	en g/l					médiane	0,615	-	-	
	écart type	18,0	0,15	70		max	0,673	-	-	
	médiane	29,8	1,20	32		min	0,418	-	-	
	max	60,5	1,40	260	NO3	moyenne	12,3	1,50	2,0	
	min	19,2	1,10	50		en mgN/l	écart type	0,9	0,12	2,7
MO	moyenne	-	-	1,395		médiane	12,6	1,49	0,8	
	en g/l					max	13,1	1,63	10,6	
	écart type	-	-	0,805		min	11,0	1,39	0,01	
	médiane	-	-	1,367	NH4	moyenne	3,01	0,019	0,252	
	max	-	-	4,42		en mgN/l	écart type	0,53	0,003	0,260
	min	-	-	0,19		médiane	2,97	0,018	0,159	
conductivité	moyenne	229	159	212		max	3,66	0,023	0,920	
	en µS/cm					min	2,45	0,017	0,007	
	écart type	12	6	56	NO3/NH4	moyenne	4,22	80	28,12	
	médiane	230	160	184		écart type	0,97	18	73,48	
	max	241	165	358		médiane	4,35	83	4,24	
	min	214	153	162		max	5,18	96	355,71	
	min	214	153	162		min	3,01	60	0,07	
Pfixé	moyenne	18,4	0,970	19,5	PO4	moyenne	0,679	0,698	0,441	
	en mgP/l					en mgP/l	écart type	0,131	0,238	0,097
	écart type	2,2	0,350	8,0		médiane	0,637	0,810	0,427	
	médiane	18,1	0,980	18,2		max	0,862	0,860	0,689	
	max	21,3	1,315	36,8		min	0,579	0,425	0,277	
	min	16,0	0,615	8,7	Psoluble	moyenne	0,745	0,723	0,550	
Psoluble	moyenne	0,745	0,723	0,550		en mgP/l	écart type	0,115	0,227	0,144
	en mgP/l					médiane	0,704	0,815	0,537	
	écart type	0,115	0,227	0,144		max	0,910	0,890	0,970	
	médiane	0,704	0,815	0,537		min	0,663	0,465	0,327	
	max	0,910	0,890	0,970						
	min	0,663	0,465	0,327						

Tableau II - 1 - 3 - c : Valeurs moyennes, maximales et minimales pour les ruissellements étudiés (suite)

		24/05/94	25/01/95	6-7/08/95			24/05/94	25/01/95	6-7/08/95	
N fixé	moyenne	27,3	-	-	Cl	moyenne	7,3	8,0	9,3	
	en mgN/l					en mg/l	écart type	1,8	5,2	3,2
	écart type	5,7	-	-		médiane	7,6	5,2	9,9	
	médiane	25,8	-	-		max	8,9	14,0	15,1	
	max	35,1	-	-		min	5,0	4,9	2,4	
	min	22,5	-	-	Ntotal/Ptotal	moyenne	2,3	-	-	
N soluble	moyenne	16,5	1,74	3,33		écart type	0,1	-	-	
	en mgN/l					médiane	2,3	-	-	
	écart type	2,6	0,10	2,61		max	2,4	-	-	
	médiane	15,8	1,76	2,41		min	2,2	-	-	
	max	20,3	1,83	12,00	Nsoluble/Psoluble	moyenne	22,6	2,64	6,51	
	min	14,2	1,63	1,48		écart type	5,0	1,13	5,27	
P fixé/MES	moyenne	0,603	0,772	0,62			médiane	23,7	2,16	4,47
	écart type	0,202	0,194	0,41			max	27,6	3,94	21,54
	médiane	0,613	0,817	0,57			min	15,6	1,83	2,20
	max	0,835	0,939	1,85	Nfixé/Pfixé	moyenne	1,5	-	-	
		min	0,352	0,559		0,12	écart type	0,2	-	-
N fixé/MES	moyenne	0,880	-	-			médiane	1,5	-	-
	écart type	0,277	-	-			max	1,6	-	-
	médiane	0,884	-	-			min	1,3	-	-
	max	1,172	-	-						
	min	0,580	-	-						

II - 1 - 3 - 1 - MES et transport fixé

Pour ces trois ruissellements dont deux sont courts (24 mai et 25 janvier) et deux sont de types orageux (24 mai et 6-7 août), la charge moyenne en MES varie entre 1,23 et 63 g/l, celle des deux orages étant particulièrement élevée. De ces deux ruissellements liés à un orage, le plus long présente une charge moyenne deux fois supérieure et une bien plus grande variabilité des valeurs (écart type = 70).

En relation avec cette forte charge en MES, les teneurs en Pfixé (ou Pparticulaire) sont très élevées au cours des deux ruissellements orageux. Les valeurs moyennes (18,4 et 19,5 mgP/l) et médianes (18,1 et 18,2 mgP/l) sont presque identiques, mais l'amplitude des variations est plus importante en août en relation avec la forte variabilité de la charge en MES (écarts types = 2,2 et 8,0).

Les concentrations en Pfixé sont bien plus faibles en janvier (0,970 mgP/l). En revanche, la part moyenne de Pfixé sur les MES (Pfixé/MES) - quoique les valeurs soient proches - est plus importante sur ce ruissellement hivernal (0,772 contre 0,603 et 0,620). Les MES sont moins présentes, mais leur capacité de fixation en P est supérieure en janvier. De plus, la fraction Pfixé/MES varie peu au cours du ruissellement (sauf en août). Le fait que la part de Pfixé soit à peu près équivalente au cours des trois ruissellements montre que les sols ont probablement une limite d'absorption en phosphore (rapport 1,85), avec une capacité préférentielle entre 0,60 et 0,80.

Ainsi, en ordre de grandeur, les concentrations en Pfixé apparaissent nettement en relation avec la charge en MES, très élevée au cours d'orages et faible en hiver. En revanche, la part de Pfixé sur les MES est sensiblement voisine pour les trois types de ruissellements, bien que beaucoup plus variable au cours du gros orage.

II - 1 - 3 - 2 - Une différence saisonnière pour les formes solubles

La conductivité, indiquant la charge en éléments solubles et donc l'importance du contact entre les eaux de pluie peu minéralisée et le sol, est plus élevée dans le cas des ruissellements printaniers et estivaux, traduisant la plus grande richesse en éléments fertilisants à ces dates. Toutefois, en août, la conductivité peut fortement diminuer montrant l'effet de dilution et d'appauvrissement de la source en éléments solubles. L'écart type élevé montre la grande hétérogénéité des eaux de ce ruissellement.

Les éléments solubles les plus présents, parmi ceux analysés, sont par ordre d'importance les nitrates (NO₃), les chlorures (Cl), l'ammonium (NH₄) et les ortho-phosphates (PO₄).

L'azote soluble apparaît essentiellement constitué par les nitrates. Les plus fortes concentrations de la forme nitrique apparaissent en mai et août (13,1 et 10,6 mgN/l). Sans être exceptionnellement élevées, les teneurs en nitrates sont notables. Elles sont beaucoup plus faibles en janvier (1,63 mgN/l). Toutefois, en août la longueur du ruissellement fait apparaître un important appauvrissement (minimum à 0,01 mgN/l). En effet, si l'écart type est faible pour les courts ruissellements, il augmente nettement pour le ruissellement le plus long. Les concentrations montrent une plus grande variabilité sous l'effet de la dilution et du temps.

Les teneurs en ammonium sont très importantes en mai et elles restent très élevées au cours du ruissellement, confirmant l'existence d'un abondant stock dans les sols. En janvier, les concentrations peuvent être qualifiées de normales et présentent une faible variation, associée une présence faible dans les sols et un apport régulier. En août, les taux sont assez élevés, mais ils atteignent aussi des valeurs proche de la normale, attestant de la variation du stock et des effets de la dilution.

Les nitrates constituent habituellement la forme prépondérante d'azote soluble, les teneurs en ammonium étant beaucoup plus faibles (car cette forme azotée est beaucoup plus instable). Une situation normale est observée en janvier où les nitrates représentent une grande part de la forme azotée soluble (NO₃/NH₄ = 80). Par contre, en mai, la part de l'ammonium est excessive (NO₃/NH₄ = 4,22).

Les ortho-phosphates, qui constituent l'essentiel du phosphore soluble, sont présents en quantité importante, mais les valeurs sont relativement homogènes pour les ruissellements (elles n'excèdent pas 0,862 mgP/l). En août, les concentrations sont légèrement inférieures, probablement en relation avec l'appauvrissement par les ruissellements antérieurs, les prélèvements par les cultures (amendements apportés entre novembre et février) et une plus forte fixation sur MES.

L'ordre de grandeur en PO₄ étant tellement différent de celui en Pfixé (rapport jusqu'à 100), il est impossible d'observer les échanges entre la fraction soluble et la fraction fixée. Normalement dans un cours d'eau, il existe un état d'équilibre entre les deux fractions (M. Giroud, MAPAQ Québec, comm. orale 1996). Le cours d'eau possède un pouvoir régulateur qui fait que la concentration en PO₄ reste à peu de chose près constante. Les sédiments jouent un rôle de réservoir fixant des PO₄ quand les concentrations augmentent et libérant des PO₄ quand elles diminuent^(*). Lorsque la capacité de fixation des sédiments est dépassée, les concentrations en PO₄ augmentent et les risques d'eutrophisation apparaissent. Il semble que les écoulements épisodiques des BVEC présentent les mêmes caractéristiques, le niveau d'équilibre se situant autour de 0,60 et 0,81 mg/l de PO₄ et la capacité maximum de rétention des sédiments dans un rapport de 1,85.

Enfin, les chlorures, qui sont apportés aux sols par les amendements et ne subissent pas de transformation, sont présents en plus grandes quantités que dans les eaux de pluie traduisant l'importance du temps de contact entre les eaux et les sols. Les concentrations sont relativement homogènes au cours des trois ruissellements. Elles sont légèrement supérieures en août indiquant un temps de contact plus important avec les sols. Normalement les concentrations devraient être inférieures suite à un épuisement au cours des ruissellements successifs puisque les derniers apports datent de l'automne. D'ailleurs, elles sont plus faibles en mai. En janvier, elles sont plus élevées, mais diminuent rapidement montrant que le premier stock mobilisable s'appauvrit.

Ces quelques chiffres montrent la grande variabilité de certains paramètres comme les MES, le phosphore fixé, l'ammonium ou les nitrates et, à l'inverse, la stabilité d'autres facteurs comme les ortho-phosphates ou le rapport phosphore fixé sur MES. Les concentrations sont pour ces premiers nettement supérieures à celles rencontrées dans les eaux de pluies et en proportion plus ou moins importante en fonction des échanges entre les eaux de pluie et les sols. Ces concentrations sont variables en relation avec les volumes d'eau mis en jeu (dilution et baisse des concentrations), les temps de contact entre l'eau et les sols (contact long, concentration supérieure), le stock disponible dans les sols (teneur disponible dans l'horizon superficiel) et les transformations au cours du ruissellement (par exemples passage d'une forme fixée sur sédiment à une forme soluble, cas du phosphore, ou oxydation, cas de l'azote ammoniacale et nitreux en azote nitrique).

(*) Par exemple, les concentrations en orthophosphates sont régulées entre 0,20 et 0,40 mg/l dans le Vilpion et entre 0,10 et 0,20 mg/l dans la Savières. De ce fait, les ruissellements des BVEC arrivant dans les cours d'eau subissent une dilution en orthophosphates dans une proportion de 3 à 4. Cet apport est rapidement absorbé, si les sédiments du cours d'eau en ont la capacité, sinon le ruissellement constitue une source de pollution par excédent.

II - 1 - 4 - Les produits phytosanitaires

En ce qui concerne les produits phytosanitaires, les résultats sont très variables en fonction des matières actives considérées (tab. II - 1 - 4 - a, b et c ci-après). Premier constat, plusieurs matières actives sont présentes en grande quantité (le lindane, l'atrazine, la chloridazone), d'autres sont absentes ou seulement à l'état de traces comme l'isoproturon, l'iprodione, l'endosulfan, le 2,4 mcpa et la deltaméthrine. Rappelons que les normes de potabilité de l'eau fixent à 0,1 µg/l la teneur maximale de n'importe quel composé. L'atrazine dépasse ce seuil de façon plus que spectaculaire.

II - 1 - 4 - 1 - Des concentrations très élevées au printemps

Les transferts de polluants ont essentiellement lieu au cours de la période végétative, période d'épandage des fertilisants et des traitements. En particulier, l'azote et les produits phytosanitaires sont présents avec de fortes concentrations au printemps. En fait, c'est la date d'épandage et la distance à la station de mesure qui importe le plus pour l'interprétation de ces résultats.

Prenons l'exemple d'Erlon, en mai 1994. L'isoproturon ("Isoproturée", nom du produit commercialisé), bien qu'assez stable, est épandu plus précocement (mars-avril, dernier épandage le 28 avril) et en quantité modérée (1 à 1,5 l/ha de produit, soit 500 à 750 g/ha de matière active, soit 3 350 g sur la parcelle de 6,7 ha en orge le 28 avril). Pourtant stable à la lumière, il a été absorbé par la plante et on ne le retrouve pas dans les eaux de ruissellement le 24 mai.

La métamitronne ("Goltix") et la chloridazone ("Pyramine") sont présentes dans les eaux de ruissellement malgré les quelque 400 m qui séparent la parcelle de la station de mesure (fig. I - 1 - 4 - a). Elles sont appliquées par petites doses (respectivement 1,5 l/ha, soit 1 050 g/ha et 0,3 l/ha, soit 195 g/ha) et de façon répétée (3 à 4 passages en mai-juin tous les 6-7 jours). Le premier apport date respectivement du 17 mai, ce qui peut expliquer les concentrations notables, mais pas considérables.

Le lindane ("Lindaline") et l'atrazine ("Laddok") sont appliqués sur une parcelle éloignée de 150 m de la station de mesure. Le lindane est utilisé, soit en traitement de semence (le plus fréquent, sauf cette année là pour des raisons de temps), soit en traitement de post-semis.

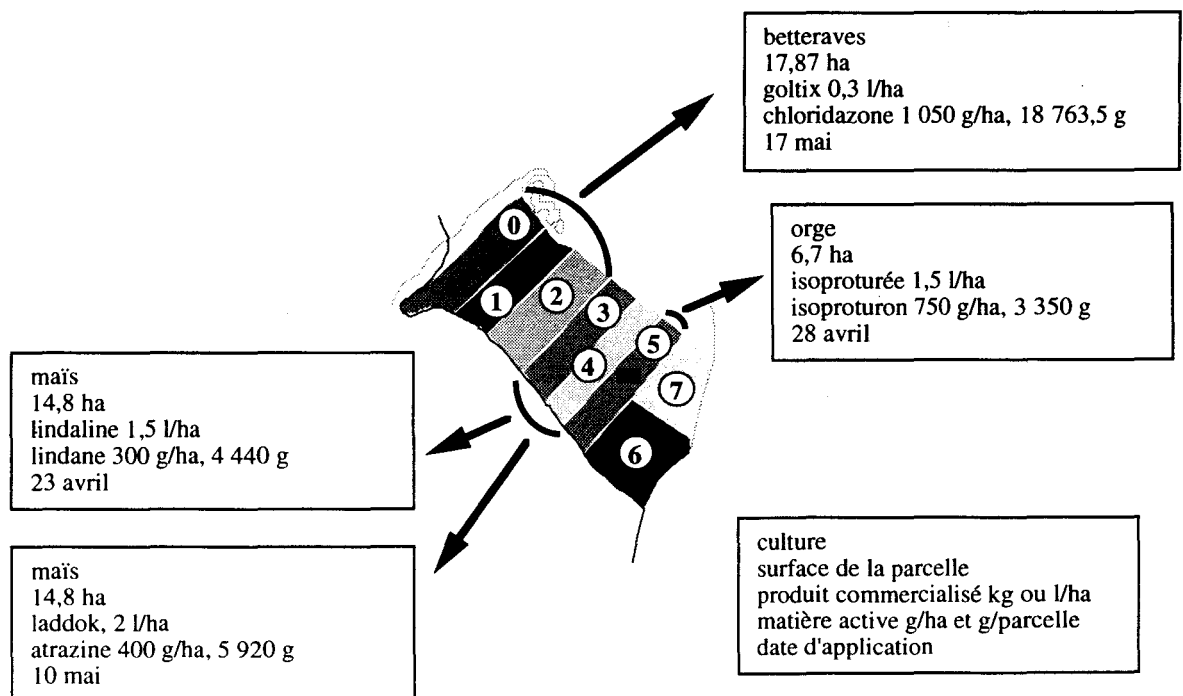
L'épandage date du 16 mars à raison de 1,5 l/ha, soit 300 g/ha, soit 4 440 g sur la parcelle de 14,8 ha en maïs. Malgré une longue persistance d'action dans les sols, on le retrouve en quantité modérée par rapport à l'atrazine. L'atrazine est appliquée par passages répétés (2 fois, les 10 et 27 mai) à raison de 2 l/ha, soit 400 g/ha (maximum autorisé 1 500 g/ha par le Journal Officiel du 13 juillet 1990), soit 5 920 g pour la parcelle de 14,8 ha. Sa durée d'action (2 à 6 mois), sa grande stabilité en condition neutre, son utilisation associée à une huile (pour en amplifier l'efficacité) et, surtout, une application récente (10 mai) explique sa concentration exceptionnelle.

Tableau II - 1 - 4 - a : Produits phytosanitaires dans les eaux du ruissellement du 24 mai 1994 à Erlon

ERLON 24-Mai-94	Eau brute	Eau filtrée	% sous forme soluble	Sédiments décaantés en µg/kg
MES en g/l	60,5			
N tot en mgN/l	49,3	14,2	29	
P tot en mgP/l	22,2	0,91	4	
P ortho en mgP/l		0,862		
NH4 en mgN/l		3,66		
NO3 en mgN/l		13,1		
gamma HCH (lindane) en µg/l	1,9	1,62	85	307,8
atrazine en µg/l	307,8	266,8	87	690
métamitron en µg/l	0,87	0,13	15	< 125
isoproturon en µg/l	< 0,05	< 0,05		< 0,05
chloridazone en µg/l	6,22	0,79	13	< 125

Nota bene : les concentrations maximales en MES, N et P sont rappelés pour faciliter les comparaisons.

Figure II - 1 - 4 - a : Occupation du sol et traitements phytosanitaires pour le 24 mai 1994 à Erlon



Pour cette date du 24 mai, il s'agit du premier ruissellement de la saison. Les épandages sont assez récents. L'écoulement est peu volumineux, les polluants sont donc concentrés. De plus, les produits utilisés sont relativement persistants. Si cet écoulement rejoignait directement le cours d'eau, on pourrait le qualifier de pollution ponctuelle. Mais avant de rejoindre le cours d'eau, le ruissellement parcourt quelques centaines de mètres dans un fossé à faible pente (1-2 %), une partie de la charge (essentiellement celle fixée sur sédiments) sera déposée. Car une grande partie des éléments dosés est déplacée fixée sur les particules fines en suspension dans l'eau. Ce n'est pas le cas de l'atrazine et du lindane (85 et 87 %) dans l'eau filtrée^(*). Essentiellement sous forme soluble, ces deux composés ont de grandes chances de se retrouver dans le cours d'eau.

Lors des ruissellements de juillet à Vierzy et d'août à Erlon, les concentrations en produits phytosanitaires sont très inférieures à celle rencontrées en mai 1994. D'une part, ces ruissellements ont lieu plus tard dans la saison et, d'autre part, les considérables volumes ruisselés entraînent une dilution des produits phytosanitaires. Toutefois, même si les concentrations sont infimes, les exportations en produits phytosanitaires ont probablement été importantes, compte tenu des volumes d'eau et de sédiments ayant transité à l'exutoire.

II - 1 - 4 - 2 - Un transport essentiellement sous forme fixée

On remarquera que les résultats ne sont pas toujours en accord avec les propriétés accordées aux matières actives (tab. I - 1 - 4 - d). Le lindane et l'atrazine se retrouvent en grande partie sous forme dissoute alors que ces composés apparaissent comme peu solubles. A l'inverse, la métamitronne, très soluble, domine sous la forme fixée.

Le 24 mai 1994 à Erlon, la métamitronne et la chloridazone que l'on retrouve essentiellement fixées sur les sédiments proviennent de la parcelle la plus en amont (respectivement 85 % et 88 % sur particules). Soit des particules érodées sur le haut du bassin se déplacent jusqu'à la station de mesure, soit les produits phytosanitaires se fixent sur les sédiments en cours de transfert (les matières actives constituent à ce niveau un excellent traceur).

Par ailleurs, des analyses réalisées sur les sédiments déposés dans la cuve de mesure montrent des teneurs en atrazine (690 µg/kg) et en lindane (308 µg/kg) encore plus remarquables. Ainsi, ces matières actives se fixent de façon encore plus marquée sur les sédiments grossiers charriés par la coulée boueuse. Mais la force tractrice de l'écoulement n'est pas suffisante. Cet ensemble matières solides-matières actives se dépose dans le talweg ou dans les fossés et ne rejoint que rarement le cours d'eau. C'est aussi le cas du phosphore (jusqu'à 96 % fixés sur particules) qui joue un rôle important dans les phénomènes d'eutrophisation. La forme fixée comprend une part dominante de produit phytosanitaire bio-disponible qui sera relargué par la suite dans le milieu aquatique, et ceci, en fonction de divers paramètres comme les concentrations de cet élément dans le milieu récepteur, la température, le pH, etc. Toutes les formes fixées et piégées, dans la cuve de mesure ou dans tout autre aménagement de rétention, ne seront pas relarguées dans le cours d'eau.

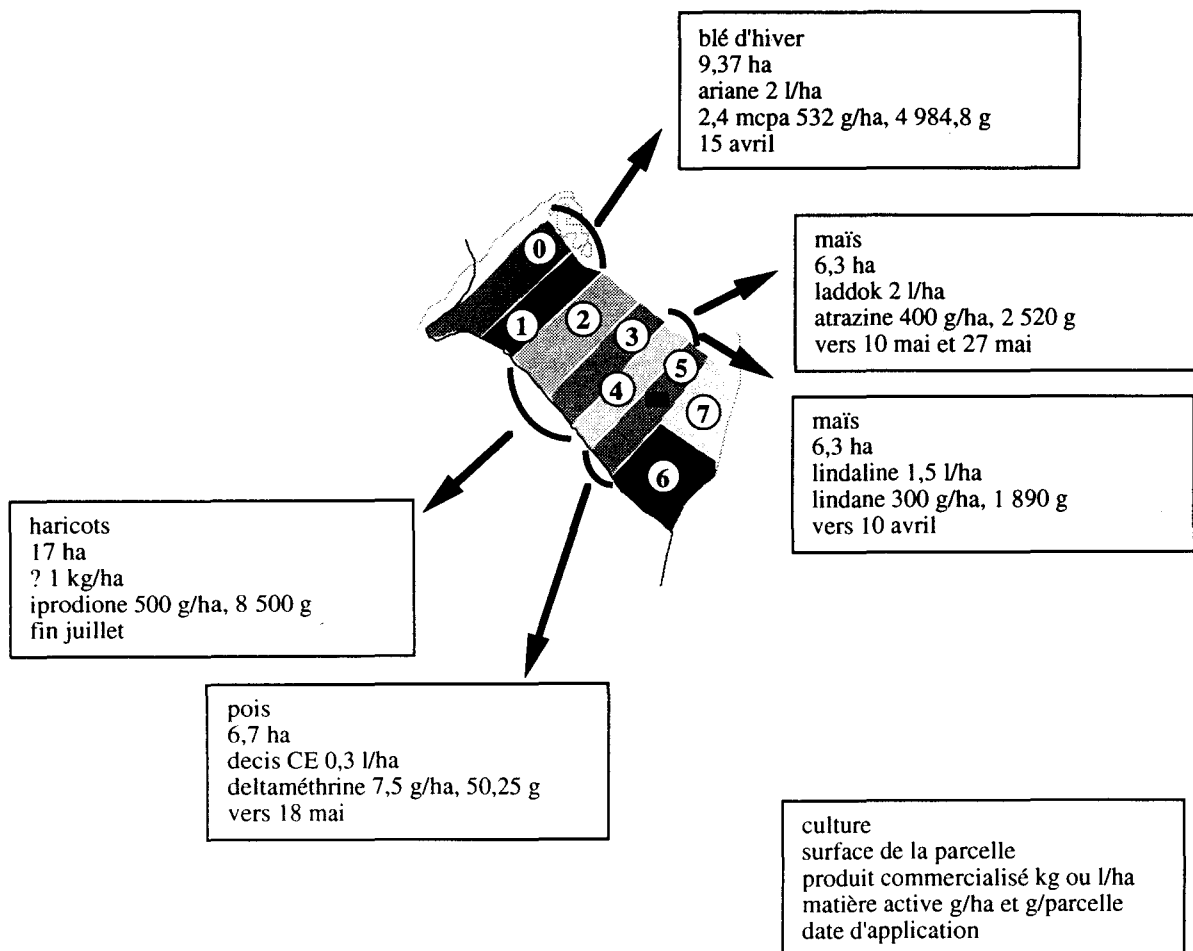
^(*) Attention aux termes d'eau filtrée et de fraction soluble. En fait, la filtration à 0,7 µm laisse passer une certaine quantité de particules très fines sur lesquelles les produits phytosanitaires se fixent de façon préférentielle (M. Burtin, CRNS Nancy, comm. écrite 1996). C'est très probablement le cas pour l'atrazine, ceci étant un aspect connu de son comportement : elle a tendance à se fixer sur les argiles. Toutefois, dans le ruissellement, les particules très fines ne décantent pas et sont entraînées. On peut considérer que leur comportement est très proche de celui de la fraction soluble.

Tableau II - 1 - 4 - b : Produits phytosanitaires dans les eaux du ruissellement des 7-8 août 1995 à Erlon

ERLON 7-8 Aoû95	Eau brute	Eau filtrée	% sous forme soluble	Sédiments décantés en µg/kg
MES en g/l		260		
N tot en mgN/l		12,0		
P tot en mgP/l	37,2	0,97	3	
P ortho en mgP/l		0,689		
NH4 en mgN/l		0,920		
NO3 en mgN/l		10,6		
iprodione en µg/l	< 0,2	< 0,2		< 400
2,4 mcpa en µg/l	< 0,2	< 0,2		< 400
deltaméthrine en µg/l	< 0,2	< 0,2		< 400
atrazine en µg/l	8,9	8,4	94	400
lindane en µg/l	0,21	< 0,2		400

Nota bene : les concentrations maximales en MES, N et P sont rappelées pour faciliter les comparaisons.

Figure II - 1 - 4 - b : Occupation du sol et traitements phytosanitaires pour les 7-8 août 1995 à Erlon



II - 1 - 4 - 3 - L'origine des polluants

Contrairement à N et P qui proviennent de toutes les parcelles, les produits phytosanitaires sont différents pour chaque culture, ce qui permet de différencier leur origine et leur trajet.

Si l'on considère l'origine spatiale, à Erlon, les produits arrivent aussi bien des parcelles situées sur le haut que sur le bas du bassin (soit une distance de 800 m). Dans ces conditions de pentes et de concentrations des eaux, tous les produits se retrouvent à l'exutoire. Par contre, à Vierzy, l'endosulfan, épandu sur des parcelles de pommes de terre ou de pois distantes de l'exutoire de quelque 800 m, n'est pas retrouvé dans les échantillons prélevés. Est-ce le fait de la forte dilution, de la dégradation du produit ou de ce fait qu'il n'a pas atteint l'exutoire ? Ce sont probablement les deux premiers facteurs qui sont en cause, car il a été montré qu'à Vierzy, le ruissellement venait de l'ensemble du bassin (fig. II - 1 - 4 - b et c).

En conclusion, si l'on considère les concentrations et la nature des produits phytosanitaires, le maïs "pollue" plus que la betterave qui "pollue" plus que le blé... puisque ce sont les produits associés à la culture du maïs qui sont retrouvés à plus forte concentration. Il se trouve que ce sont aussi les produits les plus rémanents et les plus toxiques. C'est le cas de l'atrazine et du lindane, dont l'utilisation est pourtant réglementée et qui sont cités comme produits à surveiller par la convention de la Haye (paragraphe 4). Les risques d'entraînement de produits phytosanitaires sont donc en relation avec l'assolement mais aussi la quantité, la date d'épandage et la nature des composés utilisés. Par exemple, les céréales demandent de nombreux traitements, en particulier des fongicides. Les produits concernés sont épandus de façon répétée sur la parcelle, et à plus forte raison sur le bassin versant si cette culture y est dominante. L'occurrence de retrouver ces produits dans les eaux de ruissellement devrait être importante. Mais, ils sont appliqués tôt au printemps à des périodes où il y a peu de ruissellement. Il semble par ailleurs qu'ils soient peu persistants en condition naturelle ou bien absorbés par les plantes. On retrouve peu de composés liés à la culture des céréales. Ce n'est pas le cas des produits utilisés sur le maïs. Les insecticides et herbicides employés sont très persistants et entraînaient.

Tableau II - 1 - 4 - c : Produits phytosanitaires dans les eaux du ruissellement du 11 juillet 1995 à Vierzy

Vierzy 11-Jul-95	Eau brute	Eau filtrée	% sous forme soluble	Sédiments décaantés en µg/kg
MES en g/l		-		
N tot en mgN/l		2,08		
P tot en mgP/l	0,797	0,094	12	
P ortho en mgP/l		0,072		
NH4 en mgN/l		0,02		
NO3 en mgN/l		1,36		
isoproturon en µg/l	< 0,2	< 0,2		< 400
endosulfan en µg/l	< 0,2	< 0,2		< 400
2,4 mcpa en µg/l	0,9	0,9	100	< 400

Nota bene : les concentrations maximales en MES, N et P sont rappelées pour faciliter les comparaisons.

Figure II - 1 - 4 - c : Occupation du sol et traitements phytosanitaires pour le 11 juillet 1995 à Vierzy

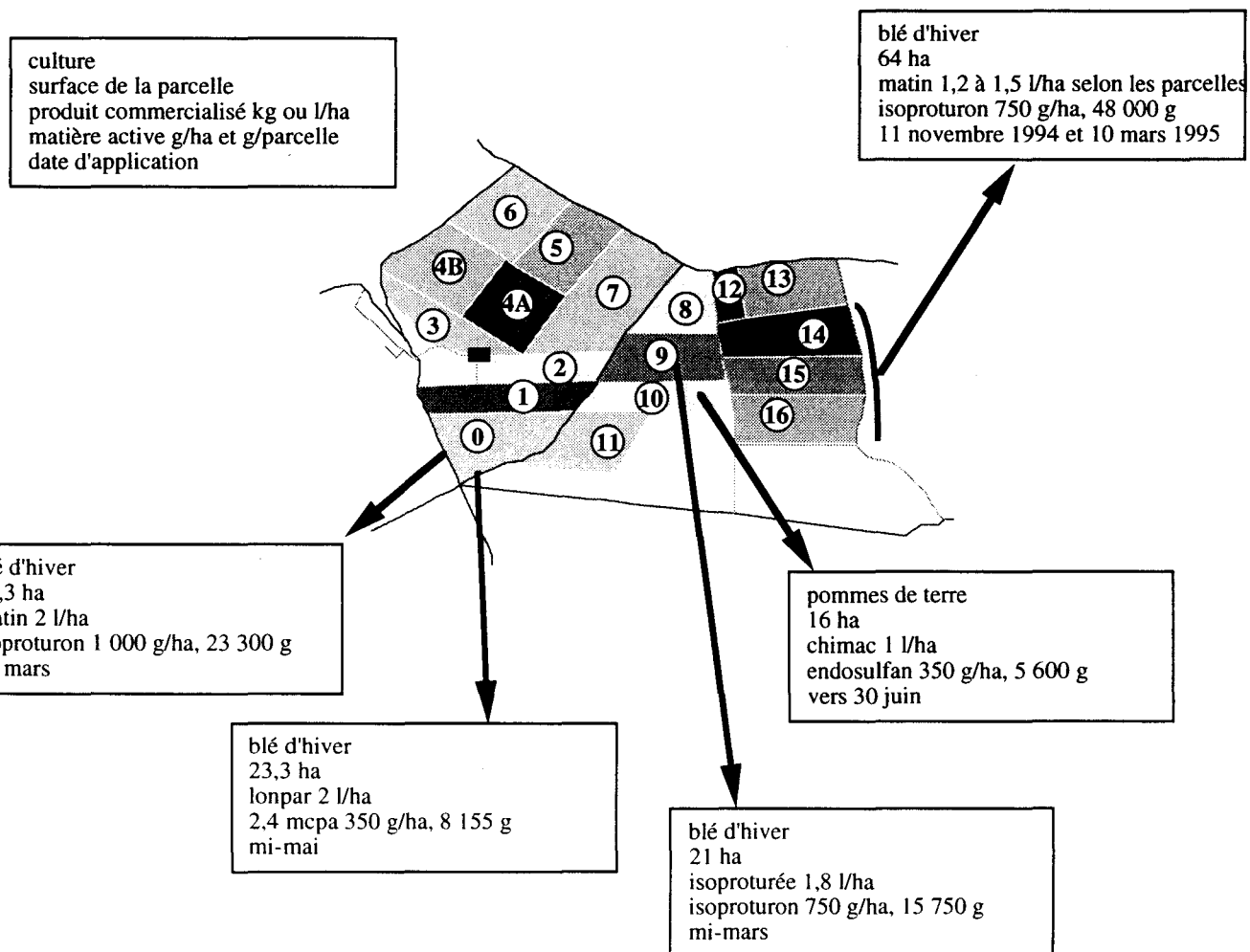


Tableau II - 1 - 1 - d : Caractéristiques des produits phytosanitaires retrouvés dans les eaux de ruissellements

Matière active	Activité biologique et culture concernée	Solubilité dans l'eau à 20°C en mg/l	Coefficient d'absorption par les sols Koc en mg/g	Temps de demi vie en plein champ en jour
lindane	I maïs	10	-	très persistant
atrazine	H maïs	30	100	60
métamitron	H betterave	1820	-	90 à 120
chloridazone	H betterave	400	150	31
isoproturon	H céréale	70	360	29
iprodione	F oignons, haricots et pois	13		
2,4 mcpa	H céréale	825		
deltaméthrine	I pois	< 0,1		21 à 28
endosulfan	I pomme de terre			3 à 7
monolinuron	H pomme de terre, haricots	580		30 à 90
carbofuran	I haricots	250 à 700		50
éthofumesate	H haricots	110	340	30
lambda cyhalothrine	I céréale	0,003		21 à 28

(suite)

Matière active	Principaux mois d'épandage	Quantité par application en g/ha	Formulation utilisée sur les BVEC	Nombre d'application par année culturale
lindane	avril, mai	1 200-1 500	SC/WP	1-2
atrazine	avril, mai	1 500	SC	1-2
métamitron	avril, mai, juin	2 800	WG	3-5
chloridazone	avril, mai, juin	2 600	WG	3-5
isoproturon	février, mars, avril	1 800	SC	1-3
iprodione (*)	mai, juin, juillet	750	SC	1-3
2,4 mcpa	février, mars, avril	1 200	SL	1-3
deltaméthrine	mai, juin	12	EC	1-3
endosulfan	mai, juin, juillet	700	EC	1-3
monolinuron	mai, juin, juillet	400	WP	1-3
carbofuran	juin, juillet, août	600	MG	1-3
éthofumesate	juin, juillet, août	500-1 000	SC/EC	1-3
lambda cyhalothrine	juin, juillet	6-7,5	EC	1-3

(*) rapidement absorbé par les racines.

- non-disponible

EC concentré émulsionnable

SC suspension concentrée

WP poudre mouillable

WG granulés à disperser dans l'eau

SL concentré soluble

MG micro-granulés

II - 2 - Variations temporelles des concentrations en polluants : les chimiogrammes

Seuls les résultats des trois ruissellements où ont été réalisées des analyses détaillées sont utilisés dans ce chapitre.

II - 2 - 1 - Les ruissellements courts : des évolutions simples

II - 2 - 1 - 1 - Une évolution parallèle des MES et du phosphore fixé

Au cours des ruissellements courts, la charge en MES est extrêmement bien corrélée aux débits, et quand ces derniers diminuent, la charge en MES décroît aussi. Cette diminution s'accompagne alors d'une baisse des teneurs en phosphore fixé. L'ordre de grandeur est pourtant différent (MES : 34,8 contre 1,23 mg/l et Pfixé : 18,4 contre 0,970 mgP/l), mais la tendance est la même (fig. I - 2 - 1 - 1 - a et b).

Figure II - 2 - 1 - 1 - a : Diminution des concentrations en MES et en phosphore fixé parallèlement à la baisse du débit pour un ruissellement court, le 24 mai 1994 à Erlon

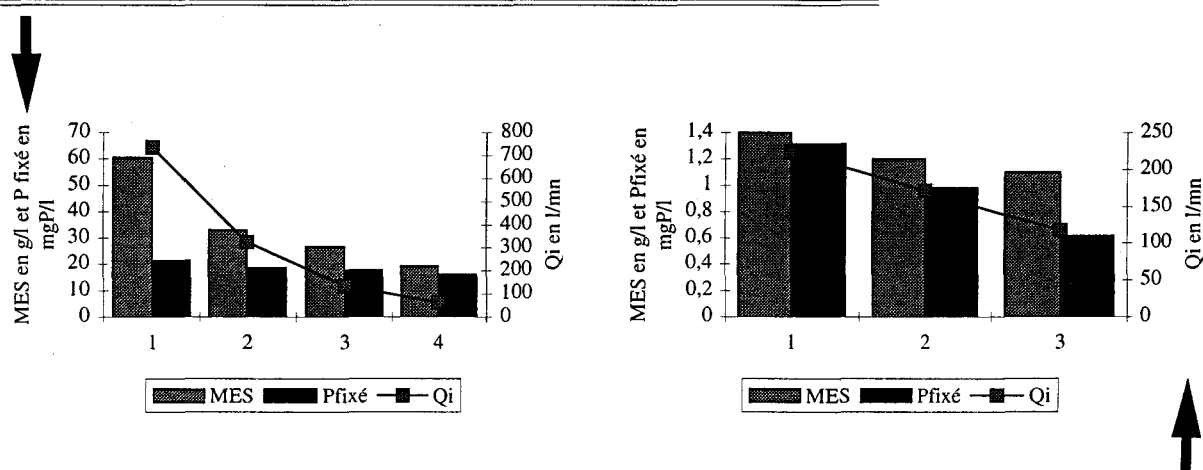


Figure II - 2 - 1 - 1 - b : Diminution des concentrations en MES et en phosphore fixé parallèlement à la baisse du débit pour un ruissellement court, le 25 janvier 1995 à Vierzy

Toutefois, la proportion en phosphore fixé sur les MES tend à augmenter au cours du ruissellement de mai, alors qu'elle tend à décroître au cours de celui de janvier (fig. I - 2 - 1 - 1 - c et d). Le 24 mai, les MES qui proviennent à l'exutoire en fin de ruissellement sont plus riches en phosphore. Soit ce phosphore provient de zones aux sols plus riches, soit les premiers sédiments ont été appauvris au cours de ruissellements antérieurs. A Vierzy, en janvier, les sols sont déjà appauvris en phosphore (concentrations beaucoup plus faibles), soit les MES qui arrivent en fin de ruissellement proviennent de secteurs moins riches en phosphore, soit elles ont "relargué" du phosphore sous forme soluble. Cette seconde possibilité est aussi vraisemblable. En effet, les concentrations en PO₄ et en Pfixé sont d'un ordre de grandeur comparable et si les PO₄ augmentent au cours du ruissellement, c'est en faible proportion. Par contre, les PO₄ n'augmentent pas en mai alors que les possibilités de relargage par Pfixé sont bien supérieures. Au cours de ce ruissellement court, les concentrations en PO₄ semblent en équilibre.

Figure II - 2 - 1 - 1 - c : Augmentation des proportions en phosphore fixé sur les MES parallèlement à la baisse du débit pour un ruissellement court, le 24 mai 1994 à Erlon

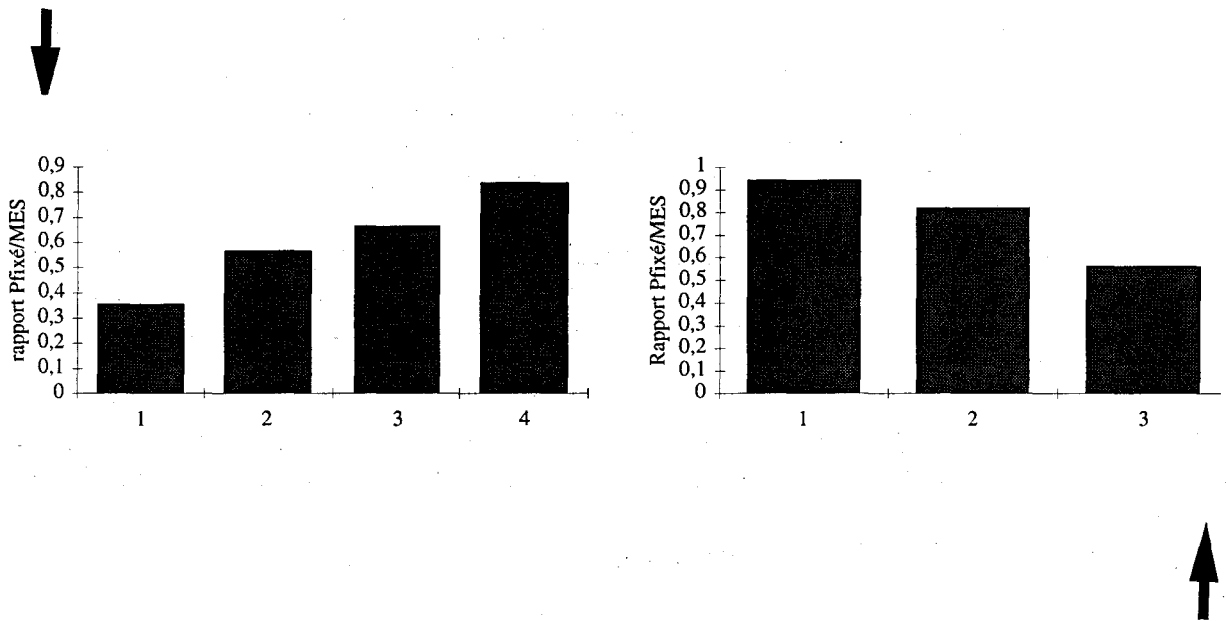


Figure II - 2 - 1 - 1 - d : Diminution des proportions en phosphore fixé sur les MES parallèlement à la baisse du débit pour un ruissellement court, le 25 janvier 1995 à Vierzy

Figure II - 2 - 1 - 1 - e : Diminution des concentrations en MES et en azote fixé parallèlement à la baisse du débit pour un ruissellement court, le 24 mai 1994 à Erlon

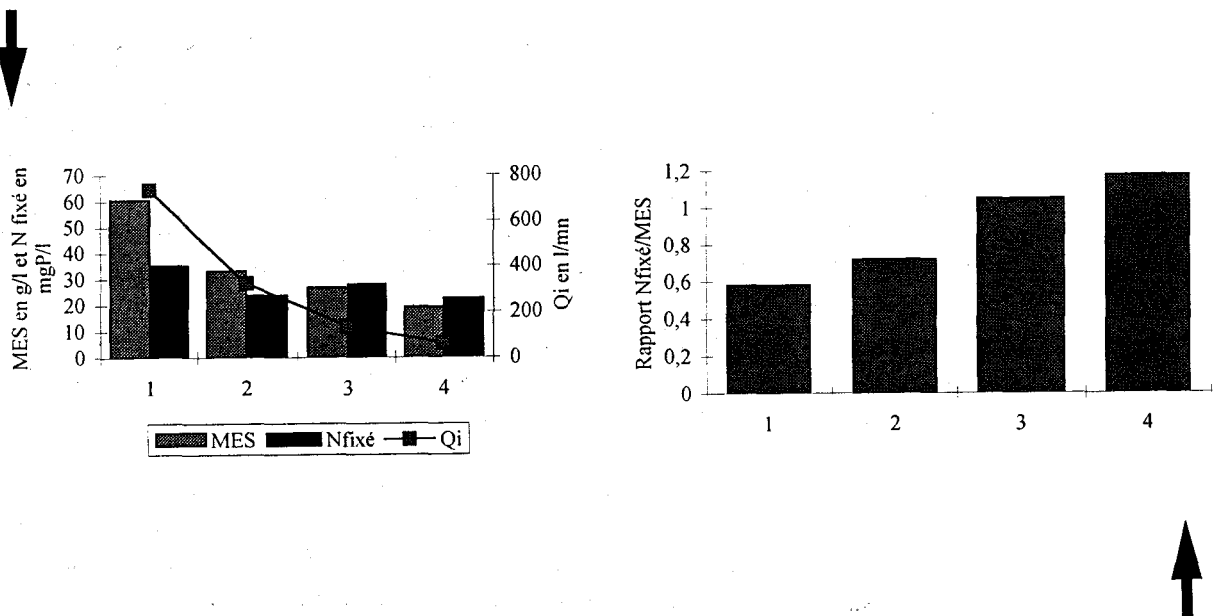


Figure II - 2 - 1 - 1 - f : Augmentation des proportions en azote fixé sur les MES parallèlement à la baisse du débit pour un ruissellement court, le 24 mai 1994 à Erlon

Cette différence de comportement entre mai et janvier peut aussi être mise en relation avec le stock de MES mis en mouvement par le ruissellement. En effet, on suppose que les MES du 25 janvier proviennent essentiellement de l'érosion du talweg et, à l'inverse, celles du 24 mai sont essentiellement originaires des versants. Les premières proviendraient d'une petite surface et d'une plus grande épaisseur, les secondes d'une grande surface et d'une faible épaisseur. Le phosphore fixé est peu mobile verticalement (il se déplace uniquement sous l'effet du ruissellement). De ce fait, la couche superficielle est probablement plus riche en phosphore fixé. Ainsi, une érosion concentrée de talweg contribuerait moins aux apports qu'une érosion en nappe.

Il est aussi possible que la taille et la nature des particules en déplacement puissent intervenir. Le 25 janvier, les particules prises en charge sont probablement plus petites et disposent peut être d'un potentiel d'absorption en phosphore moindre. Mais ce facteur explicatif est peu probable car dans ce cas les valeurs Pfixé/MES ne seraient pas si voisines au cours des différents ruissellements. Au contraire, ces chiffres montrent une certaine limite de la capacité des sols à fixer du phosphore. Cette limite apparaît voisine à Erlon et à Vierzy(*). La capacité des sols des deux bassins à fixer du phosphore avoisinerait 0,35 à 0,95 %, avec une dominance entre 0,60 et 0,80 % du poids de MES.

II - 2 - 1 - 2 - Une minéralisation assez élevée et indépendante des débits

La conductivité, bien que modeste est bien supérieure à celle des eaux de pluie. Elle est supérieure en mai où les sols sont plus riches en éléments solubles comme les NO₃ tout comme en phosphore fixé (fig. II - 2 - 1 - 2 - a et b). Classiquement, dans un cours d'eau, la conductivité évolue inversement aux débits suite à un effet de dilution. C'est ce qui se passe en mai, où l'eau de fin de ruissellement est plus minéralisée. C'est l'inverse qui se produit en janvier, confirmant que même pour des débits faibles et diminuant, les sols sont trop appauvris pour contribuer fortement à l'enrichissement de l'eau de ruissellement en éléments solubles.

En mai, les chlorures dont le bilan est conservatif (pas de changement de forme et de dégradation) indiquent la même chose que la conductivité. Ils tendent à augmenter alors que le débit diminue (fig. I - 2 - 2 - 1 - c et d) montrant ainsi que l'eau qui parvient à l'exutoire en fin d'écoulement est restée plus longtemps en contact avec le sol que l'eau correspondant au maximum de débit (le temps de propagation indiquant quant à lui que cette eau provient de l'amont du bassin). A Vierzy, en janvier 1995, les chlorures diminuent. Les sols apparaissent moins riches en éléments solubles à cette date. Les nitrates, pourtant beaucoup plus dépendants des prélèvements par les cultures, évoluent de façon comparable aux chlorures, montrant que pour un ruissellement court, les stocks sont semblables. Toutefois, l'ordre de grandeur des concentrations est bien supérieur en mai. En effet, au cours de l'automne et de l'hiver, les concentrations en nitrates ne cessent de décroître au cours des différents ruissellements (ANGELIAUME, et al 1994).

Quant aux ortho-phosphates et à l'ammonium, ils semblent évoluer inversement aux chlorures (fig. II - 2 - 1 - 2 - e et f). Comme les nitrates, l'ammonium est présent en quantité nettement supérieure au cours du ruissellement de printemps, très probablement en relation avec la fertilisation printanière. Etant tributaires de la fertilisation et de la minéralisation, les concentrations varient énormément d'un ruissellement à l'autre. Les ortho-phosphates, quant à eux, fixés ou libérés par les MES, présentent des concentrations plus constantes.

Il est possible que le 25 janvier, l'eau et les sédiments aient une origine distincte : la première provenant d'une partie du bassin versant, les seconds provenant du talweg comme on le suppose, d'où une relative richesse en Cl, NO₃ et PO₄ par rapport aux eaux de pluie.

Figure II - 2 - 1 - 2 - a : Augmentation de la conductivité parallèlement à la baisse du débit pour un ruissellement court, le 24 mai 1994 à Erlon

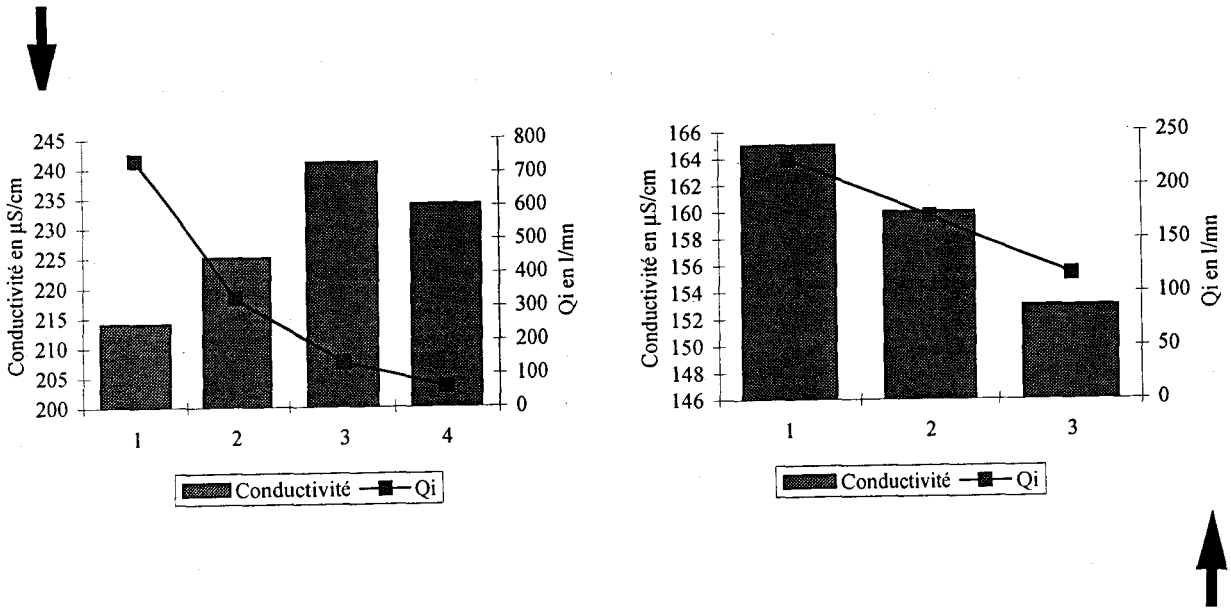


Figure II - 2 - 1 - 2 - b : Diminution de la conductivité parallèlement à la baisse du débit pour un ruissellement court, le 25 janvier 1995 à Vierzy

Figure II - 2 - 1 - 2 - c : Augmentation des chlorures et des nitrates parallèlement à la baisse du débit pour un ruissellement court, le 24 mai 1994 à Erlon

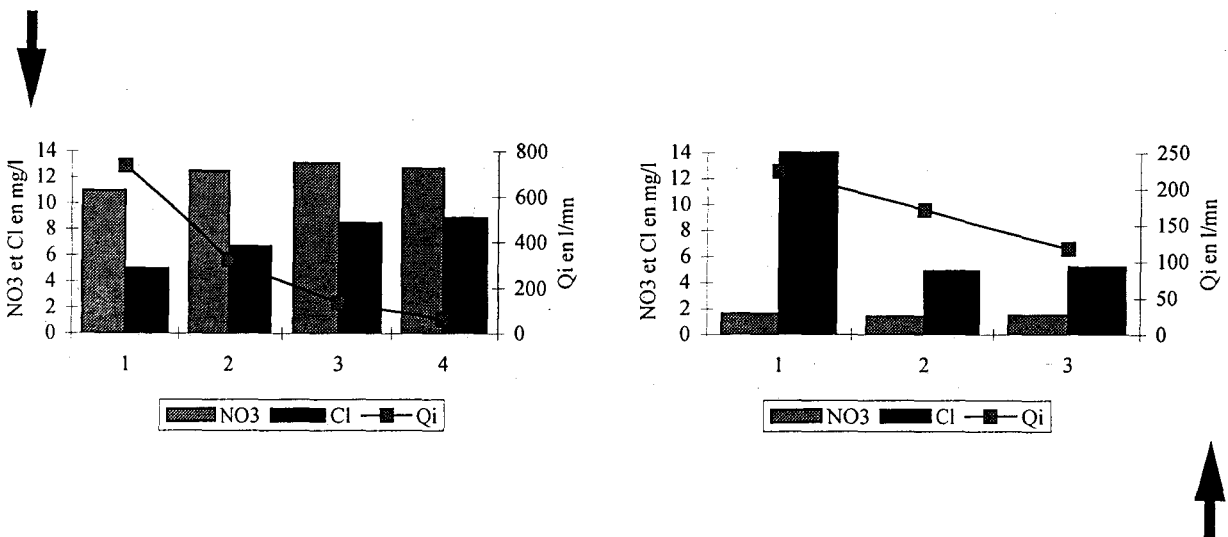


Figure II - 2 - 2 - 1 - d : Diminution des chlorures et des nitrates parallèlement à la baisse du débit pour un ruissellement court, le 25 janvier 1995 à Vierzy

Cl et NO₃, qui évoluent sensiblement de la même façon tendent à progresser inversement à PO₄ et NH₄.

Figure II - 2 - 2 - 1 - e : Evolution de l'ammonium et des ortho-phosphates pour un ruissellement court, le 24 mai 1994 à Erlon

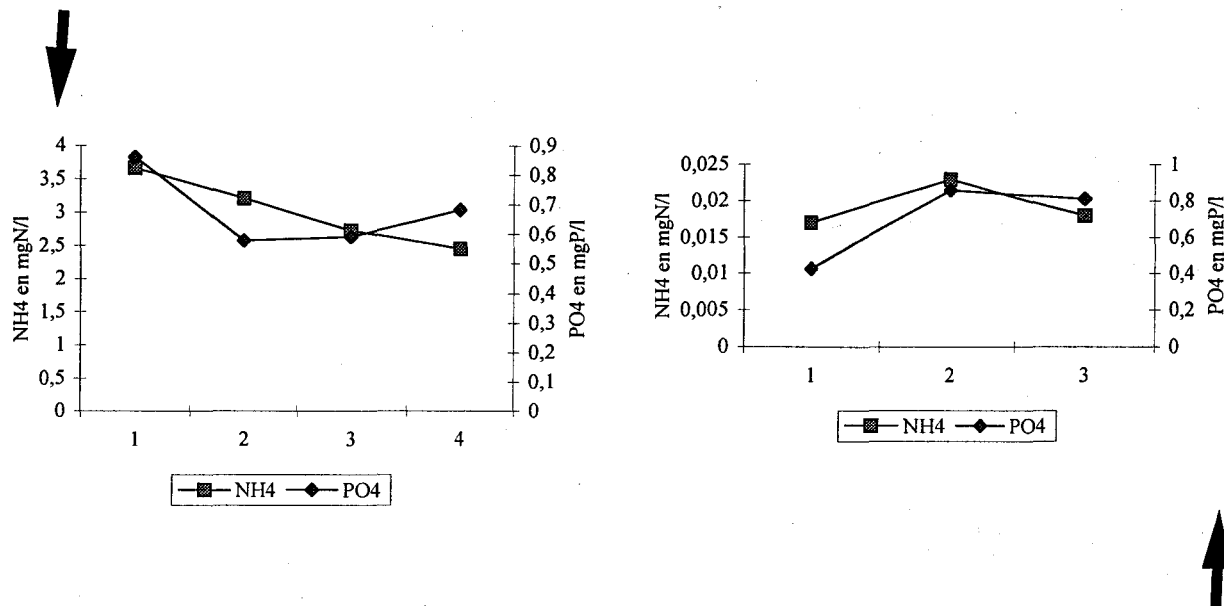


Figure II - 2 - 2 - 1 - f : Evolution de l'ammonium et des ortho-phosphates pour un ruissellement court, le 25 janvier 1995 à Vierzy

24 mai 1994

25 janvier 1995

n° d'échantillon	Heures de prélèvement
1	16h57 17h00 17h03
2	17h06 17h09 17h12
3	17h15 17h18 17h21
4	17h24 17h27 17h30

n° d'échantillon	Heures de prélèvement
1	19h34 19h44 19h54
2	20h04 20h14 21h24
3	20h34 20h44 20h54

II - 2 - 2 - Un ruissellement complexe : les 06-07 août 1995 à Erlon

Lors d'un ruissellement complexe et prolongé, les concentrations sont beaucoup plus variables quelle que soit la nature des paramètres considérés. Ces variations sont liées à l'origine géographique et au cheminement de l'eau qui parvient à la station, même si l'arrivée est massive et ne permet pas de différencier la contribution des différentes parcelles. De plus, le caractère complexe de l'averse entraîne un mélange des ruissellements.

II - 2 - 2 - 1 - Relation entre les pertes en MES, MO et phosphore particulaire

Les MES suivent l'évolution du débit, mais avec un léger décalage dans le temps (échantillons 2 et 4, 17 et 19). Les MO et le phosphore particulaire varient de façon très identique, suivant les concentrations en MES (fig. I - 2 - 2 - 1 - a et b). La moindre petite augmentation des teneurs en MES s'accompagne alors d'un accroissement de celles en phosphore fixé et en MO (exemples échantillons 4 et 5 ou 19).

Cette évolution parallèle des MES et du phosphore fixé semble comparable à celle des ruissellements courts. On observait pour ces derniers une baisse (en janvier) ou une augmentation (en mai) de la fraction de phosphore particulaire en relation avec le stock dans les sols. Cette relation simple entre Q_i , MES et phosphore fixé n'existe plus dans le cas d'un ruissellement s'étalant sur plusieurs heures, comme celui d'août. Les MES arrivant à l'exutoire sont initialement peu chargées en phosphore, mais rapidement la fraction de phosphore augmente, par paliers successifs (fig. I - 2 - 2 - 1 - c ou g). Ces paliers (échantillons 1 à 3, 4 à 8, 9 à 11, 12 à 14, 17 à 17, etc.) montrent l'arrivée de sédiments différemment enrichis en phosphore, les prélèvements 11 à 17 étant les plus chargés.

Les MES des trois premiers flacons présentent un réservoir faible en phosphore lié probablement à un appauvrissement par les précédents ruissellements. Ces MES, qui ne sont pas corrélées aux débits, proviennent pour une part de reprises de sédiments décantés dans le talweg, mais aussi de l'érosion directe provoquée par de très fortes intensités pluviales. Dès le début de l'orage, les violentes pluies entraînent une importante érosion par splash sur les parcelles récoltées, comme celle des pois. Entre les deux pics de débits (échantillons 6 à 17), la part de phosphore particulaire sur MES est plus élevée. Cette période transitoire est aussi caractérisée par une forte arrivée de MO. Le pic de MO correspond au plus fort taux de Pfixé (échantillon 14). Les MO, de densité plus légère, sont entraînées par cette fin d'écoulement et semblent contenir une grande part du Pparticulaire.

Figure II - 2 - 2 - 1 - a : MES et Pfixé les 6-7 août 1995 à Erlon

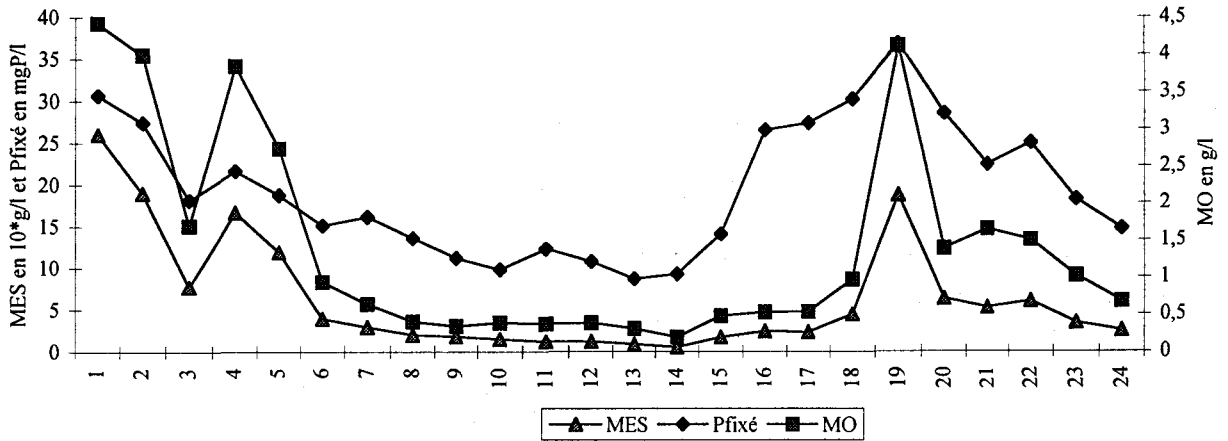


Figure II - 2 - 2 - 1 - b : MES et MO les 6-7 août 1995 à Erlon

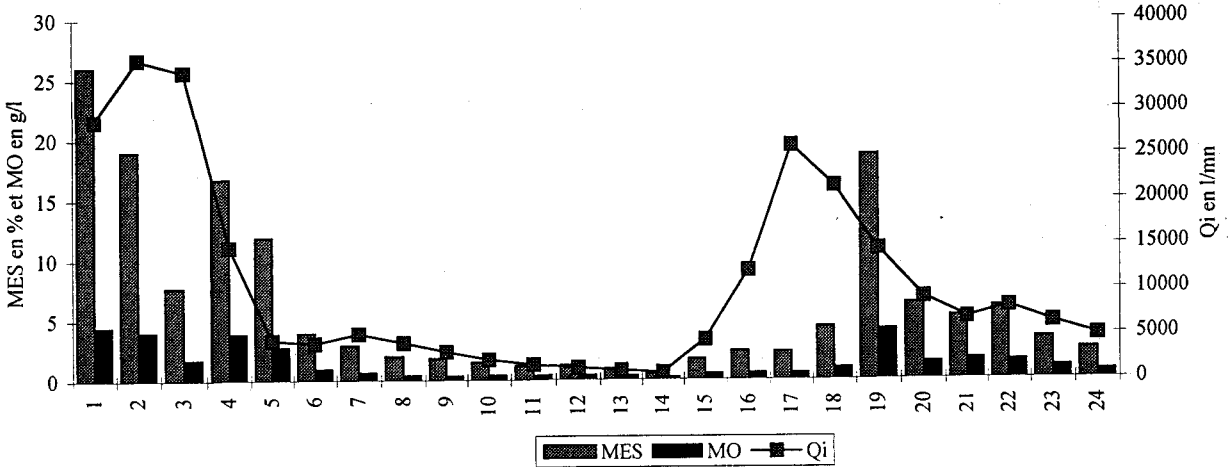
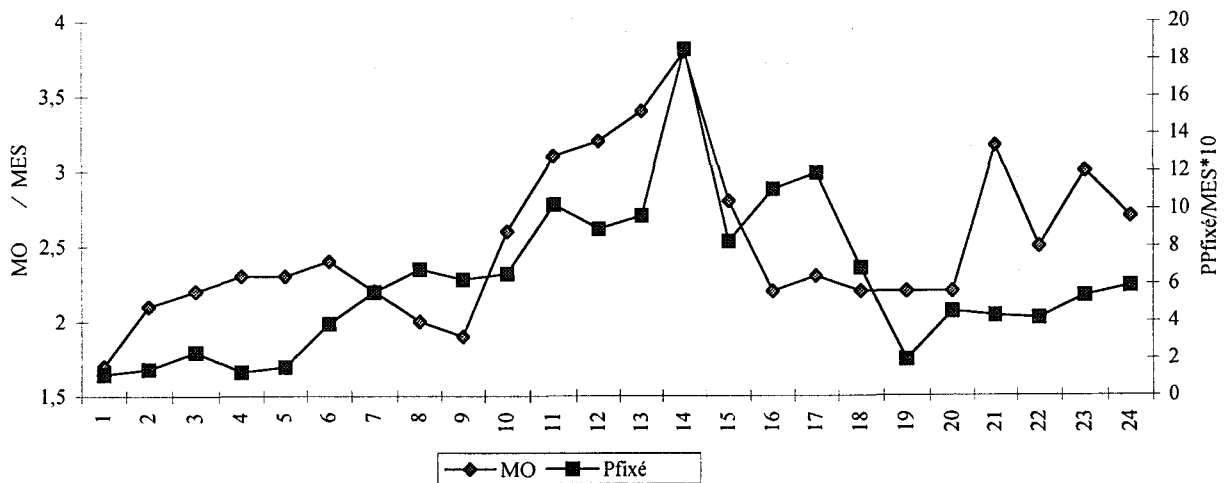


Figure II - 2 - 2 - 1 - c : Rapports Pfixé/MES et MO/MES à Erlon



Puis, la seconde averse, aux intensités moins fortes, entraîne des concentrations en MES plus élevées que la première, proportionnellement aux débits (19 à 22 en comparaison de 5 à 7). Les sols ont été sensibilisés par le premier épisode pluvieux et sont plus facilement érodés. Par contre, la couche érodée pourrait être la couche sous-jacente, moins riche en phosphore fixé. En effet, l'échantillon 19, correspondant au second maximum de débit et de MES, est, en proportion, très faiblement chargé en phosphore. Toutefois, les échantillons suivants (20 à 25) sont, en proportion, aussi riches en phosphore fixé, que les numéros 2 à 6. Il s'agit vraisemblablement du même type de sol.

Ces différentes proportions de phosphore impliquent l'existence de sols ayant des stocks différents. Lors de ruissellements courts un seul type de sol semble être mis à contribution. Le rapport Pfixé/MES ne montre qu'une seule tendance. En janvier, c'est une tendance à l'appauvrissement du stock, qui serait constitué par le talweg (diminution du rapport, fig. I - 2 - 1 - 1 - c). En mai, c'est un apport croissant du stock versant (augmentation du rapport, fig. I - 2 - 1 - 1 - d). Dans ces deux cas, la régression liant MES et Pfixé est linéaire, montrant que l'origine des MES est toujours la même (fig. I - 2 - 2 - 1 - d et e). En août, la corrélation est nettement moins bonne (fig. I - 2 - 1 - 1 - e). Les échantillons 1 à 6 et 19 sortent nettement de l'alignement. Ce sont les points qui sont proportionnellement aux MES les moins chargés en Pfixé paliers (fig. I - 2 - 2 - 1 - g). Les autres échantillons sont relativement bien groupés. Très souvent dans les cours d'eau, le stock de phosphore est lié à la taille des particules érodées. Ce n'est pas le cas ici. Les points les moins riches en phosphore ne sont pas associés à des sédiments plus fins (fig. I - 2 - 2 - 1 - g). Le Pfixé semble donc uniquement dépendant des teneurs en MO. D'ailleurs, la taille des sédiments ne semblent pas en relation avec les autres paramètres (exemples pour le débit et les MO, fig. I - 2 - 2 - 1 - h, i et j)

Figure II - 2 - 2 - 1 - d : MES et Pfixé le 24 mai 1994 à Erlon

$y = 0,12x + 14,19$

$r^2 = 0,97$

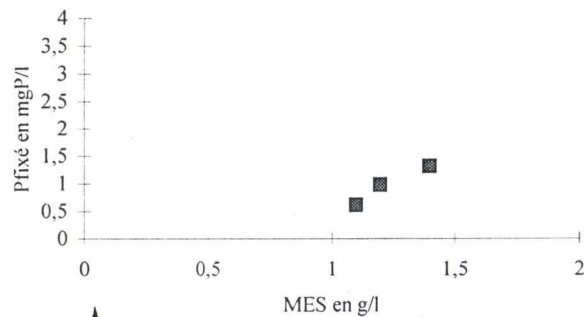
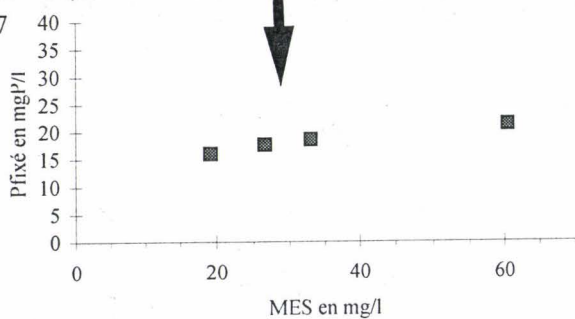


Figure II - 2 - 2 - 1 - e : MES et Pfixé le 25 janvier 1995 à Vierzy

$y = 2,24x - 1,79$

$r^2 = 0,95$

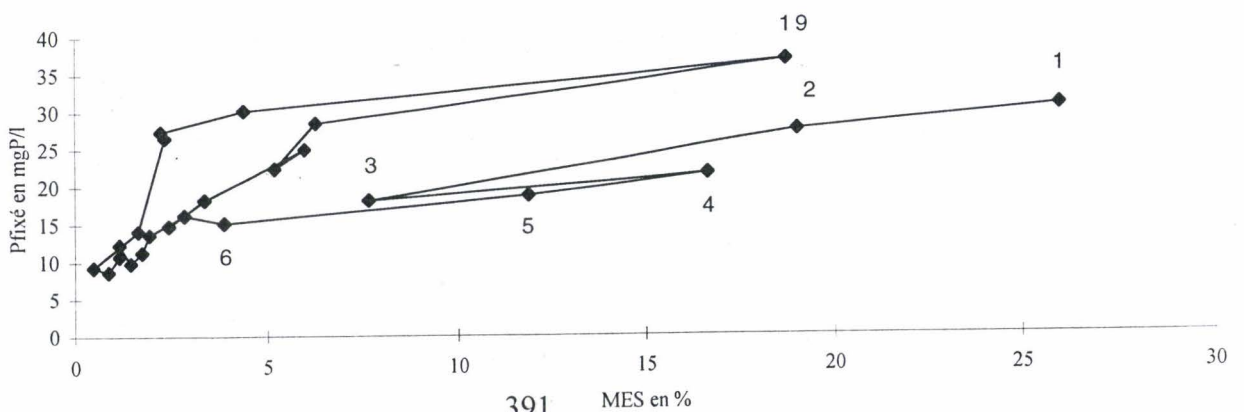


Figure II - 2 - 2 - 1 - g : Pfixé/MES et diamètre médian des échantillons les 6-7 août 1995 à Erlon

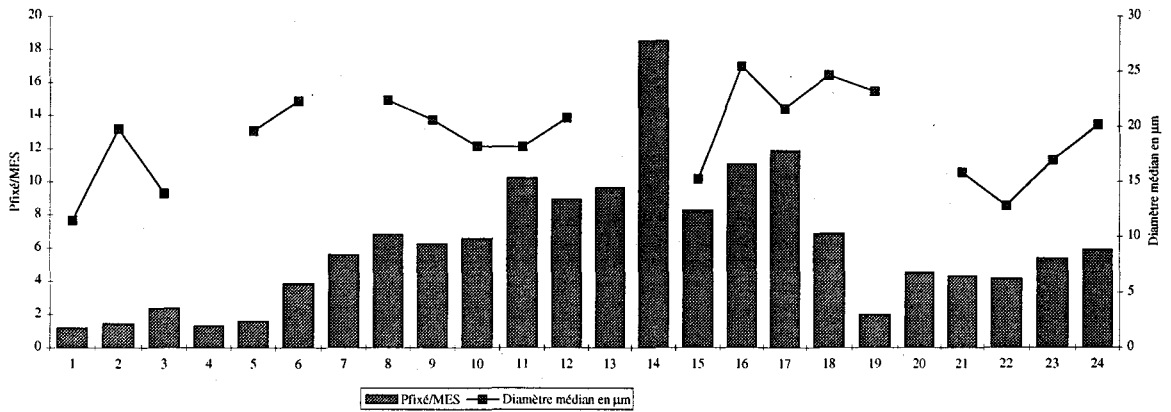


Figure II - 2 - 2 - 1 - h : MO/MES et diamètre médian des échantillons les 6-7 août 1995 à Erlon

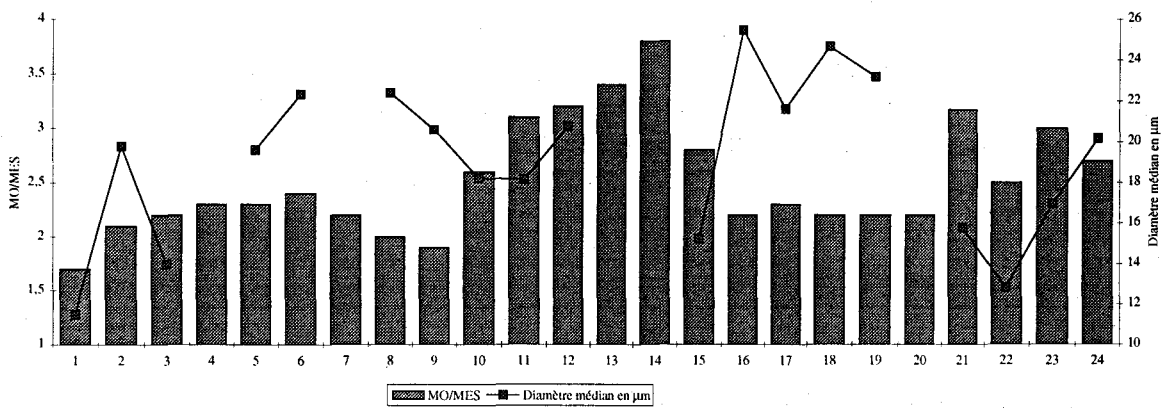


Figure II - 2 - 2 - 1 - i : Diamètres médians des échantillons et Qi les 6-7 août 1995 à Erlon

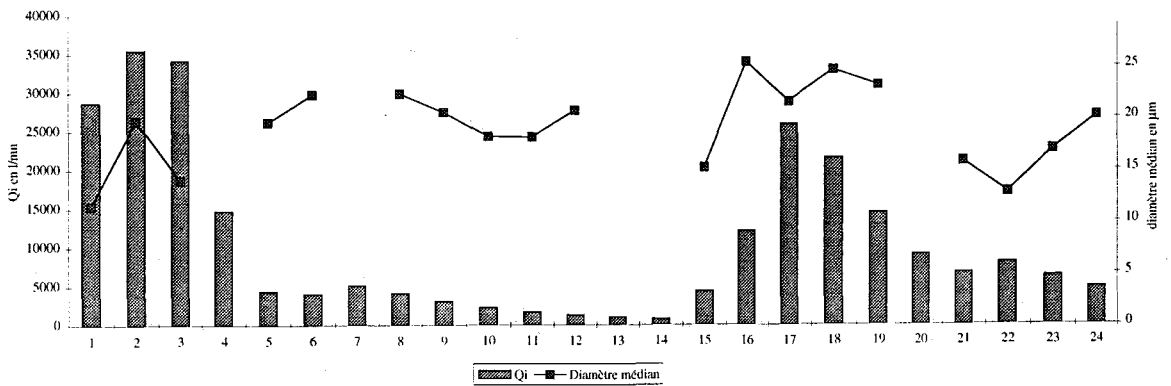
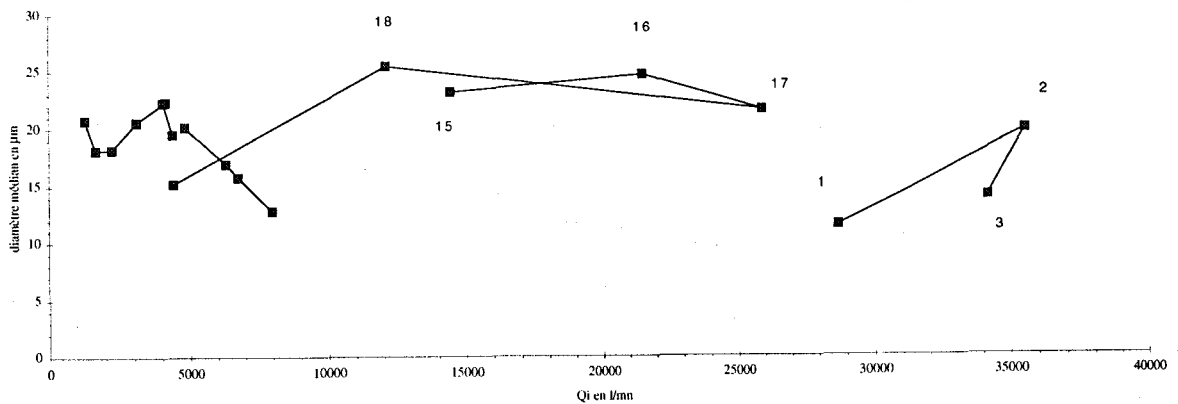


Figure II - 2 - 2 - 1 - j : Diamètres médians des échantillons et Qi les 6-7 août 1995 à Erlon



II - 2 - 2 - 2 - Un appauvrissement en nitrates mais pas en ammonium et en ortho-phosphates au cours du ruissellement

Au cours du ruissellement, la conductivité et les concentrations en chlorures restent élevées. Pour les nitrates, la prise en charge a lieu essentiellement lors du premier écoulement (fortes concentrations) mais le stock présent dans les sols est probablement limité puisque les concentrations sont nettement inférieures lors du second ruissellement (le temps de contact avec les sols étant aussi important car au même moment les concentrations en chlorures sont élevées) (fig. I - 2 - 2 - 2 - a). Au cours de ce ruissellement, les concentrations maximales en nitrates sont néanmoins élevées, ce qui indique que l'azote est encore très présent dans les sols à cette date où l'avancement végétatif est presque maximum et qu'il est facilement mobilisable.

Les nitrates mis en solution peuvent avoir deux origines : le lessivage de la couche superficielle par l'eau de pluie et/ou la solubilisation des nitrates des MES. La première hypothèse paraît plus logique car les concentrations mesurées suivent précisément l'évolution des débits et non celles des MES (qui sont décalées dans le temps). D'ailleurs, dans les deux premiers échantillons, les MES, constituées de sédiments de surface, contiennent probablement peu de nitrates, car ceux-ci ont probablement été entraînés au cours de ruissellements antérieurs. Les concentrations en nitrates et les débits sont à leurs maxima au même moment, ce qui implique que la solubilisation des nitrates est très rapide, ainsi que l'épuisement du stock. En effet, dès le sixième prélèvement (jusqu'au dix-septième), les concentrations sont très faibles. Le temps de contact entre l'eau de pluie et les sols est pourtant toujours élevé, comme en témoignent les teneurs en chlorures et la conductivité élevée. Ceci montre que le réservoir exploré par le premier écoulement est alors épuisé et que tous les nitrates facilement entraînés ont été lessivés. Lors du second pic de débit, les concentrations sont moins élevées et diminuent plus progressivement. Un second stock fournit des nitrates de façon moins abondante mais plus régulière. Ce stock correspond peut être à l'eau interstitielle des sols qui est reprise par les eaux de ruissellement. Une couche de sol plus épaisse a peut-être été explorée par ces eaux de ruissellement.

Si c'est le cas, sur quelle épaisseur ? On peut se livrer à une petite estimation. A cette période de l'année, les trente premiers centimètres des sols contiennent entre 20 et 40 kgN/ha de nitrates. Si une lame d'eau de 10 mm mettait en suspension les nitrates contenus dans les trois premiers centimètres, on obtiendrait des concentrations de l'ordre de 20 à 40 mgN/l et un flux de 36 à 72 kg. Si la lame d'eau était de 75 mm comme au moment du premier débit maximum, on obtiendrait des concentrations de l'ordre de 2,6 à 5,3 mgN/l. Pendant la chute de ces 75 mm, les concentrations réelles varient entre 3 et 10 mgN/l (concentration moyenne au cours du ruissellement : 1,95 mgN/l (tab. I - 2 - 1 - 3 - b). L'ordre de grandeur correspond, mais l'hétérogénéité de la répartition de l'azote inter et intra-parcelles ne permet pas de calculer une épaisseur exacte explorée. De plus, l'épaisseur explorée doit varier dans l'espace : elle est sûrement plus faible sur les versants pentus et plus importante dans les talwegs.

Si les différents ruissellements de l'année n'exploraient cette couche que sur quelques centimètres, la réserve sera rapidement épuisée. Les activités de minéralisation doivent donc être importantes. En effet, l'activité des micro-organismes, et donc la minéralisation, est prépondérante en été et en automne et les teneurs en nitrates des sols baissent peu car les plantes en consomment peu (LHERMINIER, 1991)

L'ammonium, autre forme azotée, se comporte tout autrement que les nitrates. Pourtant instable, car rapidement oxydable, on trouve ce composé en quantité très importante pendant presque tout le ruissellement. Deux pics particulièrement élevés semblent se produire peu après les maxima de débits (fig. II - 2 - 2 - 2 - b). Normalement, la forme nitrique (nitrate) est largement prépondérante sur la forme nitreuse (ammonium). Mais les prélèvements 14, 16 et 17 montrent un rapport NO_3/NH_4 exceptionnellement élevé, indiquant un apport en ammonium plus important (fig. II - 2 - 2 - 2 - c).

Les teneurs en ortho-phosphates apparaissent indépendantes des autres paramètres (Pfixé, débits - sauf le second pic -, conductivité, nitrates, etc.) et aussi moins variable (fig. II - 2 - 2 - 2 - b). Cette constance des valeurs de phosphore soluble confirme l'hypothèse d'une régulation de ces concentrations en relation avec le phosphore fixé sur les MES, mais l'ordre de grandeur différent des deux formes du phosphore empêche toute comparaison.

Figure II - 2 - 2 - 2 - a : Conductivité, chlorures et nitrates, les 6-7 août 1995 à Erlon

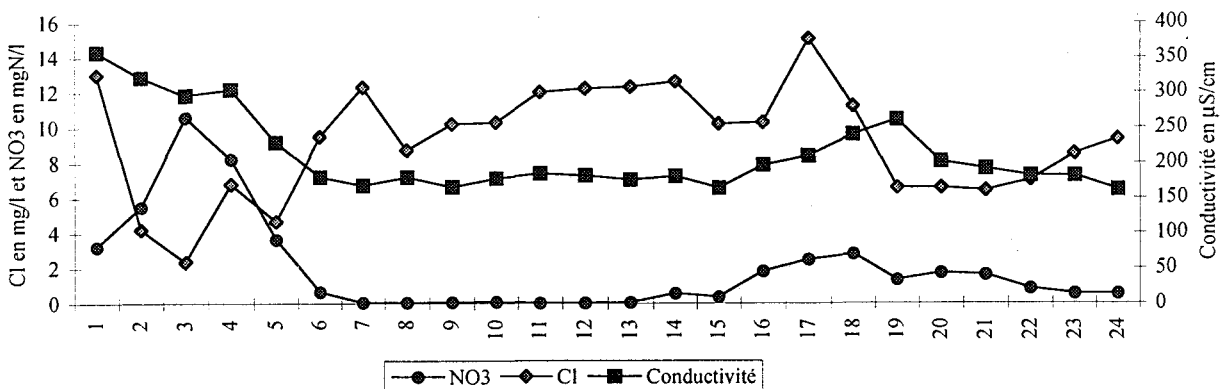


Figure II - 2 - 2 - 2 - b : Ortho-phosphates, ammonium et nitrates, les 6-7 août 1995 à Erlon

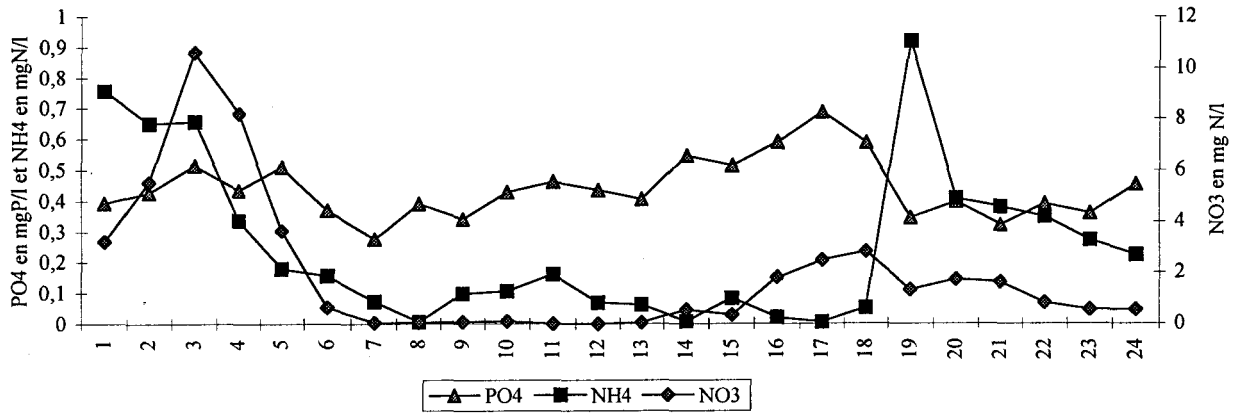
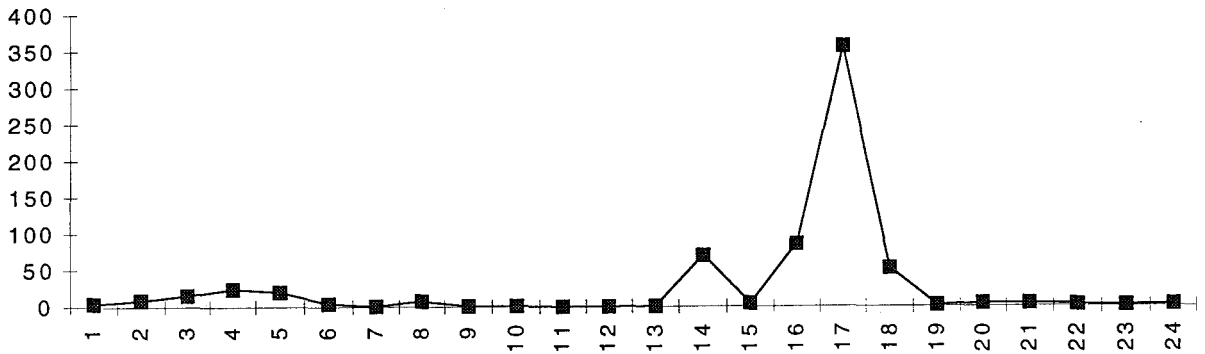


Figure II - 2 - 2 - 2 - c : Rapport nitrates/ammonium, les 6-7 août 1995 à Erlon



06-07 août 1995

n° d'échantillon	Heures de prélèvement
1	23h22 23h25 23h28
2	23h31 23h34 23h37
3	23h40 23h43 23h46
4	23h49 23h52 23h55
5	23h58 00h01 00h04
6	00h07 00h10 00h13
7	00h16 00h19 00h22
8	00h25 00h28 00h31
9	00h34 00h37 00h40
10	00h43 00h46 00h49
11	00h52 00h55 00h58
12	01h01 01h04 01h07

n° d'échantillon	Heures de prélèvement
13	01h10 01h13 01h16
14	01h19 01h22 01h25
15	01h28 01h31 01h34
16	01h37 01h40 01h43
17	01h46 01h49 01h52
18	01h55 01h58 02h01
19	02h04 02h07 02h10
20	02h13 02h16 02h19
21	02h22 02h25 02h28
22	02h31 02h34 02h37
23	02h40 02h43 02h46
24	02h49 02h52 02h55

II - 3 - Flux à l'exutoire et conséquences

II - 3 - 1 - Les sorties : des pertes spécifiques faibles

Tableau II - 3 - 1 - a : Bilan des sorties en MES, phosphore et azote

	Qi max en l/mn	Volume en m ³	MES exp en kg/ha (kg)	Ptot exp en gP/ha (g)	Portho exp en gP/ha (g)	Ntot EF exp en gN/ha (g)	NO3 exp en gN/ha (g)	NH4 exp en gN/ha (g)
15-Oct-93 à Vierzy	700	142,7	0,56 (100)	-	-	-	1,23 (232)	-
10-Nov-93 à Erlon	1 200	57	5,17 (93)	-	-	-	5,83 (105)	-
10-Dec-93 à Erlon	2 000	407	11,61 (209)	-	-	-	14,44 (260)	-
17-Dec-93 à Erlon	585	142	5,00 (90)	-	-	-	7,61 (137)	-
19-Dec-93 à Erlon	2 150	190	33,33 (600)	-	-	-	31,94 (575)	-
20-Dec-93 à Vierzy	6 300	1424,6	6,02 (1083)	-	-	-	6,07 (1 092)	-
03-Jan-94 à Vierzy	960	64,7	0,43 (77)	-	-	-	0,26 (47)	-
04-Jan-94 à Erlon	1 250	68	2,00 (36)	-	-	-	1,17 (21)	-
16-Jan-94 à Erlon	985	408	18,1 (326)	-	-	-	5,23 (95)	-
27-Jan-94 à Erlon	1 400	110	3,78 (65)	-	-	-	0,89 (16)	-
24-Mai-94 à Erlon	901	13	28 (500)	12,8 (230)	0,46 (8,3)	9,7 (175)	7,4 (134)	2,1 (37)
25-Jan-95 à Vierzy	306	21	1,4 (245)	1,3 (235)	0,6 (104)	6,3 (1129)	2,5 (455)	0,08 (15,6)
6-7-Août-95 à Erlon	39 042	2 550	20 200 (364 200)	3 289 (59 200)	66,7 (1 200)	672,2 (12 100)	488,9 (8 800)	50 (900)

On note une grande variabilité des résultats, en valeur absolue ou en valeur spécifique, d'un bassin à l'autre et dans un même bassin.

Les pertes en valeur absolue (en g) d' N sont moins élevées en hiver en relation avec l'épuisement dans les sols après les récoltes et les premiers ruissellements. Elles sont aussi moins importantes quand les ruissellements sont courts (le 24 mai 1994 à Erlon). Les pertes en phosphore total sont, quant à elles, en étroites relation avec les MES et donc tous les paramètres qui conditionnent l'érosion (pente, stabilité des sols, perméabilité, etc.). Il est reconnu que la saison hivernale est plus favorable au transfert du phosphore, car c'est la plus sensible à l'érosion : les sols sont saturés et les pluies abondantes (KHALEEL et al, 1980, *in* PILLEBOUE, 1987). Mais un ruissellement court et chargé en MES, comme en mai, entraîne aussi de fortes pertes.

Pour un événement, les exportations de phosphore total varient de 1,3 g/ha à 3 kg/ha (tab. ci-dessus). Cette dernière valeur est très supérieure aux exportations annuelles sur bassins versants (DORIOZ et al, 1996). Elle est en étroite relation avec la forte charge solide. L'importante concentration en MES et en phosphore total au cours du ruissellement du 6-7 août 1995 à Erlon s'explique par la puissance du ruissellement. En effet, la puissante masse d'eau en mouvement a entraîné une sorte de coulée de fond très riche en sédiments. Ces sédiments ont contribué à augmenter la charge en phosphore total.

Les pertes sont plus fortes à Erlon qu'à Vierzy. Mais il est difficile d'attribuer cette différence à un facteur ou un autre car la pente, les façons culturales, l'occupation du sol, etc. peuvent intervenir et s'additionner. La bibliographie, volumineuse, insiste sur cette combinaison de facteurs. Par exemple, lorsque la pente passe de 8 à 20 %, les pertes d'azote et de phosphore peuvent, respectivement être multipliées par deux et trois (INGRAM et PORGES, 1984, *in* PILLEBOUE, 1987). Par ailleurs, les façons culturales interviennent aussi, en particulier les pertes en phosphore peuvent être multipliées par quatre selon le type de labour (TILCHE, 1982, *in* PILLEBOUE, 1987). En ce qui concerne la fertilisation, plus les apports sont importants, plus les pertes le sont (BAKER et LAFLEN, 1982, *in* PILLEBOUE, 1987). Les engrais liquides sont plus facilement lessivés et les engrais solides sont érodés (SHARPHEY, 1981, *in* PILLEBOUE, 1987). La fumure organique est nettement plus sensible aux pertes par érosion que la fumure minérale. Comme pour les MES, il est impossible d'associer les différences d'exportation à un facteur unique

II - 3 - 2 - Entrées agricoles et sorties par ruissellement/érosion : une faible proportion

Etablir un bilan annuel des sorties en azote et en phosphore, en extrapolant pour les petits ruissellements, est impossible car il n'existe pas de relation directe entre les débits (données disponibles) et les transferts en N et K. La relation qui lie les débits aux concentrations dépend de trop nombreux facteurs et elle est beaucoup moins simple que pour les MES. On peut donc totaliser les résultats obtenus et dire qu'il y a au moins eu X kg/ha d'exportés du bassin (tab. II - 3 - 2 - a).

Les apports d'azote et de phosphore ont été calculés en annexe 19 d'après les informations fournies par les agriculteurs. Ils prennent en compte les fumures minérales et les fumures organiques comme les vinasses, les boues Agricel, etc.

Tableau II - 3 - 2 - a : Bilan des entrées agricoles et des sorties par ruissellement/érosion du phosphore et de l'azote à Erlon

	N en kgN/ha			P en kgP/ha		
	entrée (1)	sortie (2)	rapport en %	entrée (3)	sortie (3)	rapport en %
1993	177	> 0,0598	> 0,03 %	111	-	
1994	191	> 0,0147	> 0,007 %	106	> 0,0128	> 0,012 %
1995	112	> 0,4889	> 0,43 %	100	> 3,289	> 3,28

Nota bene: Les apports d'azote et de phosphore ont baissé au cours de ces trois années, en relation avec la composition des assolements et non en raison d'une baisse de la consommation. Par exemple, la fertilisation azotée est moins importante sur betterave que sur blé et elle est nulle sur pois. Si les assolements sont davantage composés de pois et de betteraves que de céréales, les moyennes sur le bassin baissent.

(1) somme des formes nitriques et nitreuses

(2) somme des formes nitriques

(3) somme du phosphore total

Tableau I - 3 - 2 - b : Bilan des entrées agricoles et des sorties par ruissellement/érosion du phosphore et de l'azote à Vierzy

	N en kgN/ha			P en kgP/ha		
	entrée (1)	sortie (2)	rapport en %	entrée (3)	sortie (3)	rapport en %
1993	219	> 0,0073	> 0,0033 %	54	-	
1994	141	> 0,00026	> 0,0001 %	43	-	
1995	189	>> 2,5 (*)	> 1,32 %	46	>> 0,0013(*)	>> 0,0028 %

(*) probablement très supérieur en raison du gros orage de juillet.

(1) somme des formes nitriques et nitreuses

(2) somme des formes nitriques

(3) somme du phosphore total

Bien que les pertes par ruissellement soient sous-estimées, elles sont très faibles proportionnellement aux apports. Même dans le cas d'un important orage comme celui d'août, les exportations ne concernent que 3 % du P apportés et 0,2 % d'N. D'autres voies de départs existent mis à part la rétention par les sols : le prélèvement par les cultures, essentiel, et aussi le lessivage par les eaux de percolation (pas pour le phosphore, peu soluble, mais pour les nitrates).

II - 4 - Pertes solubles par percolation

II - 4 - 1 - Perte d'azote par lessivage : exemple de l'hiver 1993

II - 4 - 1 - 1 - Une méthode d'évaluation simplifiée

L'estimation des pertes d'azote par lessivage a été réalisée à l'aide d'une méthode simple (LHERMINIER, 1991), l'objectif étant d'obtenir un ordre de grandeur du lessivage sur les deux bassins versants (bilan des entrées/sorties, comparaison avec les concentrations dans les eaux de sources et dans le ruissellement hypodermique).

Sur les bases de la littérature, on considère que les trois principales transformations qui affectent les formes de l'azote sont le prélèvement par les cultures (noté P), la minéralisation (ou nitrification, notée M) et le lessivage (noté L). Ainsi pour une période séparant deux analyses (t - (t-1)), la différence de teneur en azote dans l'espace racinaire (Nt - Nt-1) peut être estimée de la façon suivante :

$$N_t - N_{t-1} = (P_t - P_{t-1}) + (M_t - M_{t-1}) + (L_t - L_{t-1})$$

hypothèse 1 : en l'absence de végétation, en hiver par exemple, on considère le prélèvement en azote nul. Même si des adventices peuvent pousser pendant ce temps.

hypothèse 2 : la minéralisation n'est pas nulle. Elle est considérée dominante quand (Nt - Nt-1) augmente significativement.

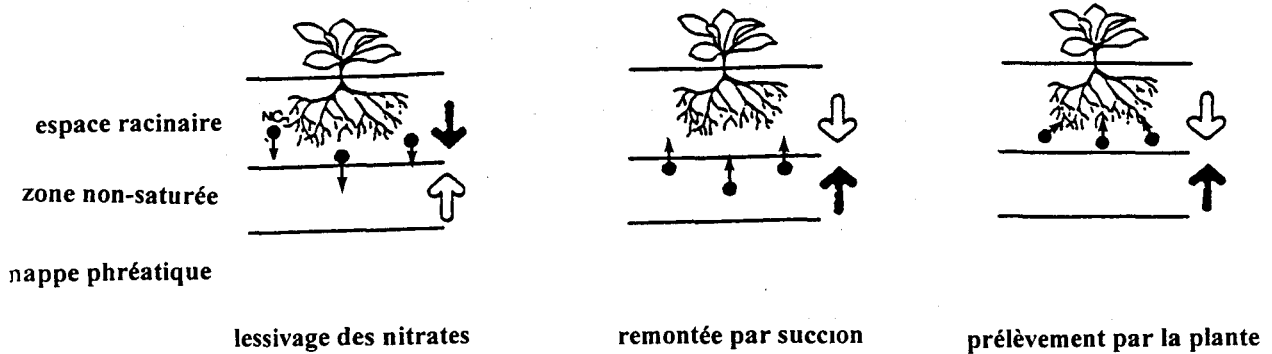
hypothèse 3 : le lessivage n'est pas nul, quand le drainage a repris et quand (Nt - Nt-1) diminue.

hypothèse 4 : l'azote qui est sortie de l'espace racinaire (0 - 80 cm environ) est considéré comme entièrement lessivable en période hivernale. On considère que les possibilités de reprise par la culture suivante sont nulles.

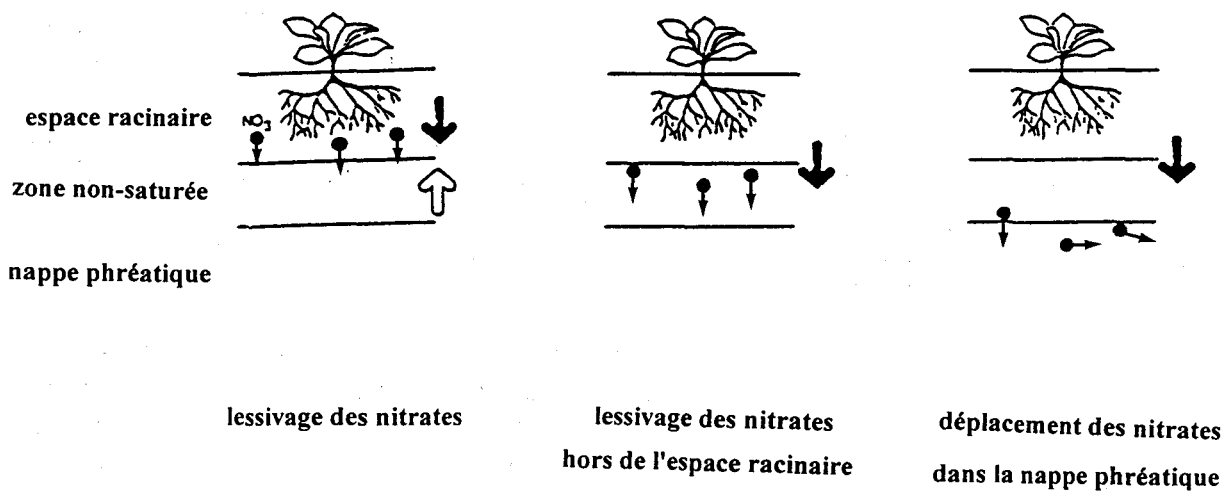
hypothèse 5 : il n'existe pas de remontée capillaire d'eau et d'azote, d'une part, parce qu'il n'y a pas de végétation prélevant d'eau et, d'autre part, parce que le bilan hydrique est positif pendant toute la période et que les mouvements d'eau se font uniquement vers le bas.

Figure II - 4 - 1 - 1 - a : Mouvements des nitrates dans les sols (LHERMINIER, 1991)

Migration réversible des nitrates



Migration irréversible des nitrates



Le lessivage est estimé par le modèle "piston" proposé par Sontheimer-Rohmann (in LHERMINIER, 1991) : si l'on verse sur une colonne de sol à la capacité au champ ($pf = 1,8$) une quantité d'eau égale à cette même capacité au champ le front de nitrates sera lessivé d'un mètre, sachant que la cinétique des nitrates (qui représente l'essentiel de l'azote minéral des sols) suit celle de l'eau lorsque $pf = 1,8$. Cette quantité d'eau est d'environ 75 mm pour les sols sableux, 150 mm pour les sols limoneux et 225 mm pour les sols argileux.

Pour une épaisseur de sol de 80-90 cm (espace racinaire), cette lame d'eau descend à 120-135 mm pour les sols limoneux, sols présents sur les sites étudiés. Ce qui veut dire que lorsque la capacité au champ est atteinte, que 120 mm sont tombés, le front de nitrates est descendu à la limite de l'espace racinaire, donc considéré comme lessivé (*).

En tenant compte de ces constats, les analyses de sols ont été réalisées à trois périodes : après la récolte, c'est-à-dire avant la reprise du lessivage (18-19 septembre 1993), avant la fin du lessivage (8-9 décembre 1993) et après la fin du lessivage (10-11 mars 1994).

(*) Les sources d'erreurs sont évidemment assez nombreuses (période de minéralisation superposée à celle de lessivage, pas de prise en compte des pertes gazeuses par dénitrification, etc.), mais la cohérence des résultats, comparés à la littérature, permet d'accepter ces hypothèses (LHERMINIER, 1991).

Le lessivage se produit, en général, entre novembre et avril. Les dates et le volume d'eau drainé sont estimés à l'aide des bilans hydriques (annexe 20). Au cours de l'hiver 1993-94, les bilans hydriques indiquent une reprise des percolations dès la première décade d'octobre à Vierzy et dès la première décade de novembre à Erlon. Les 120 mm, théoriquement nécessaire à l'entraînement des nitrates sur une hauteur de 80-90 cm, sont atteints à la fin de la première décade de novembre à Vierzy et vers la mi-décembre à Erlon (cette lame d'eau correspond à un écoulement de 118,5 mm à Vierzy et 54,9 mm à Erlon). A ces dates, l'essentiel du lessivage doit donc s'être produit. Toutefois, des percolations plus réduites se poursuivent jusqu'en février-mars comme l'indique le bilan hydrique.

Par ailleurs, les teneurs en nitrates n'étant pas homogènes entre 0 et 90 cm de profondeur, le sol est divisé en trois couches (0-30 cm, 30-60 cm et 60-90 cm) pour chacune desquelles les analyses ont été réalisées. Lorsque le bilan hydrique est excédentaire, chaque couche reçoit de l'horizon supérieur et/ou fournit à l'horizon inférieur un flux d'eau et d'azote minéral.

II - 4 - 1 - 2 - Estimation du lessivage

Normalement lorsqu'il y a percolation d'azote, les profils d'azote s'inversent : l'azote des horizons supérieurs migre vers les horizons inférieurs, les premiers s'appauvrissent, les derniers s'enrichissent. C'est bien ce qui se produit à Erlon : entre septembre et décembre, l'azote a migré vers les horizons inférieurs (fig. II - 4 - 1 - 2 - a ci-après). L'évaluation des pertes est donc simplifiée : elle correspond à l'azote déplacé vers le bas. En mars, on constate déjà un enrichissement en azote dans les horizons 0-30 cm et 30-60 cm liés aux apports agricoles de février et mars (tab. II - 4 - 1 - 2 - a ci-après). Mais à cette date, les percolations prennent fin, cet azote restera donc dans ces horizons où il sera puisé par les cultures. Le calcul des pertes se fait donc sur la période septembre/décembre, en sachant qu'il y a une légère sous estimation car les percolations, mêmes faibles, vont se poursuivre jusqu'en février. Toutefois, l'entraînement d'azote sera probablement de faible ampleur car les sols sont déjà appauvris et la minéralisation est lente (les résultats bruts et des exemples de calculs sont donnés en annexe 20).

Entre le 18 septembre 1993 et le 9 décembre 1993, on estime donc (tab. II - 4 - 1 - 2 - a ci-après) entre 18 et 40 kgN/ha - selon les parcelles - d'azote sortie de l'espace racinaire. Les pertes sont les plus élevées après culture de blé et apport de vinasse (parcelle 2). La parcelle concernée est aussi la parcelle qui présentait les plus forts reliquats en septembre. De plus, les pertes montent à plus de 60 kgN/ha, si l'on prend en compte les résultats de mars. Les deux autres parcelles (3 et 5) présentent des pertes plus modestes (18,8 et 20,3 kgN/ha), mais le pool mesuré en septembre était aussi bien inférieur à celui de la parcelle 2. A noter, les betteraves (parcelle 5) étaient encore en place en septembre : elles ont pu prélever une partie des 20,3 kgN/ha, mais faible, car à cette date, elles sont à maturité.

Les profils d'azote observés à Vierzy présentent une tendance inverse. Initialement moins riches en azote que ceux d'Erlon, ils s'enrichissent (fig. II - 4 - 1 - 2 - b ci-après) entre septembre et décembre. Le lessivage se superpose à une activité de minéralisation qu'il faut déduire. Bien que le drainage ait théoriquement repris plus tôt qu'à Erlon les transferts d'azote se font entre décembre et mars (voir le détail des calculs en annexe 20). Les mouvements dans les sols semblent plus lents qu'à Erlon, ce qui confirme les conclusions données suite à l'observation des coefficients de ruissellement (2ème Partie). La percolation et le ressuyage du sol apparaissent moins rapide à Vierzy qu'à Erlon. Les sols étant initialement moins pourvus qu'à Erlon, les pertes sont moins importantes à Vierzy : 10 à 25 kgN/ha, mais la différence entre parcelles reste élevée.

Figure II - 4 - 1 - 2 - b : Profils d'azote aux trois dates de prélèvement (19 septembre 1993, 8 décembre 1993 et 11 mars 1994) à Vierzy

Les parcelles sont globalement moins riches en nitrates que celles d'Erlon, en particulier la 0 et la 2, cultivées par H. Moquet.

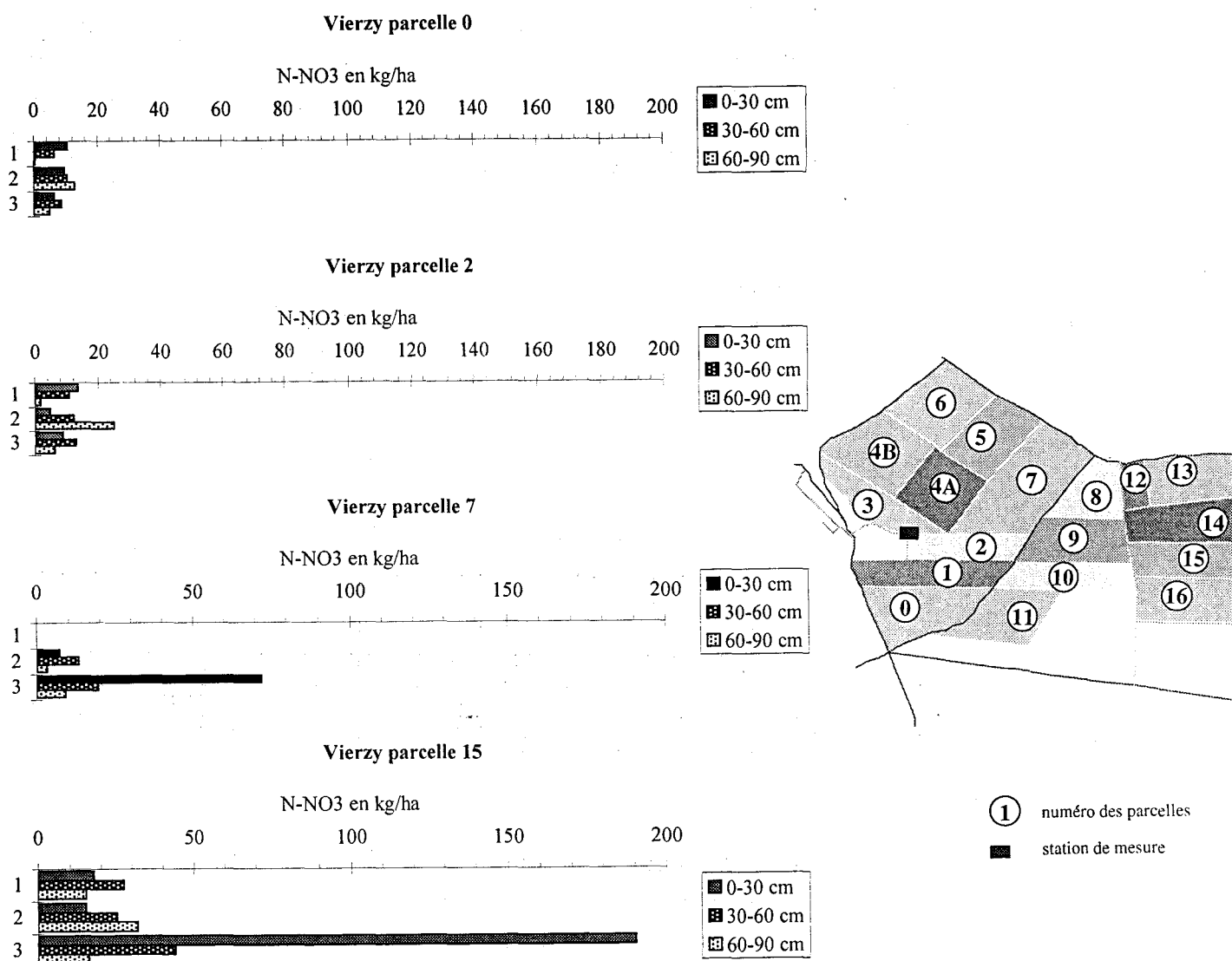


Figure II - 4 - 1 - 2 - a : Profils d'azote aux trois dates de prélèvement (18 septembre 1993, 9 décembre 1993 et 11 mars 1993) à Erlon

En septembre, l'horizon supérieur de la parcelle 2 est encore riche en nitrates, fortement susceptibles d'être lessivés au cours de l'automne. En mars, les parcelles sont déjà pourvues en azote pour les semis à venir.

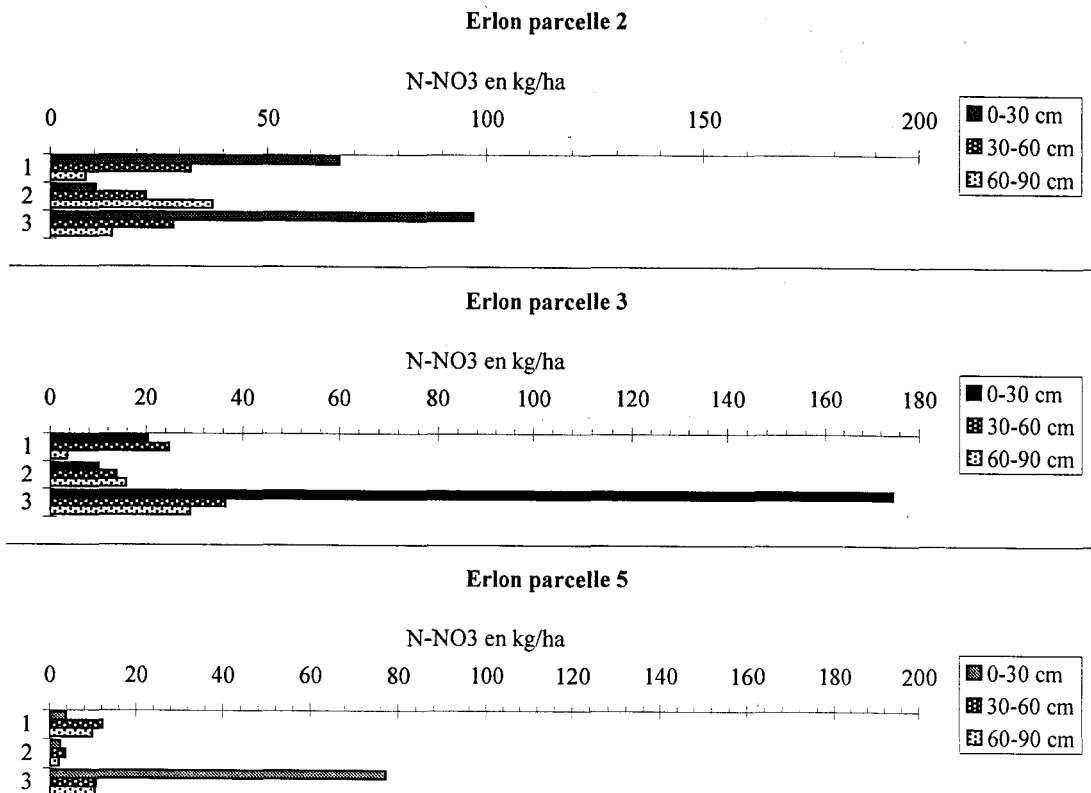


Tableau II - 4 - 1 - 2 - a : Pertes estimées d'azote à Erlon au cours de l'hiver 1993-94

	N-NH4 kg/ha	N-NO3 kg/ha	N MINÉRAL kg/ha
Parcelle 2	+ 4,3 (L)	+ 37,6 (L)	+ 41,6 (L)
Parcelle 3	+ 0,3 (L)	+ 9,2 (L)	+ 18,8 (L)
Parcelle 5	+ 2,5 (L)	+ 17,8 (L)	+ 20,3 (L)

(L) lessivage

(M) minéralisation

Tableau II - 4 - 1 - 2 - b : Pertes estimées d'azote à Vierzy au cours de l'hiver 1993-94

	N-NH4 kg/ha	N-NO3 kg/ha	N MINÉRAL kg/ha
Parcelle 0	+ 4,2 (L)	+ 12,9 (L)	+ 25,0 (L)
Parcelle 2	+ 2,8 (L)	+ 14,0 (L)	+ 16,6 (L)
Parcelle 7	-	-	-
Parcelle 15	+ 1,9 (L)	+ 15,8 (L)	+ 9,9 (L)

(L) lessivage

(M) minéralisation

Les grandes différences entre les parcelles (2 à Erlon et 2 à Vierzy par exemple) ne s'expliquent pas par les dernières pratiques culturales (tab. II - 4 - 1 - 2 - c). Elles résultent peut être des prélèvements par les plantes (dates de mise en culture, développement) ou des réserve des sols en début de saison. La différence de la fertilisation printanière pour ces deux parcelles ne semble pas être le facteur explicatif (tab. II - 4 - 1 - 2 - d). Pourtant, une fertilisation azotée moindre semble intervenir sur les pertes par lessivage (parcelles 3 à Erlon et 15 à Vierzy).

Tableau II - 4 - 1 - 2 - c : Dates de prélèvements pour analyses d'azote par rapport aux dates de récolte des cultures

Site	Parcelle	Cultures 1993/1994	Itinéraire technique et apports d'azote (uniquement) (*)
Erlon	2	blé/betteraves	moisson 10/08/93, vinasse 12/08/93, déchaumage 12/08/93, défécation 13/08/93, labour 15/02/94, semis 12/04/94, 156 uN/ha N39% 16/02/94
Erlon	3	orge/maïs	moisson 30/07/93, déchaumage 12/08/93, défécation 13/08/93, labour 06/11/93, semis 16/04/94, 156 uN/ha N39% 16/02/94
Erlon	5	betteraves/orge	récolte 12/10/93 au 12/11/93, labour 02/02/94, 80 uN/ha 16,14,16, semis 11/03/94
Vierzy	0	blé/betteraves	moisson 02 au 9/08/93, vinasse mi 08, labour 29/11/93, germinator 22/04/94, semis 24/04/94
Vierzy	2	blé/orge	moisson 8/08/93, labour 20/01/94, semis 30/03/94
Vierzy	7	betteraves/blé	récolte 15 au 30/10/93, labour 8 au 10/11/93, herse rotative et semoir 10/11/93, 65 uN/ha N27% 21/02/94
Vierzy	15	blé/betteraves	moisson 08/08/93, Agricel 10/08/93, labour 15/11/93, 156 uN/ha N30/39% 15/02/94, semis 29/04/94

(*) Description des fertilisants azotés utilisés, voir 2ème Partie, I - 4 - 2 - 2

Tableau II - 4 - 1 - 2 - d : Bilan des entrées et des sorties d'azote

Site	Parcelle	Culture 1993	Apport total en kgN/ha	Nature des apports de N et dates (**)	Rendements en qx/ha ou t/ha	Exportations par les récoltes (*) en kgN/ha	Sortie par lessivage en kgN/ha
Erlon	2	blé	178	70 N27% 12/02/93 78 N39% 12/03/93 30 N27% 12/05/93	90	130 (90-160)	41,6
Erlon	3	orge	120	120 N39% 20/03/93	75	90 (60-150)	18,8
Erlon	5	betteraves	146	146 N39% 02/03/93	63	100 (80-120)	20,3
Vierzy	0	blé	170	50 N27% 15/02/93 120 N27% 16/03/93	81,6 et 87 (2 variétés)	130 (90-160)	25,0
Vierzy	2	blé	197	50 N27% 15/02/93 120 N27% 18/03/93 27 N27% 20/04/93	82	130 (90-160)	16,6
Vierzy	7	betteraves		120 N39% 04/03/93	-	100 (80-120)	-
Vierzy	15	blé	152	52 N30/39 10/02/93 100 N30/39 11/03/93	85,6	130 (90-160)	9,9

(*) moyenne (minimum-maximum) d'après bibliographie (MACHET, 1989)

(**) Description des fertilisants azotés utilisés, voir 2ème Partie, I - 4 - 2 - 2

(**) Les apports atmosphériques varient entre 5 à 10 kgN/ha/an (voir 3ème Partie I - 2 - 1 - 2), mais on considère souvent que ces apports sont compensés par les pertes gazeuses (dénitrification et volatilisation).

Les lames d'eau mesurées à l'exutoire n'ont pas été prises en compte dans le calcul du bilan hydrique. De même que les flux de NO₃ à la sortie du bassin n'ont pas été inclus dans les estimations du lessivage d'azote, et ceci pour deux raisons.

Le bilan par décade des ruissellements de surface et les sorties en NO₃ dans les eaux de ruissellement donnent des résultats très faibles lorsque l'on rapporte aux unités du bilan : mm/ha et kgN/ha. Par exemple à Erlon, au cours de la seconde décade de décembre, on totalise à l'exutoire 1 265 m³, soit 7 mm/ha (pour un bassin versant de 18 ha) et 14 gN/ha de nitrate. Sur la même période, d'après les bilans hydriques et d'azote, 112 mm percolent et le flux de nitrates est d'environ 20 kgN/ha. A Vierzy, le constat est le même, au cours de la seconde décade de décembre, on totalise 970 m³, soit 0,5 mm/ha (pour un bassin versant de 180 ha) et 6 gN/ha de nitrate. Sur la même période, 76,7 mm percolent et le flux de nitrates est d'environ 15 kgN/ha (totalité des calculs en annexe 20).

Par ailleurs, les ruissellements de surface ne sont par forcément liés à la reconstitution de la réserve utile et peuvent se produire suite à une dégradation des états de surface (comme les chantiers de récoltes). C'est ce qui ce produit les 14 et 15 octobre à Vierzy où un ruissellement de surface se déclenche alors que les sols ne sont pas saturés en eau sur une forte épaisseur.

II - 4 - 1 - 3 - Comparaison des concentrations et des sorties en azote par lessivage et par ruissellement

Les chiffres cités ci-dessus montrent que les flux de nitrates sont bien inférieurs dans les ruissellements superficiels que dans les percolations. Deux facteurs explicatifs s'imposent. D'une part, les ruissellements de surface sont épisodiques, alors que les percolations durent tout l'hiver. D'autre part, dans le premier cas, seule la partie superficielle du sol est lessivée, dans le second, c'est toute l'épaisseur de sol qui est nettoyée par les eaux. Il est donc naturel que les flux soient supérieurs dans le cas de drainage. Toutefois, si les flux de surface et de percolation apparaissent disproportionnés, les concentrations semblent être du même ordre de grandeur. Dans le tableau ci-dessous (tab. II - 4 - 1 - 3 - a), on estime à 5 mgN/l de nitrates la concentration moyenne dans les eaux de percolation, avec une variation de 0,6 à 13 mgN/l de nitrates selon les parcelles. Dans les eaux de surface, sur la période d'octobre 1993 à janvier 1994, les concentrations dans les eaux de surface oscillent entre 0,01 et 6,4 mgN/l de nitrates. Dans un cas, la minéralisation lente dans les sols ne libère que graduellement des nitrates assurant une constance des apports, mais avec des ordres de grandeur différents en fonction des parcelles (les résultats par parcelle sont très hétérogènes). Dans le second, le ruissellement de surface entraîne des nitrates dans chacune des parcelles mais n'explore que l'horizon de surface.

Tableau II - 4 - 1 - 3 - a : Ordre de grandeur des concentrations en nitrates dans les eaux de percolation

	Surface en ha	Lame d'eau percolée en mm	N-NH4 lessivé en kg/ha	N-NO3 lessivé en kg/ha	N minéral lessivé en kg/ha	Volume d'eau lessivé en m ³	Concentration NO3 en mgN/l	NO3 lessivé en KgN
Parcelle 2	8,5	289,4	+ 4,3	+ 37,6	+ 41,6	24 600	13,01	320
Parcelle 3	8,5	289,4	+ 0,3	+ 9,2	+ 18,8	24 600	0,65	78
Parcelle 5	6,7	289,4	+ 2,5	+ 17,8	+ 20,3	19 390	6,19	120
Parcelle 0	23,3	342,7	+ 4,2	+ 12,9	+ 25,0	79 850	3,76	300
Parcelle 2	12,12	342,7	+ 2,8	+ 14,0	+ 16,6	41 540	4,09	170
Parcelle 7	33,26	342,7	-	-	-	113 980	-	-
Parcelle 15	19,5	342,7	+ 1,9	+ 15,8	+ 9,9	66 830	4,61	308
Moyenne							5,38	

La relation entre les concentrations dans les sols et dans les eaux de ruissellements n'est pas évidente. Toutefois, si les eaux de ruissellement de surface montrent au cours de l'hiver (tab. II - 4 - 1 - 3 - b) ou au cours d'un écoulement un appauvrissement en nitrates (certains écoulements peuvent présenter des concentrations inférieures à 1 mgN/l), un second pic d'écoulement ou un autre écoulement plus tardif peut monter une très légère ré-augmentation des teneurs en nitrates (voir fig. II - 4 - 1 - 3 - a ci-après). D'où vient cet azote ? Les eaux de surface peuvent explorer une épaisseur de sols plus importante qui fournit "un plus" en nitrates. Si l'on compare les ordres de grandeur entre l'azote en solution dans le sol et entre celui des eaux de ruissellements, on n'observe pas de lien direct (tab. II - 4 - 1 - 3 - a et chapitre ci-après). En hiver, les concentrations dans les sols sont bien supérieures. Mais les sols fournissent toujours un peu d'azote aux eaux de surface.

Tableau II - 4 - 1 - 3 - b : Appauvrissement des teneurs en nitrates au cours de successifs

Erlon	min. en mgN/l	max. en mgN/l
10-nov-1993	1,6 (1)	2,7 (1)
10-dec-1993	1,8 (1)	2,7 (1)
17-dec-1993	1,3 (1)	2,5 (1)
20-dec-1993	< 0,1 (2)	< 0,1 (2)

Vierzy	min. en mgN/l	max. en mgN/l
15-oct-1993	0,7 (1)	6,4 (1)
20-dec-1993	0,2 (1)	1,3 (1)
3-janv-1994	0,5 (1)	1,7 (1)

(1) prélèvements automatiques

(2) prélèvements manuels

Nota bene : pour obtenir la concentration en mg/l de nitrates, on multiplie la concentration du tableau par 4,429

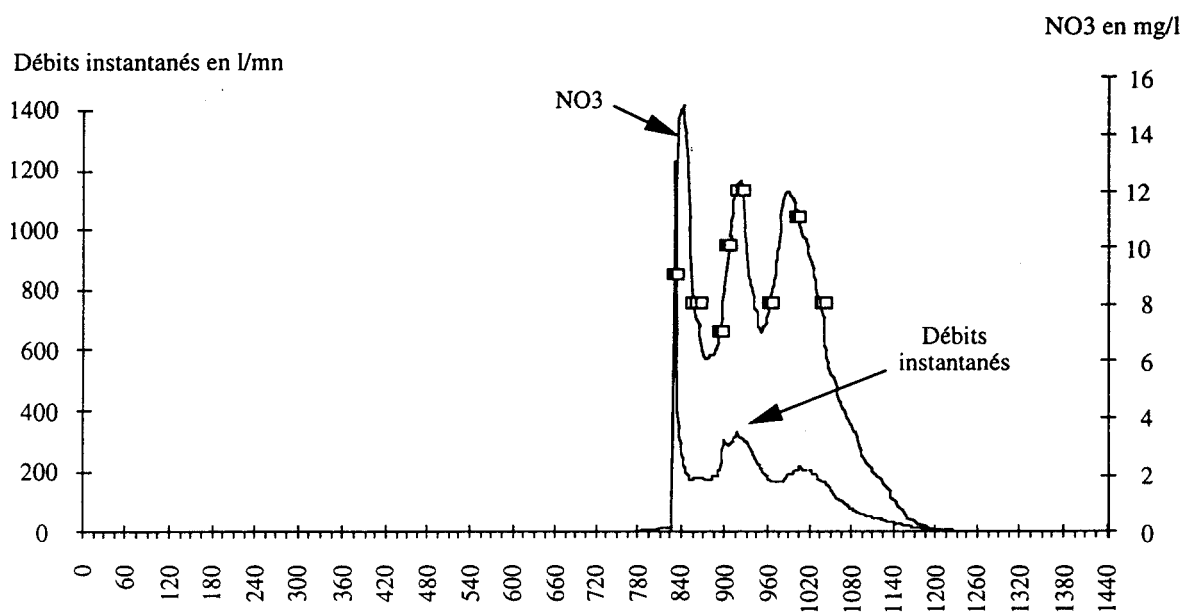
Figure II - 4 - 1 - 3 - a : Evolution des teneurs en nitrates au cours du ruissellement du 10 novembre 1993 à Erlon (ANGELIAUME et al, 1994)

L'évolution des nitrates est sensiblement parallèle à celle des débits, mais les deuxième et troisième pics sont, proportionnellement aux débits, plus chargés, montrant ainsi un apport du sol.

Précipitations (mm) en fonction du temps en mn le 10 novembre 1993



Précipitations en mm

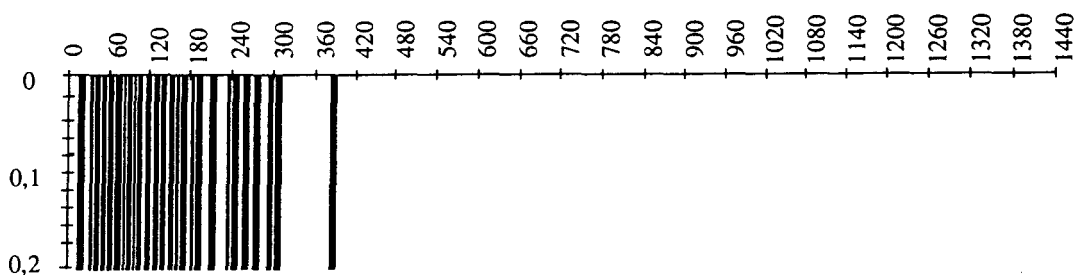


Nitrates et débits instantanés en fonction du temps en mn le 10 novembre 1993

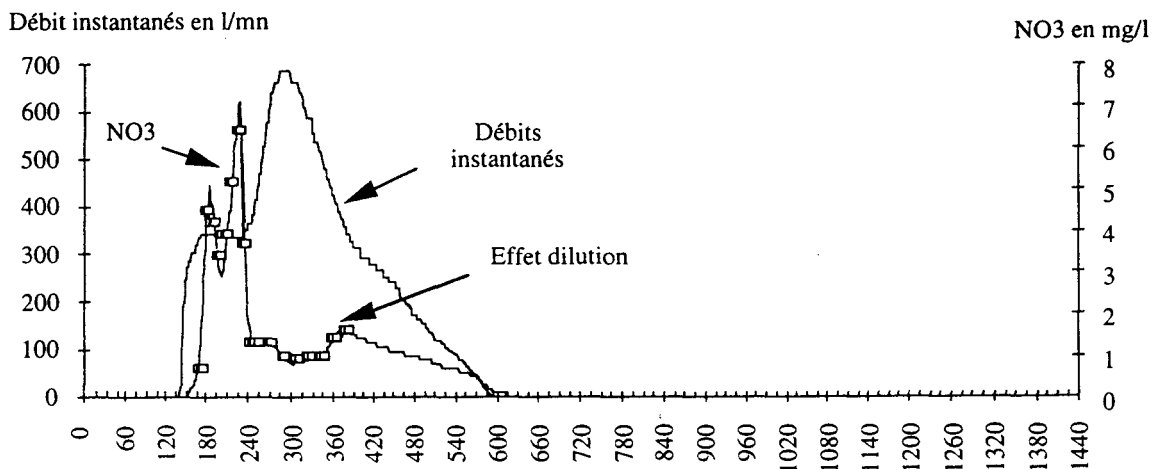
Figure II - 4 - 1 - 3 - b : Evolution de teneurs en nitrate au cours du ruissellement du 15 octobre 1993 à Vierzy (ANGELIAUME et al, 1994)

La seconde "vague" de ruissellement semble diluer les nitrates.

Précipitations (mm) en fonction du temps en mn le 15 octobre 1993



Précipitations en mm



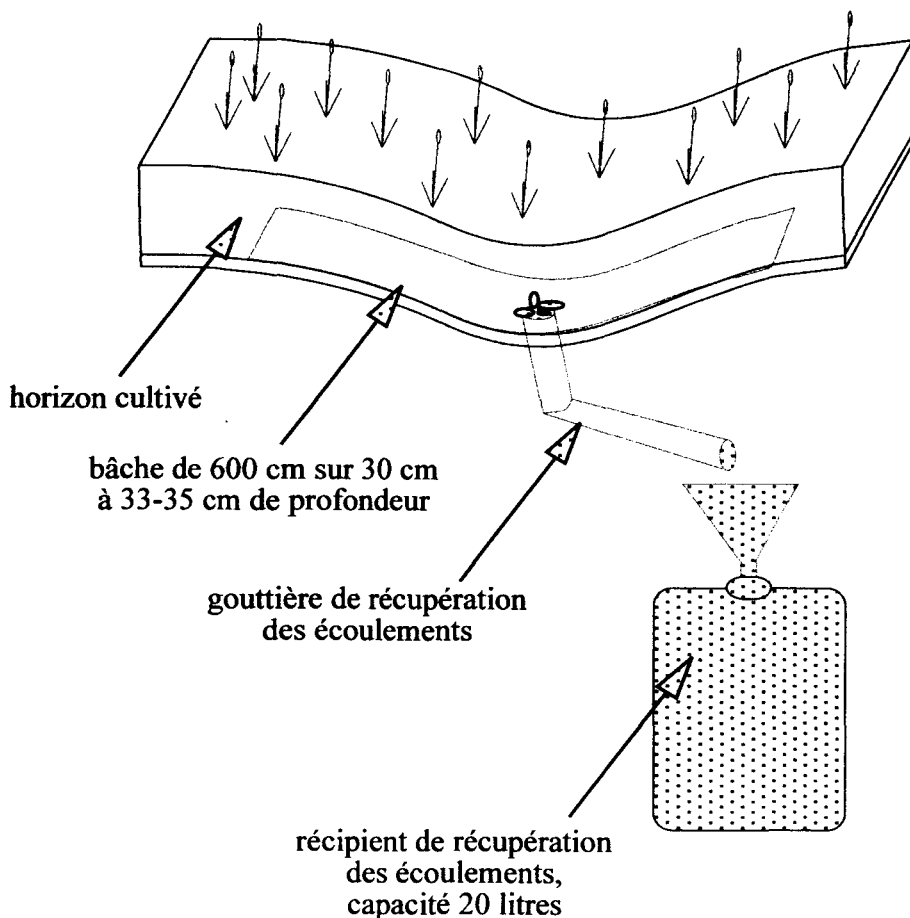
Nitrates et débits instantanés en fonction du temps en mn le 15 octobre 1993

II - 4 - 2 - Les écoulements subsuperficiels

Il est possible d'envisager l'existence de mouvements d'eau autres qu'en surface du sol ou vertical : des ruissellements obliques ou verticaux, mais sous la surface, dans le sol, peuvent avoir lieu. Ces écoulements dits subsuperficiels pourraient expliquer les variations des teneurs en azote soluble. Ils jouent, en effet, un rôle fondamental dans les transferts d'eau et de matières (WICHEREK, 1995 ; DE CONINK et al, 1991). C'est le cas par exemple du drainage agricole (PENVEN, MUXART, 1995) observé sur le bassin versant de l'Orgeval, qui entraîne, en général, des exportations négligeables, sauf pendant la saison d'intenses drainages où les exportations peuvent être aussi importantes dans un drain que dans le cours d'eau. Dans le cas des bassins versants, il n'existe pas de drainage agricole, mais des écoulements résurgents ont été observés dans le talweg principal d'Erlon au cours de l'hiver 1993-94 (F. Grégoire, comm. orale 1993). Suite à ce constat, un dispositif expérimental a été mis en place au cours de l'hiver 1994-95.

A l'amont immédiat des stations de mesure, dans le talweg principal, une bache de 6 m sur 0,3 m a été enterrée transversalement au talweg, à 35 cm de profondeur, dans une parcelle cultivée. Additionnée d'un équipement de récupération des eaux, cette installation a permis de recueillir les eaux s'écoulant à une profondeur de 30-35 cm, c'est-à-dire sur la semelle de labour (fig. II - 4 - 2 - a ci-après).

Figure II - 4 - 2 - a : Dispositif expérimental de récupération des écoulements subsuperficiels



L'eau recueillie provient-elle des percolations verticales ou d'un ruissellement horizontal ? On peut essayer de trouver une réponse dans les volumes recueillis et dans les analyses physicochimiques des eaux.

La comparaison des volumes récoltés avec les lames d'eau de pluie tombées montre de très faibles proportions. Les récupérations, qui se font en général en hiver (novembre à mars), n'excèdent jamais 30 % de la lame d'eau tombée. Les écoulements se font pendant les périodes où les sols sont assez humides et où le bilan hydrique est positif. Les volumes récupérés sont faibles : même si la limite de récupération est de 20 litres (volume du bidon), le bidon est rarement plein, et même dans ce cas, les traces d'eau débordée sont faibles. On récupère donc au maximum une vingtaine de litres par semaine.

Les eaux recueillies montrent une très forte minéralisation par rapport aux eaux de pluie, liée au temps de contact avec les sols. Mais cette minéralisation diminue fortement vers la fin janvier. Les concentrations en nitrates, chlorures et autres paramètres diminuent aussi (fig. II - 4 - 2 - b et c). Seul le phosphore suit une évolution contrastée. Cet appauvrissement des formes solubles (NO₃ et Cl) dans l'horizon de surface du sol est consécutif au lessivage par les percolations (car aucun ruissellement de surface n'a été observé au cours de cet hiver 1994-95). Il est à rapprocher des baisses de concentrations observées dans les eaux de ruissellement de surface de l'hiver précédent, à partir de la fin du mois de décembre (tab. II - 4 - 1 - 3 - b, p. 405). Ce qui permet de supposer que les réserves du sol en éléments solubles s'appauvrissent pour des pluies exceptionnelles comme celles de fin janvier 1995 (125,4 mm en 10 jours) et celles - comparables - de décembre 1993 (129,6 mm en dix jours).

A l'heure actuelle, le dispositif expérimental ne permet pas de confirmer la présence de volumineux écoulements hypodermiques : les deux années de mesure n'apportent pas assez de recul. Seul le constat visuel de l'hiver 1993-94 permet d'envisager sa présence. Il est possible que ce phénomène ne se produise que dans des conditions particulières comme ce fut le cas en décembre 1993 : semelle de labour prononcée, saturation des sols en eau, horizon superficiel (0-30 cm) non tassé car en labour, donc mouvement de l'eau facilité. En février 1994, le sous-solage sur l'ensemble du bassin brise la semelle de labour probablement facteur essentiel de ce ruissellement de subsurface. Les conditions de l'hiver 1993-94 ne s'étant pas reproduites au cours des deux derniers hivers, cette expérience doit se poursuivre afin de montrer l'existence d'un éventuel écoulement de subsurface plus important. La mise en évidence d'un tel ruissellement pourrait alors permettre de confirmer l'hypothèse de la contribution de ces écoulements à la crue qui a frappé le département de l'Aisne pendant l'hiver 1993-94 (ANGELIAUME, WICHEREK, 1995, voir III - 1 - 1, p. 421).

Tableau II - 4 - 2 - a : Volumes et caractéristiques physico-chimiques des écoulements recueillis à Erlon et à Vierzy

Erlon

du	au	Volume récupéré en l (3)	Pluie tombée en mm (2)	Lame d'eau écoulée en mm (1) (3)/600*30	(1)/(2)	Correction pluie 600 cm * 30 cm soit 1,8 l pour 1 mm	Mesures de terrain				Mesures en laboratoires								
							pH	Conductivité µS	MES estimation	NO3 mg/l	Conductivité en µS/cm	Ntot EF en mgN/l	Ptot EB en mgP/l	Ptot EF en mgP/l	Portho en mgP/l	NH4 en mgN/l	NO3 en mgN/l	Cl en mg/l	
13-déc-93	20-déc-94	2,25	9	1,25	0,14	16,2		773				672	12,65	0,213	0,0208	0,208	0,172	12,43	1,72
20-déc-94	28-déc-94	> 5	25	2,78	0,11	45		638				624	16,97	0,308	0,19	0,169	0,006	16,65	34,8
28-déc-94	4-jan-95	-	9	-	-	16,2													
4-jan-95	11-jan-95	> 5	22	2,78	0,13	39,6		515				502	9,53	0,492	0,279	0,27	0,128	9,32	35,2
11-jan-95	17-jan-95	3	5,3	1,67	0,31	9,54		468		42	363	8,33	0,218	0,201	0,184	0,181	7,89	29,1	
17-jan-95	25-jan-95	< 20	43,4	11,11	0,26	78,12		317	< 0,05%	27	303	5,85	0,61	1,37	1,25	0,05	5,65	17,6	
25-jan-95	2-fév-95	> 20	71,4	11,11	0,16	128,52	8	245	> 0,05%	8	186	2,7	1,58	1,05	0,95	0,011	2,35	7,7	
2-fév-95	7-fév-95	4	10,1	1,25	0,12	18,18	7,6	321	< 0,05%	8	221	2,42	0,66	0,525	0,53	0,115	2,02	6,65	
7-fév-95	17-fév-95	< 20	49,6	11,11	0,22	89,28	8,1	301	< 0,05%	7	223	2,03	0,64	0,395	0,381	0,062	1,78	4,78	
17-fév-95	21-fév-95	8	19,9	4,44	0,22	35,82													
21-fév-95	3-mar-95	-	28,9	-	-	52,02													
3-mar-95	7-mar-95	10	10,1	5,56	0,55	18,18						214		0,545					
7-mar-95	17-mar-95	0,75	25	0,42	0,02	45						314	2,16	0,97	0,332	0,321	0,016	1,79	3,66
17-mar-95	21-mar-95	5	8,5	2,78	0,33	15,3						275	5,97	0,82	0,302	0,29	0,106	5,59	2,61
21-mar-95	30-mar-95	5	25,5	2,78	0,11	45,9	7,44	325	-	-	291	8,64	0,675	0,432	0,42	0,01	7,91	4,08	
30-mar-95	7-avr-95	0,2	5,9	0,11	0,02	10,62													
7-avr-95	13-avr-95	-	0,1	-	-	0,18													
13-avr-95	21-avr-95	-	24,2	-	-	43,56													
21-avr-95	24-avr-95	-	7,8	-	-	14,04													
24-avr-95	1-mai-95	-	19,7	-	-	35,46													
1-mai-95	9-mai-95	-	traces	-	-	-													
9-mai-95	16-mai-95	5	3,2	2,78	0,87	5,76	7,96	400				296	5,78	0,65	0,357	0,346	0,001	5,22	4,03
16-mai-95	26-mai-95	0	20,4	-	-	36,72													
26-mai-95	29-mai-95	0	16,3	-	-	29,34													
29-mai-95	31-mai-95	0	1	-	-	1,8													

Vierzy

du	au	Volume récupéré en l (3)	Pluie tombée en mm (2)	Lame d'eau écoulée en mm (1) (3)/600*30	(1)/(2)	Correction pluie 600 cm * 30 cm soit 1,8 l pour 1 mm	Mesures de terrain				Mesures en laboratoires								
							pH	Conductivité µS	MES estimation	NO3 mg/l	Conductivité en µS/cm	Ntot EF en mgN/l	Ptot EB en mgP/l	Ptot EF en mgP/l	Portho en mgP/l	NH4 en mgN/l	NO3 en mgN/l	Cl en mg/l	
13-déc-94	30-déc-94											153	1,76	1,43	0,815	0,81	0,018	1,49	5,2
30-déc-94	2-jan-95		neige + gel	-	-	-													
2-jan-95	10-jan-95	> 10	-	5,56	-	-		580	-	-		302	18,42	0,204	0,142	0,134	0,154	17,42	36,8
10-jan-95	16-jan-95	-	-	-	-	-		488	-	56	434	12,45	0,275	0,173	0,165	0,059	12,42	28,7	
16-jan-95	25-jan-95	> 10	62,4	5,56	0,09	112,32		244	< 0,05%	13	237	3,37	0,66	0,317	0,304	0,019	2,85	7,28	
25-jan-95	30-jan-95	> 10	56,5	5,56	0,10	101,7	8,6	228	< 0,05%	3	190	1,08	1,96	0,695	0,635	0,005	0,85	5,19	
30-jan-95	7-fév-95	4,5	14,5	2,50	0,17	26,1	8	300	-	5	241	1,65	0,585	0,39	0,4	0,031	1,32	5,5	
7-fév-95	17-fév-95	7	27,95	3,89	0,14	50,31	7,9	357	< 0,05%	7	227	2,09	0,54	0,361	0,325	0,032	1,82	5,6	
17-fév-95	23-fév-95	8	18,7	4,44	0,24	33,66	-	-	-	-	237		1,36						
23-fév-95	7-mar-95	> 10	21,5	5,56	0,26	38,7	-	-	-	-	191	20,5	0,464	0,203	0,193	0,034	1,7	5,04	
7-mar-95	13-mar-95	0,25	3,2	0,14	0,04	5,76	7,7	314	-	-	273		5,25						
13-mar-95	21-mar-95	> 10	40,8	5,56	0,14	73,44	7,82	188	-	-	20	166	3,27	0,645	0,244	0,233	0,135	3,08	1,41
21-mar-95	27-mar-95	-	11,2	-	-	20,16													
27-mar-95	13-avr-95	0	0,175	-	-	0,315													
13-avr-95	18-avr-95	0	5	-	-	9													
18-avr-95	24-avr-95	-	9,8	-	-	17,64													
24-avr-95	26-avr-95	-	5,4	-	-	-													
26-avr-95	2-mai-95	-	17,2	-	-	30,96	7,79	280	-	-									
2-mai-95	7-mai-95	-	-	-	-	-						244	12,5	0,93	0,323	0,312	0,003	10,7	3,18
7-mai-95	11-mai-95	-	0	-	-	0													
11-mai-95	16-mai-95	< 5	12,55	2,78	0,22	22,59	7,75	638	-	-	546	45,4	0,583	0,441	0,394	0,262	44,7	5,72	
16-mai-95	25-mai-95	0	26,6	-	-	47,88													
25-mai-95	29-mai-95	-	9,9	-	-	17,82													
29-mai-95	2-jun-95	-	0,15	-	-	0,27													

Figure II - 4 - 2 - b : Dilutions des concentrations dans les eaux de subsurface au cours de l'hiver à Erlon

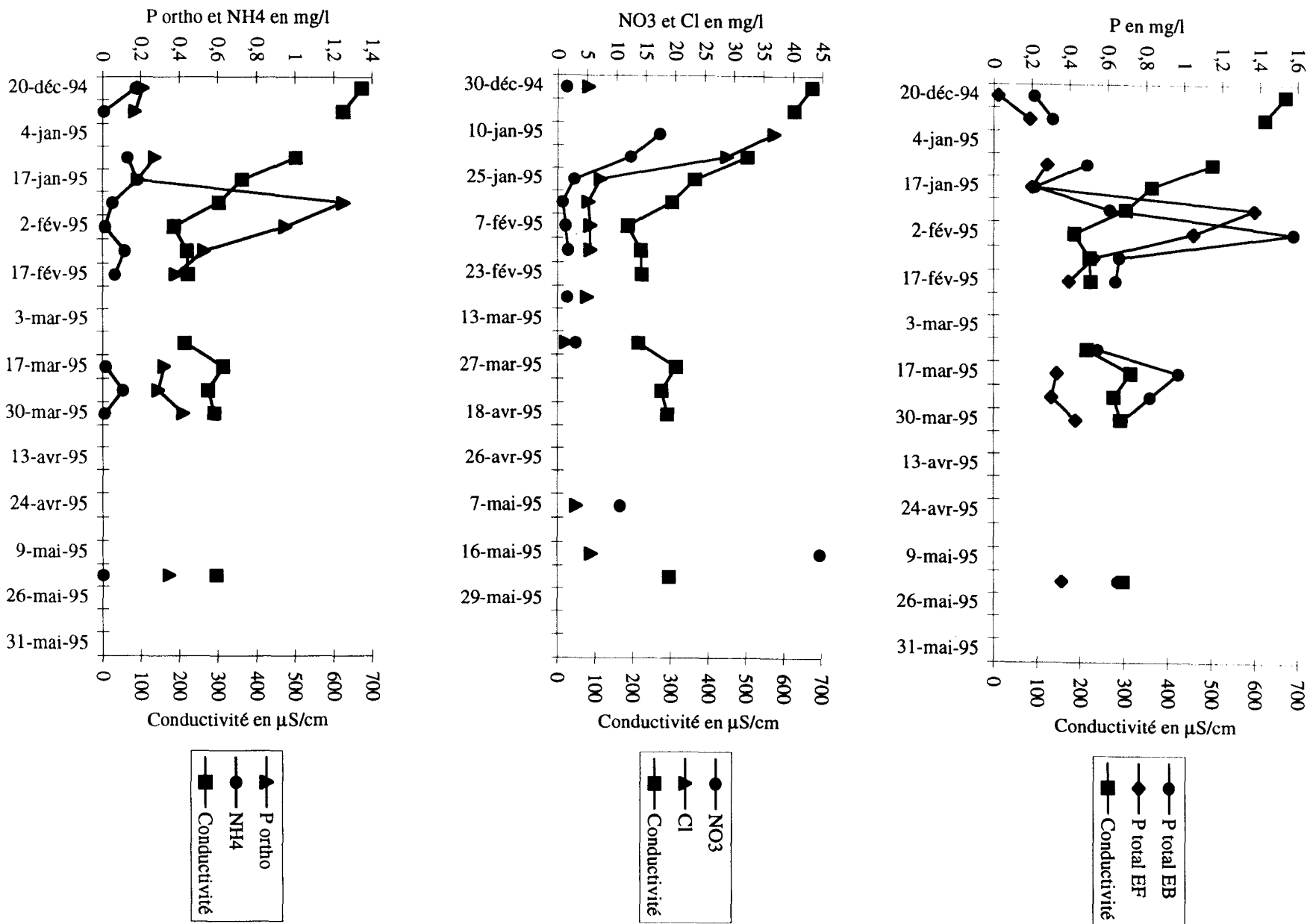
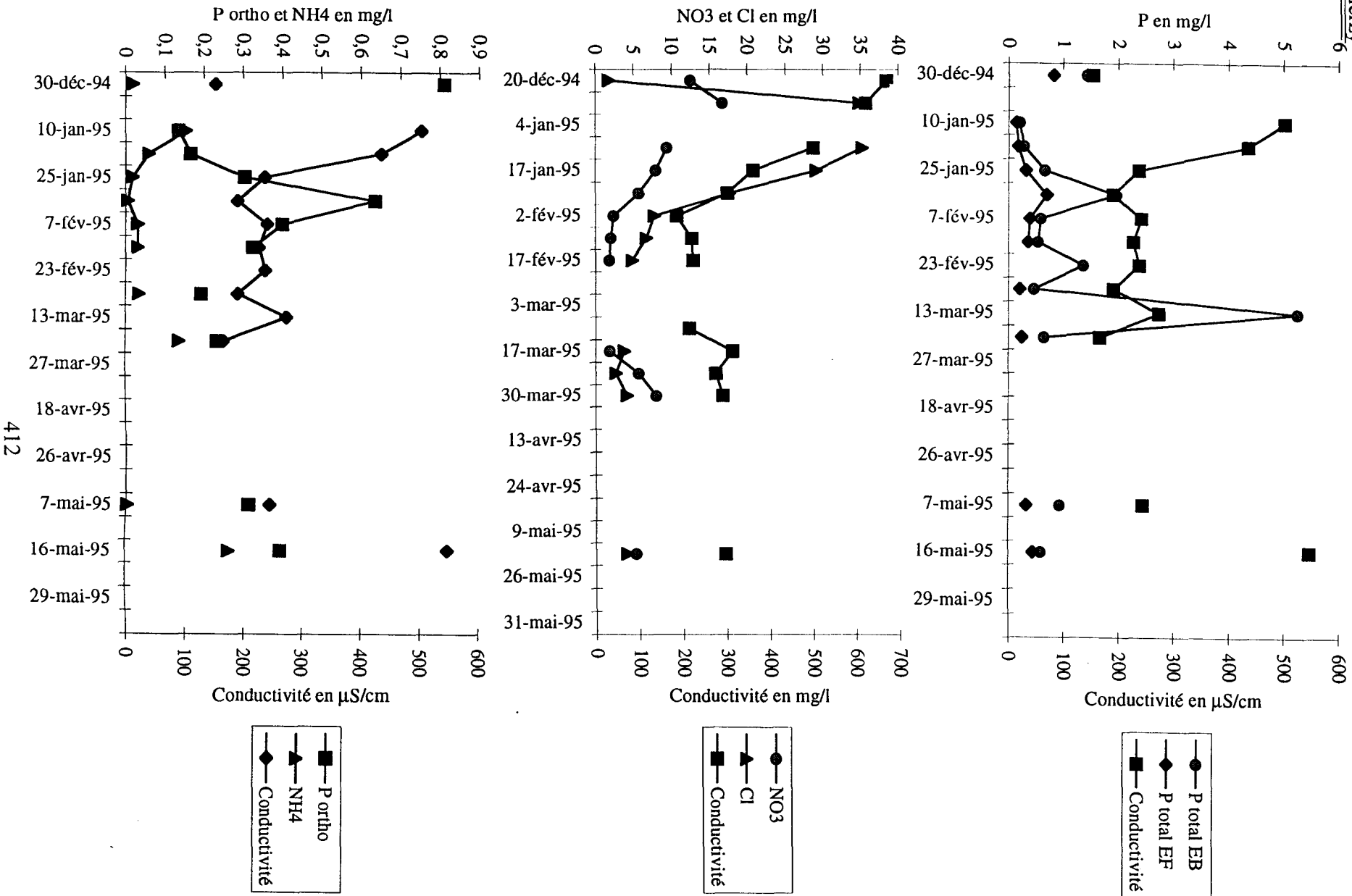


Figure II - 4 - 2 - c : Dilutions des concentrations dans les eaux de subsurface au cours de l'hiver à Vierzy



II - 6 - Conclusion

*** Des concentrations à hauts risques au printemps et en été**

En ce qui concerne les produits se rapportant à la fertilisation azotée, **les teneurs en azote fixés sont très élevées en mai** (maximum 20,3 mgN/l) et moyennes en août (8,8 mgN/l, à titre de comparaison 1,83 mgN/l en janvier). Il en est de même pour **les concentrations en nitrates** (fig. II - 6 - a). En effet, elles sont aussi **élevées en mai** (13,1 mgN/l maximum) et se maintiennent tout le long du ruissellement (12,3 mgN/l moyenne). **En août**, les valeurs **sont presque aussi fortes** (10,6 mgN/l maxi), **mais** l'écoulement plus tardif et plus long entraîne **une dilution** et donc une concentration moyenne de 2,0 mgN/l (appauvrissement lié à un entraînement précédent ou un prélèvement par les plantes ou une dilution par les très forts débits). **Si les concentrations hivernales en ammonium** sont proches de celles observées dans un cours d'eau (0,023 mgN/l en janvier maximum), **les teneurs sont exceptionnellement élevées** en mai (3,66 mgN/l maximum et 2,45 mgN/l minimum) et plus modestes en août, période à laquelle elles évoluent par pics (0,920 mgN/l maximum). Les concentrations maximales observées en mai et août sont toutes supérieures à celles rencontrées dans les cours d'eau situés à l'aval (exemple des nitrates, trois à quatre fois plus). Chaque ruissellement constitue donc une source d'apport en polluants azotés.

Le phosphore fixé est présent en quantité exceptionnellement élevée dès que la charge en suspension est importante (36,8 et 21,3 mgP/l maximum en août et mai). **Les ortho-phosphates présentent, quant à eux, un comportement à part.** Les concentrations, toujours élevées, restent relativement constantes, oscillant entre 0,400 ou 0,800 mgP/l (sauf en août où suite à un appauvrissement les teneurs descendent jusqu'à 0,277 mgP/l). Comme dans un cours d'eau, il semble s'établir un équilibre entre la charge fixée et la charge soluble. La concentration d'équilibre en orthophosphates apparaît toutefois supérieure à celle des cours d'eau (dans un rapport de 3 à 4). L'assimilation de cette charge par le cours d'eau dépend donc des capacités de fixation en phosphore des sédiments de celui-ci.

Enfin, certains **produits phytosanitaires sont présents à très fortes concentrations en mai.** On citera les teneurs en **atrazine 266,8 µg/l sur eau filtrée** (87 % sous cette forme) et 690 µg/l sur sédiments. D'autres composés sont retrouvés en quantité non négligeable : **le lindane et la chloridazone**, respectivement **1,9 et 6,22 µg/l sur eau brute** (85 et 13 % sous forme soluble). En août, les valeurs sont moindres, bien que notables. Par exemple sur un échantillon brut, on a dosé 8,9 µg/l d'atrazine et 0,21 µg/l de lindane sur eau brute. D'une façon générale, **on retrouve prioritairement les produits associés à la culture du maïs, puis à celle des betteraves sucrières.** Les composés phytosanitaires utilisés sur les céréales sont plus rarement retrouvés et toujours en quantité bien moindre.

Figure II - 6 - a : Concentrations maximales dans les trois principaux ruissellements (extrait du poster présenté en septembre 1996 à Munich au SCEEC)

Des concentrations plus élevées au printemps et en été (sauf pour les orthophosphates) une dilution avec les très gros débits

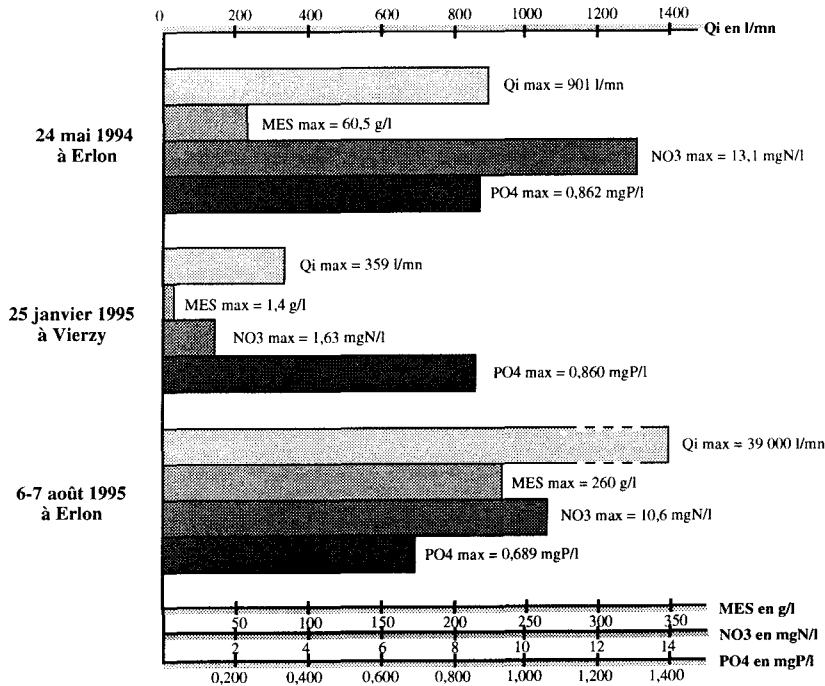
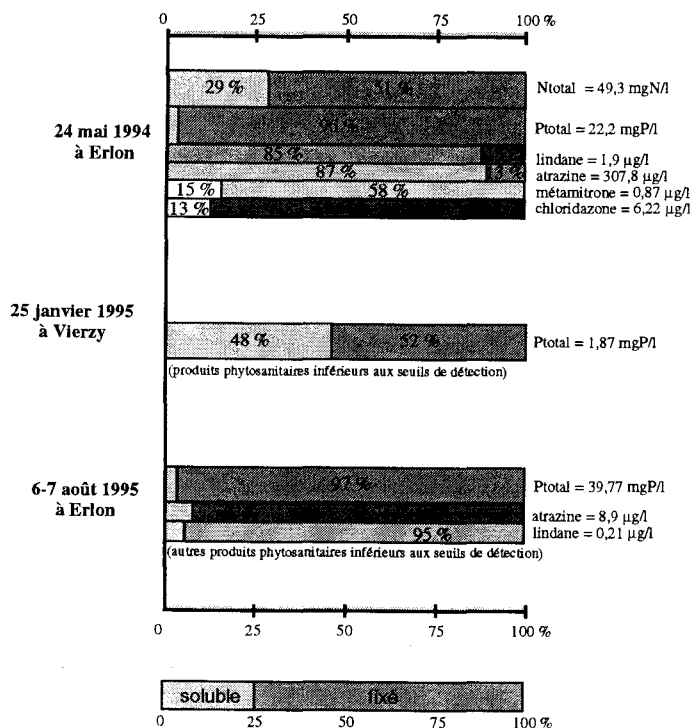


Figure II - 6 - b : Proportions fixées/solubles (extrait du poster présenté en septembre 1996 à Munich au SCEEC)



* Des concentrations élevées en relation avec les dates des apports agricoles et la persistance des produits

L'atrazine, retrouvée à très forte concentration en mai, a été **appliquée seulement 14 jours avant le ruissellement** (400 g/ha). **Très persistante**, on la retrouve aussi en août (date d'application en mai), mais en concentration bien inférieure. Le **lindane présente un comportement similaire**. Particulièrement rémanent, il est encore présent dans les eaux de ruissellement 65 jours après son application (300 g/ha en avril). Comme pour l'atrazine, un ruissellement plus tardif (en août) réduit les doses retrouvées cinq mois après. **Une forte dose de produit épandue n'est pas synonyme de forte concentration dans les eaux de ruissellement**. La métamitronne et la chloridazone appliquées en association peu de temps avant le ruissellement (17 mai), mais à des doses différentes - respectivement 1 050 g/ha et 195 g/ha - sont toutes deux présentes dans les eaux de surface.

* Rôle des MES dans le transfert de certains polluants

Pour les trois ruissellements considérés, que les concentrations globales soient faibles ou élevées, **le phosphore fixé représente 82 à 96 % du phosphore total** (fig. II - 6 - b). **Il en est de même pour certains produits phytosanitaires** retrouvés en grande proportion sous forme fixée sur les particules érodées : **la métamitronne (85 %) et la chloridazone (87 %)**. Ces composés ont de grande chance de **décanter et d'être stockés avec les MES**. Ce n'est pas le cas du **lindane et de l'atrazine**. A 85 % et 87 % sous forme soluble ou assimilée soluble (on suppose qu'une partie se trouve fixée sur des argiles), ces deux produits **sont facilement transportés jusqu'aux cours d'eau**.

* Des flux solides énormes lors des violents orages

L'orage exceptionnel des 6-7 août 1995 à Erlon, consécutif à une pluie de 102,5 mm et des intensités de 210 mm en 1 mn (86,5 mm en 1 h), **a entraînée une perte de 360 t de MES, 8 t de MO et 3,3 kgP/ha de phosphore** (fig. II - 6 - c). **Mais on a totalisé seulement 488,9 gN/ha de nitrates, 50 gN/ha d'ammonium et 66,7 gP/ha d'orthophosphates**. Ces quantités sont très faibles en proportion des apports agricoles (fig. II - 6 - d).

Figure II - 6 - c : Flux au cours des trois principaux ruissellements (extrait du poster présenté en septembre 1996 à Munich au SCEEC)

Des flux considérables lors du violent orage d'août.

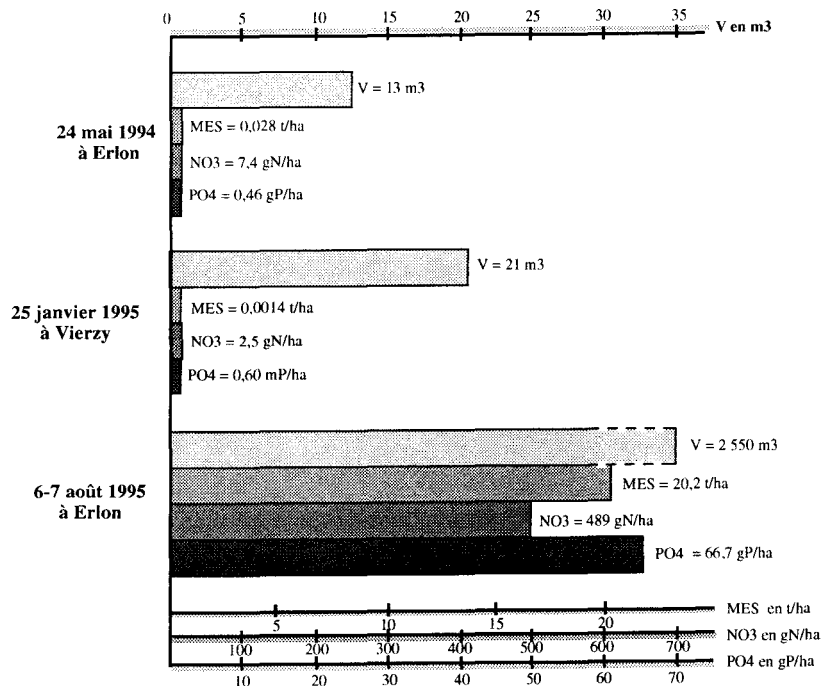
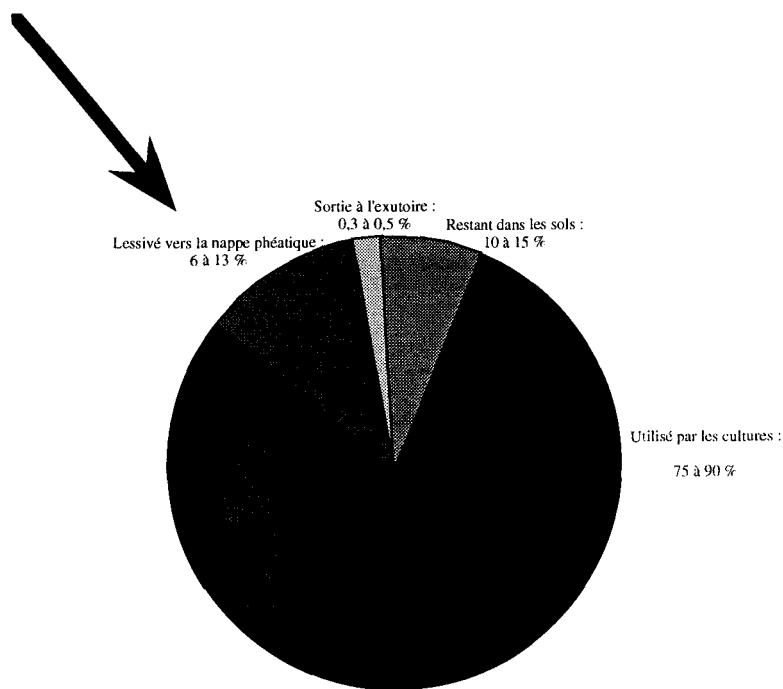


Figure II - 6 - d : Bilan des entrées agricoles et des sorties par ruissellement/érosion (extrait du poster présenté en septembre 1996 à Munich au SCEEC)

Entrée en moyenne 150 kgN/ha



III - Quelles mesures pour une agriculture durable?

III - 1 - Les moyens disponibles pour limiter le ruissellement et l'érosion sur les BVEC : aménagements et pratiques plus favorables

III - 1 - 1 - Trois situations à gérer : les coulées de boue, les coulées liquides et l'érosion chronique

Les mesures de terrain et la pratique du monde agricole ont permis de réaliser une synthèse des différents types d'érosion, des nuisances à maîtriser et des solutions envisageables. Les résultats sont présentés dans le tableau de synthèse, page suivante (tab. III - 1 - a). Quelques exemples et remarques, ci-après, complètent ce document.

Pour ces trois situations de ruissellement/érosion - coulée boueuse, inondation, ruissellement chronique - il existe des solutions communes simples à mettre en oeuvre. Les propositions retenues sont donc les suivantes.

- améliorer la structure du sol par **un redressement des teneurs en MO** particulièrement faibles (par des apports de compost ou de fumier, en complément des résidus de récolte et à la place de vinasse).
- favoriser **la variété des assolements** sur un BVEC, soit au niveau d'une exploitation, si les parcelles sont groupées, soit par concertation entre les agriculteurs de la commune, ce qui se fait déjà dans certains endroits de la Somme. Les assolements sont déjà variés à Vierzy, où chaque année on note environ 50 % de céréales d'hiver, mais on peut davantage jouer sur la répartition dans l'espace.
- **tester l'efficacité des bandes enherbées** (soit en bas de parcelle, soit le long des talwegs, soit en limite de parcelle à l'intersection avec talweg), **développer l'utilisation des intercultures** en période hivernale, et pourquoi pas **innover en implantant des cultures intercalaires** (ce qui se fait déjà dans des pays sensibilisés aux problèmes d'érosion)
- **creuser des fossés** pour une meilleure évacuation des eaux accumulées, et prévoir l'évacuation de ces eaux.
- adapter le travail du sol à la localisation de la parcelle (haut ou bas de versant), pratiquer **le sarclage et le sous-solage**.
- **limiter autant que possible les intrants**, bien que dans sur l'ensemble des exploitations étudiées les apports soient justifiés. prévoir le remplacement progressif des composés comme le lindane et l'atrazine.

Dans le cas des coulées boueuses, ces modifications sont toujours insuffisantes, et l'on doit recourir à des aménagements. Ces derniers posent de multiples problèmes de localisation, d'acceptation, de financement et d'efficacité. Pour remédier à ces difficultés, il est utile de bien cerner le risque pour les communes et les cours d'eau. L'étude cas par cas reste le meilleur moyen d'appréhender la situation érosive, les risques de dégradation et de proposer les meilleures solutions. Le souci de préservation des sols arrive bien souvent après toutes les autres considérations.

Tableau III - 1 - a : Trois situations, trois types de priorités et des propositions

	Coulée boueuse
CARACTÉRISTIQUES	<p align="center">Puissance et ampleur du phénomène</p> <ul style="list-style-type: none"> - Période probable printemps/été - Lames d'eau élevées (ex 50 à plus de 100 mm par averse) - Intensités très fortes (ex 40 à 70 mm/h en 1 h ou 100 à 200 mm/h en 1 mn) - Ruissellements volumineux (plusieurs centaines de m³, ex 3 000 m³) - Temps de réponse et de concentration courts (quelques mn à 20 mn) - Flux exceptionnels en MES et en MO (jusqu'à 24 t/ha de MES et 0,5 t/ha de MO) - Concentrations en MES et phosphore fixé très élevées (ex 300 g/l de MES et 40 mgP/l de phosphore fixé) - Concentrations élevées en nitrates et en ammonium, avec des pics remarquables (ex 13 mgN/l et 3,66 mgN/l) - Concentrations constantes et importantes en orthophosphates (0,400 à 0,800 mgP/l) - Inefficacité du couvert végétal, parfois rôle aggravant - Selon la date, teneurs remarquable en produits phytosanitaires (ex 266,7 µg/l d'atrazine (1) et 1,62 µg/l de lindane (2) dans l'eau filtrée) - Nombreux polluants véhiculés par les MES : phosphore 96 à 97 % fixés sur MES, métamitronne 58 % fixés sur MES (3), chloridazone 87 % fixés sur MES (4) - Ampleur des dégâts aux sols, aux cultures, aux habitations etc.
PRIORITÉS	<p align="center">Préserver le patrimoine sol et le capital eau</p> <p>protéger les collines sol (MES et MO) pour conserver la fertilité, préserver les eaux de surface et protéger l'habitat (routes, maison, sites industriels, etc.)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Diagnostic des risques de ruissellement érosion (contexte géomorphopédologique et cultural) - Diagnostic de vulnérabilité des sites : sol à l'érosion (si peu épais), cours d'eau à la réception de flux polluants (capacité d'auto-épuration), habitat en fonction des trajectoires des coulées boueuses (configuration récurrente culture amont/village aval)
PROPOSITIONS	<p align="center">Protéger la surface du sol, favoriser une infiltration rapide, faciliter la sédimentation des MES et endiguer les écoulements</p> <ul style="list-style-type: none"> - Augmenter la résistance des sols par un redressement des teneurs en matières organiques trop faibles (compost, enfouissement des résidus de récoltes) - Diminuer l'impact des gouttes de pluie en privilégiant dans les assolements des cultures couvrantes - Abriter les parcelles par l'implantation de haies brise-vent - Limiter les apports fertilisants et traitants, du moins pendant ou avant des pluies (renseignements météorologiques), remplacer autant que possible l'atrazine et le lindane, même si les produits de substitutions sont plus coûteux - Accroître les infiltrations par la pratique du sarclage et par l'implantation de bandes enherbées - Limiter le ruissellement par l'implantation de cultures intercalaires (dans inter-rang maïs ou betteraves) - Limiter les concentrations par l'organisation du parcellaire et le sens du travail du sol ; - Ralentir les écoulements et favoriser la sédimentation des MES par des aménagements comme des fossés, gradins, banquettes, bandes enherbées, etc. - Stocker temporairement les excès d'eau boueuse et favoriser une infiltration lente de l'eau polluée - Dévier les écoulements des habitats et des cours d'eau vers des zones "d'épandage" - Aménager les bords de routes et de chemins (fossés)

(1) Herbicide maïs

(2) Insecticide maïs

(3) Herbicide betterave

(4) Herbicide betterave

(5) Pour plus de détails se reporter au texte

Crue liquide	Erosion chronique
<p style="text-align: center;">Ruissellements volumineux</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pluies hivernales longues et persistantes qui empêchent le travail du sol, entraînent de mauvaises conditions de récoltes, laissent les champs tassés et gorgés d'eau (ex hiver 1993-94, 129,6 mm en 10 jour dont 39,0 mm en une journée) - Intensités des pluies faibles ou modérée, mais lames d'eau volumineuses (ex 2 mm/h pendant 1 h, 24 mm/h en 1 mn) - Sols saturés, ne jouant plus le rôle d'éponge (ex humidités entre 23 et 27 %) - Contribution des sols au gonflement de la nappe alluviale - Ruissellements longs, volumineux et intenses (ex 1 000 à 1 500 m³ en 24 h et des pointes de débits à 8 000 l/mn) - Flux moyens, liés aux cumuls dans le temps (ex 50 kg/ha de MES en 24 h) - Peu de MES, concentrations solubles moyennes et diminuant rapidement (ex 6,4 à 0,7 mgN/l de nitrates en quelques heures), sauf pour les orthophosphates (ex 0,800 mgP/l) 	<p style="text-align: center;">Répétitivité du phénomène</p> <ul style="list-style-type: none"> - Parcelles fréquemment affectées annuellement - Localisation des traces d'érosion souvent récurrente - Gêne moyenne à minime pour l'agriculteur donc cause mineure de souci - Débits rarement élevés, écoulements rapides mais pas violents (ex 300 à 900 l/mn) - Volumes modérés, souvent infiltrations des écoulements avant d'atteindre les villages et les cours d'eau (moins de 50 m³) - Pour les ruissellements d'automne/hiver, écoulements peu concentrés en polluants, mais fréquents. Ils ont lieu pendant la période où le cours d'eau peut assimiler un apport de nitrates ou de phosphore qui reste réduit. En revanche, les MES, dont l'apport est répété, demeurent néfastes pour la vie piscicole et l'envasement du cours d'eau (concentrations inférieures à 1 % de MES) - Pour les ruissellements de printemps, écoulements très concentrés en polluants, en particulier nitrates, en MES et produits phytosanitaires (ex 6 % de MES, 10 mgN/l de nitrates, 6,22 µg/l de chloridazone et 0,87 µg/l de métamitron dans l'eau brute)
<p style="text-align: center;">Préserver les collectivités et l'habitat</p> <ul style="list-style-type: none"> - Protéger les maisons et les industries des inondations - Diagnostic des risques d'inondation par une étude hydrologique : champ d'inondation, capacité du cours d'eau, entretien des berges, état de la nappe alluviale (haute ou non), existence de zone inondable ou zone tampon (champs d'inondation, marais) 	<p style="text-align: center;">Préserver les sols (à long terme) et les cours d'eau</p> <ul style="list-style-type: none"> - Effets de l'érosion chronique liés à sa fréquence (tous les ans, tous les deux ans sur une même parcelle) car peu spectaculaire et peu intense (une rigole ou réseau dense de rigoles) - En ce qui concerne les cours d'eau, l'érosion chronique est nuisible en raison de sa densité et de sa répétitivité sur l'ensemble des BVEC qui alimente le cours d'eau (cumul des volumes) et à sa répétition au cours d'une saison. - Diagnostic par un repérage et un inventaire des figures d'érosion pour évaluer l'ampleur et la fréquence des dégâts : par relevé cartographique régulier ou enquête auprès des agriculteurs et surtout des chambres d'agriculture. Au printemps, le repérage des figures d'érosion consécutives aux orages est facilité par les informations sur Minitel qui permettent de suivre les déplacements des perturbations orageuses (3615 ou 3614 orages)
<p style="text-align: center;">Accroître l'infiltration et de protéger la surface du sol, d'entretenir et d'aménager le cours d'eau et ses abords</p> <ul style="list-style-type: none"> - En laissant en place les pailles, chaumes ou déchaumages, en limitant ou travaillant les chantiers de récoltes tassés comme ceux des pommes de terre ou des betteraves - En pratiquant le labour (ou bandes labourées) (5), l'ameublissement du sol, le sous-solage, le drainage (ex Erlon 1994-95) - En implantant des bandes enherbées ou des intercultures 	<p style="text-align: center;">Accroître la stabilité des sols et choisir ses pratiques culturales</p> <ul style="list-style-type: none"> - Améliorer la résistance du sol (amendement, engrais vert, jachère, enfouissement des résidus de récolte ; non-labour, semis direct, tassement des zones menacées (roulage) - Protéger le sol (intercultures, bandes enherbées de préférence dans les talwegs, bonne proportion de cultures d'hiver) - Favoriser les infiltrations (en hiver : bandes labourées surtout dans les chantiers de récoltes, sous-solage ; au printemps : les bandes enherbées (5)) - Limiter les concentrations (chemins d'eau enherbés, enrochement, etc.)

* Coulées de boue et orages

Particulièrement violents, les orages entraînent des coulées de boue contre lesquelles le couvert végétal est inefficace, et parfois même aggravant. On citera l'exemple de la coulée partie d'une parcelle de 60 ha en pommes de terre qui a fini son parcours dans l'église de Soucy en juin 1994^(*). Les buttes de pommes de terre, perpendiculaires au talweg, ont servi dans un premier temps de barrage et elles ont stocké l'eau de ruissellement. Puis, elles ont brusquement et simultanément cédé entraînant la terre qui les constituait sur une largeur de plus de 10 m. Cet exemple souligne le rôle du sens d'occupation du sol, l'idéal serait, semble-t-il, de cultiver dans la diagonale de la plus forte pente.

A l'inverse, la coulée boueuse du 11 juillet 1995 à Vierzy aurait pu être plus dévastatrice si une forte proportion de céréales sur le bassin n'avait fourni de l'eau claire, l'érosion ne s'est produite que sur la partie aval du bassin. Les dégâts pourtant spectaculaires ont été moins importants qu'en 1988, en particulier dans le cimetière.

La localisation du site érodé par rapport à la position de l'habitat détermine la vulnérabilité. Par exemple, le BVEC expérimental de "l'Arbre Robert", qui se situe à environ 500 m du cours d'eau du Vilpion, ne présente aucun risque pour l'habitat. Les coulées boueuses sont fortement ralenties par le replat de la plaine alluviale (pente 1 - 2 %) et un fossé enherbé de 300 m. Une grande partie des MES peut s'y déposer et une petite partie de l'eau peut s'y infiltrer. Il reste un risque pour le cours d'eau, lié aux polluants solubles et aux polluants fixés sur les petites particules de sol (en particulier le phosphore, voir 3ème Partie, II - 2). Le Vilpion a dans ce secteur des capacités d'auto-épuration limitées en raison des pollutions apportées par les rejets amont (sucrierie et industrie de Marle). Le risque n'est pas négligeable en raison de la forte présence du maïs dans les assolements (atrazine et lindane). Les luttes contre la pollution diffuse constituent une "action qui s'impose" (BAZERQUE, 1990), en particulier contre les produits phytosanitaires dont "une petite quantité de produit a éradiqué toute vie sur plusieurs kilomètres du cours d'eau". Les caractéristiques des produits, comme la biodégradabilité ou la solubilité, ne sont pas des critères permettant de conclure à l'absence de nuisance. Par exemple, un produit peu soluble (moins de 1 % de solubilité ce qui peut paraître négligeable) peut se retrouver dans le cours d'eau et entraîner d'important dégâts.

Comparativement au BVEC expérimental, les autres BVEC de la commune d'Erlon présentent une risue pour l'habitat en raison d'un fort potentiel de ruissellement et d'érosion, lié, d'une part, des fortes pentes (3 - 8 %) et des sols limoneux, d'autre part, du travail du sol, le plus souvent dans le sens de la plus forte pente (mais aussi de l'irrigation, etc.). Ils se localisent en amont du bourg d'Erlon (voir 2ème Partie, fig. I - 1 - 1 - 1 - a). Les coulées boueuses arrivent directement sur les routes, dans les caves, les cours et les maisons. Le Vilpion situé en aval des habitations est moins touché. La commune de Vierzy se trouve dans un contexte semblable, sur le trajet de la coulée boueuse.

* Ruissellement et formation des crues

Les ruissellements en rejoignant le cours d'eau ou la nappe alluviale contribuent au gonflement du débit et à la formation de crue. Ce fait normal est parfois aggravé par des conditions d'infiltrations particulièrement défavorables sur les terres agricoles (WICHEREK, 1995). Les ruissellements observés sur les bassins versants élémentaires cultivés (BVEC) peuvent contribuer à la formation des crues (PAPY, DOUYER, 1991) par leurs apports plus ou moins volumineux, mais surtout rapides dans le cas d'"écoulements rapides de crues" (COSANDEY, 1990).

Le 20-21 décembre 1993, la Serre, petit affluent de l'Oise, a connu une crue centennale particulièrement coûteuse pour la région. Cet exemple, non développé précédemment, est rappelé ici. Pendant cette crue, on a observé sur le BVEC d'Erlon un important ruissellement. C'est tout le complexe de bassins versants qui s'étend de part et d'autre du cours d'eau et rejoint plus ou moins librement la plaine alluviale qui a contribué au gonflement des débits de la Serre.

Cette crue est qualifiée de crue historique compte tenu de l'ampleur des dégâts (tab. III - 1 - 1 - 2 - a). Sur la seule vallée de la Serre, où les communes sont regroupées dans un syndicat de Pays (22 communes, environ 10 000 habitants), les dégâts ont été considérables. Ce syndicat a dénombré 320 habitations évacuées et on a estimé à près de 77 millions de francs les dégâts (estimation probablement surévaluée).

^(*) La commune de Soucy est située sur le Plateau soissonnais. Les habitations occupent les versants et le fond de vallée. Alors que les cultures s'étendent sur le plateau aux sols limoneux et aux faibles pentes (2-3 %).

Tableau III - 1 - 1 - 2 - a : Estimation du coût des dégâts : 77 millions de francs (Cattalorda, comm. orale 1994)

Dégâts	Coûts		Dépenses
aux particuliers (habitations, ...) :	10 130 000 francs	14 %	prise en charge par les assurances (loi de 1982 sur les Risques naturels)
aux industries :	65 665 000 francs	83 %	
aux cultures :	200 000 francs	0,3 %	
aux communes (voiries, ...) :	700 000 francs*	2,7 %	prise en charge par les communes

* Près du quart du budget annuel des communes

Ce sont donc des sommes considérables qui ont été mises en jeu tant pour les assurances que pour les communes sinistrées. Du fait des problèmes financiers que cette crue a entraînés, la compréhension de sa genèse constitue un sujet d'étude intéressant.

L'inondation la plus catastrophique, à 3,28 m à la station de Mortiers a eu lieu le 20 décembre. Elle correspond à un débit maxi de 58 m³/s, alors que le module annuel à cette station n'est que de 8,39 m³/s (le maximum observé depuis 1970 n'était que de 53 m³/s en janvier 1981). Ce maximum se rapporte à une pluie de 41 mm dans la journée du 20 décembre, pluie qui a occasionné de nombreux ruissellements sur l'ensemble des BVEC. En particulier, dans les mêmes temps sur le bassin versant expérimental, les débits évoluent parallèlement à ceux du cours d'eau (fig. III - 1 - 1 - 2 - a)^(*). Sur le BVEC, le temps de réponse à la pluie est très court (moins de 10 mn). Il en est de même pour le temps de propagation (une trentaine de minutes sur les pentes des versants assez fortes). Ce temps est plus long entre l'exutoire et la station de jaugeage du cours d'eau (4 à 7 heures pour environ 7 km) du fait de la forte diminution de pente dans la plaine alluviale envahie par les eaux à cette date (pente moyenne de 2 ‰). Ainsi il est difficile de distinguer si le ruissellement du bassin rejoint le cours d'eau sous forme d'"écoulement rapide de crue" ou d'"effet piston". Il faut surtout retenir la rapidité et l'importance relative des écoulements qui quittent le bassin versant. En effet, si on compare les débits spécifiques maxima (débits maxima rapportés au kilomètre carré) du bassin et du cours d'eau, on obtient :

pour le BVEC : 8 504 l/mn pour 20 ha soit 710 l/s/km²

pour le cours d'eau : 58 m³/s pour 733 km² soit 79 l/s/km²

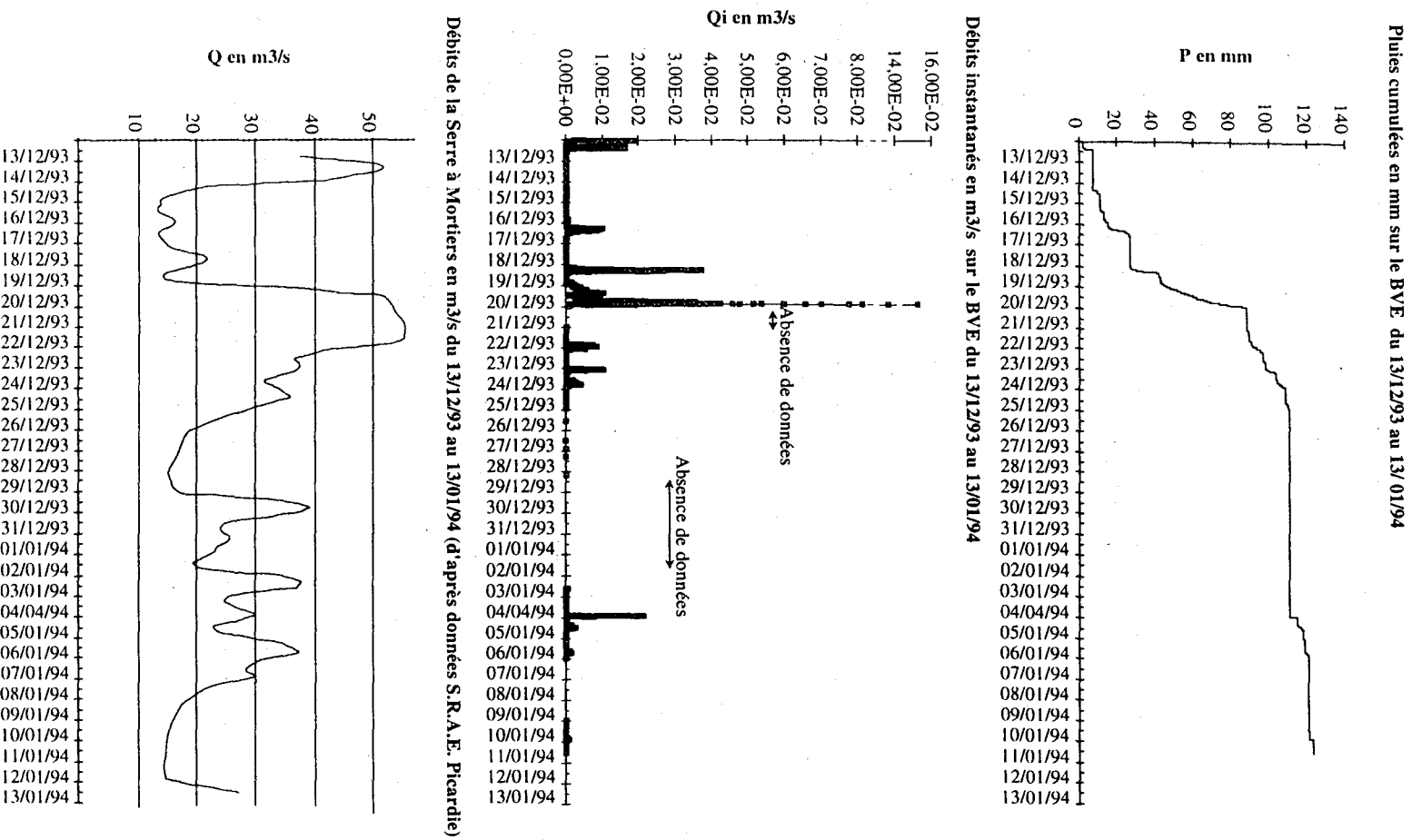
Conformément au fonctionnement hydrologique, le débit spécifique du bassin versant de 20 ha est supérieur à celui de la rivière (presque dix fois). Certes en valeur absolue, le débit maxi (0,15 m³/s) et le volume total sorti (environ 1 000 m³ pour ces quelques jours) sont insuffisants pour modifier le débit du cours d'eau, mais il faut considérer ce chiffre pour la petite superficie de 20 ha, et donc cumuler les apports possibles dans le cadre du complexe de BVEC qui se trouvent dans une situation similaire à ces dates.

Il s'agit essentiellement d'une problématique de volume, et non de qualité. De fait, les eaux qui quittent le bassin sont peu chargées en MES (0,03 à 0,50 ‰ le 17 décembre 1993), tout comme celles de la rivière (0,10 ‰ le 21 décembre 1993). En ce qui concerne les nitrates, les concentrations sont aussi très faibles (eau de ruissellement 2 à 3 mg/l et cours d'eau 17 mg/l, contre 21 à 23 mg/l en temps normal), confirmant l'hypothèse d'une alimentation de la crue par des eaux de surface, plus pauvres en nitrates.

Le premier facteur explicatif est le caractère exceptionnel des précipitations. Pendant la seconde décennie du mois, on a enregistré 129,6 mm, dont des totaux journaliers de 18,6 mm (19 décembre), 19,2 mm (16 décembre), 21,2 mm (12 décembre), 39,0 mm (20 décembre) pour des jours successifs (fig. III - 1 - 1 - 2 - b). Les intensités maximales, quant à elles, n'étaient pas exceptionnelles pour la saison : 25 mm/h pendant 6 mn et 7,9 mm/h pendant 1 h.

^(*) On peut signaler l'absence de données sur notre station de mesure à certaines dates, lesquelles sont liées une première fois à l'invasissement du site par une coulée de boue (charriage de fond) et la seconde à une panne de batterie.

Figure III - 1 - 1 - 2 - a : Comparaison des hydrogrammes du BVEC et de la Serre (ANGELLIAUME, WICHEREK, 1995)



L'état des sols constitue le second facteur explicatif. Le 21 décembre, on mesurait entre 23 et 27 % d'eau dans les sols, alors que les valeurs jusque là observées en période pluvieuse n'étaient que de 21 à 22 %. En plus de cette saturation en eau, liée aux fortes pluies, il faut signaler le fort tassement des sols non-travaillés après récolte (essentiellement des chantiers de betteraves, très tassés). Les pluies importantes d'octobre (52,3 mm la seconde décennie), puis le gel et la neige au début du mois de décembre ont entraîné la perturbation du calendrier cultural de nombreux agriculteurs. En conséquence, on observe très peu de labours et de blé d'hiver. Sur le bassin versant, 85 % de la surface sont en chantiers de récolte et 15 % en labours (voir annexe 21). Ces observations se retrouvent dans une large mesure sur la partie aval de La Serre. Comme le montre cette estimation :

	labours	blé d'hiver	chantier de récolte (essentiellement maïs)	Intercultures
hiver normal	45-50 %	40-45 %	5 -10 %	< 5 %
hiver 1993-94	15-20 %	10-15 %	60-80 %	< 5 %

Sur ces sols saturés et tassés recevant une forte pluie (ruissellement sur des pentes de 2-5 %), les temps de réponse sont très faibles (10 mn) et les coefficients de ruissellement sont parfois considérables :

- pointe de ruissellement du 20 décembre 1993 : 9,5 mm pour 191 m³, soit CR = 10,0%
- journée du 20 décembre 1993 : 41 mm pour 645,5 m³, soit CR = 7,9 %.

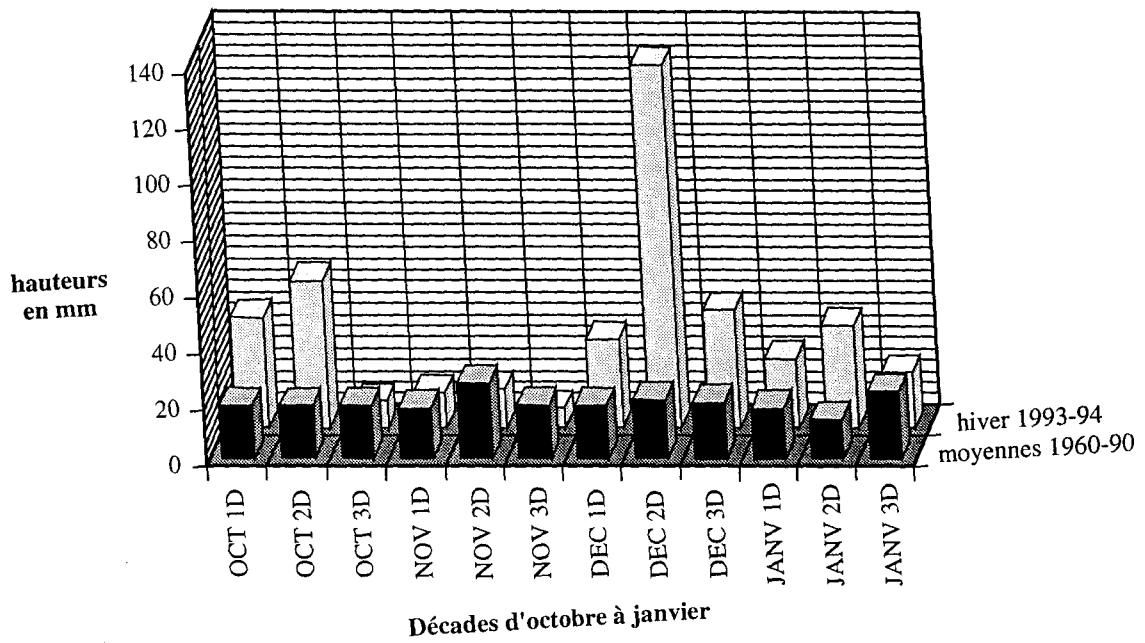
Il s'agit des plus forts coefficients de ruissellement observés sur ce bassin en période hivernale. Et pourtant en valeur absolue, ces chiffres restent relativement faibles et peuvent probablement s'expliquer par l'étendue des sols saturés retenant l'eau.

Les événements de janvier 1995 tendent à prouver que le travail du sol peut réduire les risques de ruissellement volumineux : pour des pluies comparables, il n'y a eu ni ruissellement, ni crue notable. Les pluies décennales sont tout aussi considérables qu'en décembre 1993, à savoir 125,4 mm pour la troisième décennie. Les totaux journaliers sont presque aussi importants que pour l'hiver précédent : 16,2 mm (24 janvier), 16,7 mm (25 janvier), 19,0 mm (27 janvier), 32,8 mm (29 janvier). Les valeurs sont peut-être un peu plus faibles, mais elles restent exceptionnelles (fig. III - 1 - 1 - 2 - c). En ce qui concerne les intensités, elles restent d'un ordre de grandeur comparable : 17,5 mm/h pendant 6 mn et 8,7 mm/h pendant 1 h (contre 25 et 7,8 mm/h en décembre 1993), ces valeurs étant bien inférieures à celles enregistrées en période printanière (par exemple 180 mm/h pendant 3 mn en août 1995 à Erlon). Malgré ces fortes pluies, aucun écoulement n'a été enregistré sur le bassin versant. Les débits de la Serre sont restés nettement inférieurs à 50 m³/s et, surtout, les hauteurs n'ont pas provoqué de débordements excessifs. Quelques dizaines de centimètres de hauteur d'eau en moins et aucun dégât notable n'a été déclaré. Or, sur le bassin, on totalise une surface de 85 % en labour "profond" (25-35 cm), et 15 % de céréales d'hiver. L'eau s'infiltre plus facilement dans ces sols à fortes rugosités. Ce fait est accentué par la réalisation d'un sous-solage par l'agriculteur (travail du sol par de longues griffes à 40-45 cm de profondeur pour briser la semelle de labour) au printemps 1994. A cela s'ajoutent d'autres facteurs ayant pu empêcher la crue, l'entretien des fossés et du cours d'eau après la crue de décembre 1993. Les préconisations actuelles favorisent souvent la simplification du travail du sol, en particulier le non-labour. Sur certains bassins versants américains, le volume d'eau ruisselé sur sols non-labourés est trois à quatre fois inférieur que sur sol labouré (Simplification du travail du Sol, INRA Edition, 1994). Pourtant à Erlon, à plusieurs reprises, le labour a fait ses preuves contre le ruissellement (WICHEREK et al, 1993). Le labour favorise les infiltrations ; le non-labour augmente la résistance du sol à l'incision. En fait, c'est l'agencement des parcelles dans l'espace qui détermine le choix de l'une ou l'autre des pratiques, le labour étant préférable à l'amont (limite le ruissellement), et le non-labour à l'aval (réduit les risques d'incision par le ruissellement formé à l'amont).

* L'érosion chronique

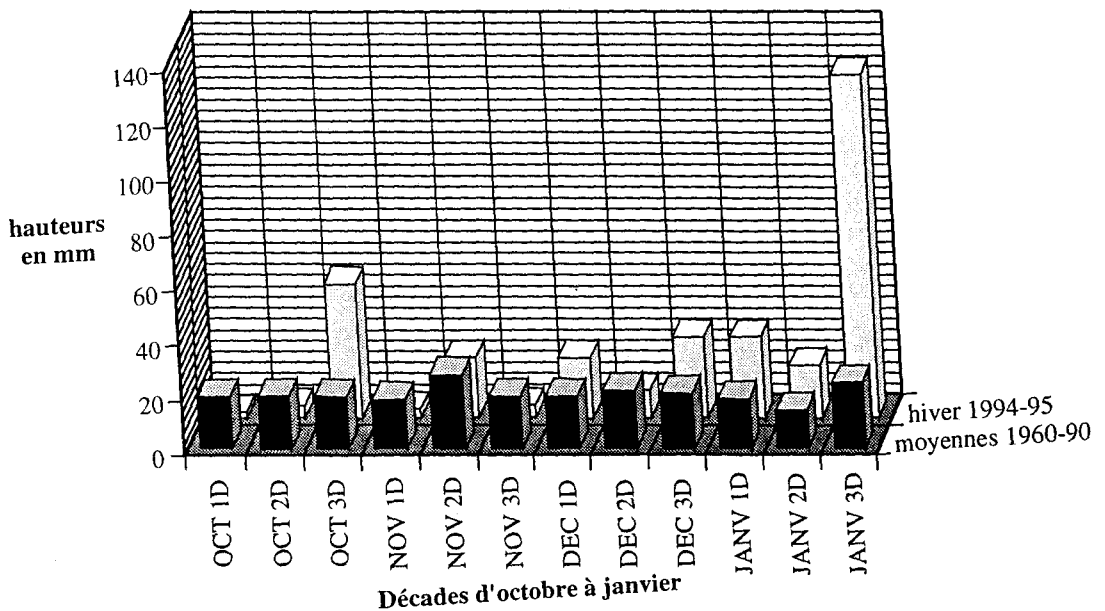
L'avantage du ruissellement chronique par rapport aux deux situations précédentes, coulées boueuses et coulées liquides, est d'être peu volumineux et peu violent, donc plus facilement maîtrisable. Mais ces caractéristiques de modération constituent aussi un inconvénient, puisqu'elles rendent le ruissellement chronique anodin et donc peu pris en considération. Pourtant des solutions simples comme des bandes enherbées devraient être testées.

Figure III - 1 - 1 - 2 - b : Comparaison des pluies décadaires de la période 1960-1990 et de décembre 1993



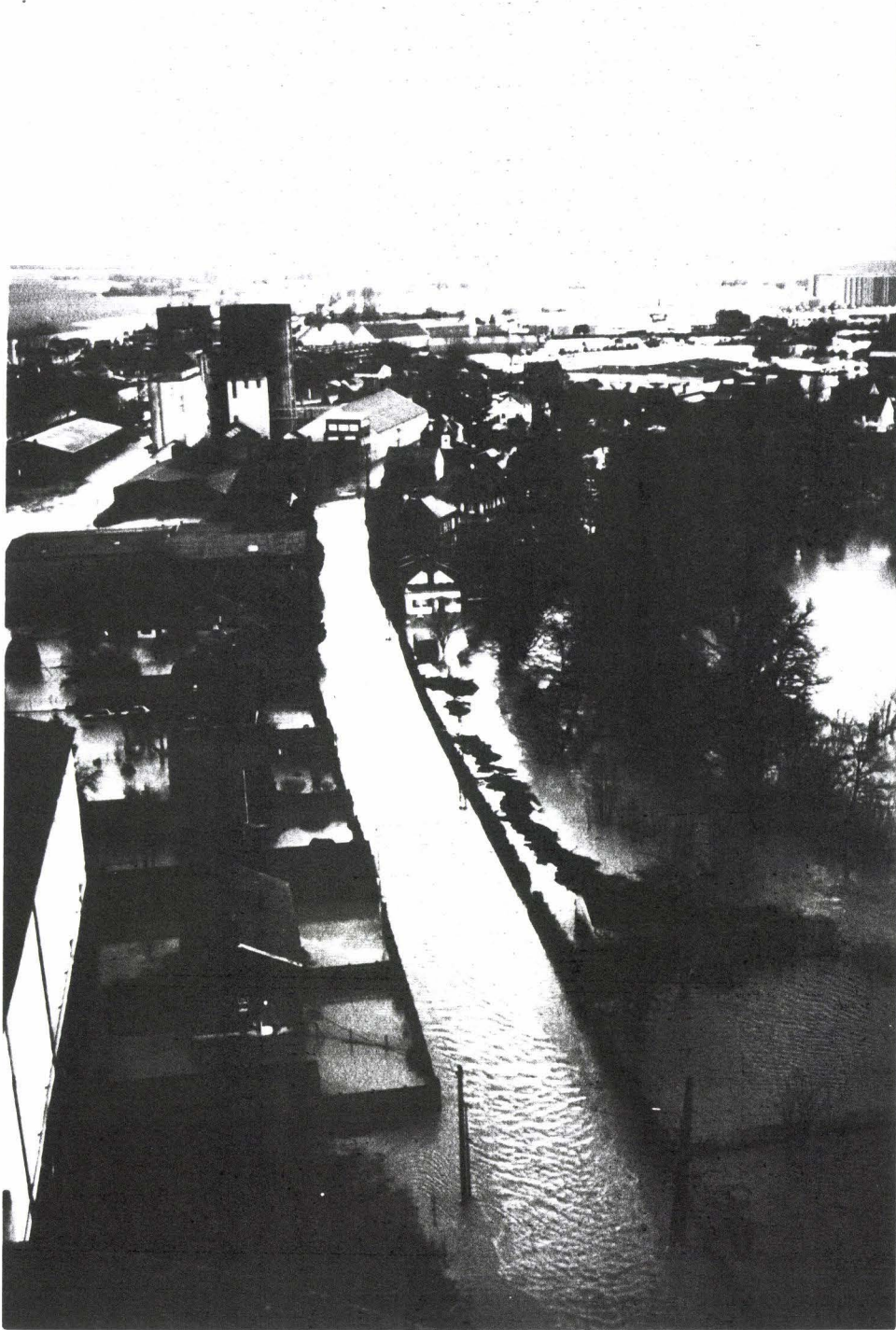
Sources : Pouilly-sur-Serre - Météo-France

Figure III - 1 - 1 - 2 - c : Comparaison des pluies décadaires de la période 1960-1990 et de décembre 1994



Sources : Pouilly-sur-Serre - Météo-France

Photo III - 1 - 1 - 2 - a : Crue de La Serre à Marle près d'Erlon : la ville et la sucrerie envahies par les
eau le 21 décembre 1993 (in WICHEREK, 1995)



III - 1 - 2 - Des aménagements : nature, localisation et financement

*** Limites des propositions traditionnelles**

Changer le sens de travail du sol, le parcellaire ou les assolements, apparaissent en théorie des solutions simples. Mais ces propositions sont très difficiles à concrétiser pour des raisons matérielles. En effet, c'est toute la planification de l'exploitation agricole qui est alors remise en question. Par exemple, le sens du travail du sol est souvent dicté par la longueur des parcelles de façon à limiter les fourrières (pertes de rendement, pertes de temps, pertes d'énergie pour faire tourner le tracteur). Il est aussi imposé par la pente de la parcelle : travailler perpendiculairement à la pente quand celle-ci est forte entraîne des risques de déversement du tracteur.

Le parcellaire et les assolements répondent, en général, à une demande bien spécifique de production. Chaque année l'exploitation doit produire des quantités bien déterminées de céréales, betteraves ou pommes de terre pour répondre aux contrats passés avec les coopératives ou les sucreries. En général, les agriculteurs connaissent à peu de chose près les assolements pour plusieurs années. De plus, l'assolement des parcelles ne peut être changé au dernier moment pour des raisons agronomiques. Par exemple, des céréales ne peuvent être remplacées par des betteraves sous peine d'appauvrir les sols. En effet, les betteraves, dites cultures exigeantes, nécessitent une grande quantité de potasse et de phosphore. Par ailleurs, le retour trop fréquent d'une culture dans un assolement (betteraves ou pommes de terre plusieurs années de suite) entraîne, outre un appauvrissement du sol, une résistance des mauvaises herbes et des maladies qui s'adaptent aux traitements phytosanitaires répétés et identiques. Les assolements précédemment cités répondent à un équilibre de production acquis au cours du temps (blé, betterave, blé, pois ou blé, pomme de terre, blé, betteraves ou blé, blé, maïs, pois, blé, etc.). Toute modification des assolements implique, de plus, une rectification de la planification des fertilisations et des achats de produits phytosanitaires. Toutefois, il n'est pas totalement impossible de modifier un assolement ou de le moduler (remplacer un blé par un orge par exemple).

Diminuer la taille des parcelles pour alterner les cultures suppose des traitements différents pour chaque culture et donc des déplacements de tracteurs de la ferme jusqu'à la parcelle spécifiques à chaque type de traitement. C'est un surcoût et une perte de temps. C'est aussi une pratique qui augmente la superficie des fourrières, surfaces fortement imperméabilisées. La décision de sous-diviser les parcelles est quelquefois prise lorsque les dégâts par ruissellement et érosion deviennent considérables. C'est ce qui s'est produit sur le BVEC de l'Arbre Robert d'Erlon. Mais les divisions de parcelles ne se font que dans le sens de la largeur.

Planter des haies est une solution particulièrement bien accueillie par les agriculteurs-chasseurs. Pour les autres cultivateurs, la haie constitue une perte de place et une gêne pour chaque retournement de tracteur traînant les outils (rampe à engrais fréquemment 24 m de large). C'est aussi le lieu de développement des rongeurs et une réserve de mauvaises herbes.

Très souvent, l'exploitant perd financièrement à changer ses pratiques. La modification des structures et des conduites agricoles demande une forte partie prenante de la part de l'agriculteur. La modification du travail du sol est peut être moins contraignante. Mais il faut que l'exploitant soit convaincu de son utilité. Dans le cas des aménagements, le choix est souvent le résultat de concertations avec les agriculteurs, tant du point de vue de la nature de l'aménagement, que de sa localisation, que de l'adaptation de sa taille afin de ne pas nuire au fonctionnement de l'exploitation.

* Les intérêts et les limites d'un aménagement : l'exemple d'Erlon

Suite à des orages violents survenus en mai et juin 1983 sur la commune d'Erlon, le Syndicat des Pays de la Serre, nouvellement créé, met en place un groupe de travail. Ce dernier permet en 1990 l'implantation d'aménagements anti-érosifs sur les BVEC situés à l'amont de la commune. Ses aménagements, inspirés de dispositifs expérimentés en Picardie et en Seine-Maritime sont constitués de fossés diguettes^(*), de ballot de paille et de mares tampons (voir les posters présentés au Festival de la Géographie de Saint-Dié des Vosges, 1995). Ces aménagements ont très bien fonctionné pour des orages modérés. Mais les 6 et 7 août 1995, suite à deux pluies consécutives de 72 mm (en 54 mn) et 23 mm (en 39 mn) en trois heures, les fossés diguettes ont cédé. La mare tampon a été complètement envasée. Le bilan consécutif à cet orage montre néanmoins l'efficacité des aménagements : la coulée a été moins dévastatrice que celle de 1983 (essentiellement des caves envahies par la boue et des chaussées dévastées, C. Legros, comm. orale 1995). Les fossés diguettes n'ont cédé qu'au second orage. Plusieurs facteurs expliquent cette faiblesse des aménagements : tout d'abord le manque d'entretien (trop-pleins bouchés, multiples trous de rongeurs dans les diguettes, fossés en partie comblés), leur taille modéré par rapport à l'ampleur du phénomène et, ensuite, la sensibilisation des édifices par la première coulée massive et volumineuse. Face à ce résultat négatif, la Chambre d'Agriculture ne prévoit pas de réparer les ouvrages, mais de les remplacer par des mares tampons ne nécessitant pas d'entretien. Les agriculteurs accueillent favorablement cette proposition qui fait disparaître les inconvénients associés aux fossés-diguettes : ces derniers provoquaient, en effet, à leur amont immédiat un engorgement en eau et donc une difficulté à travailler le sol.

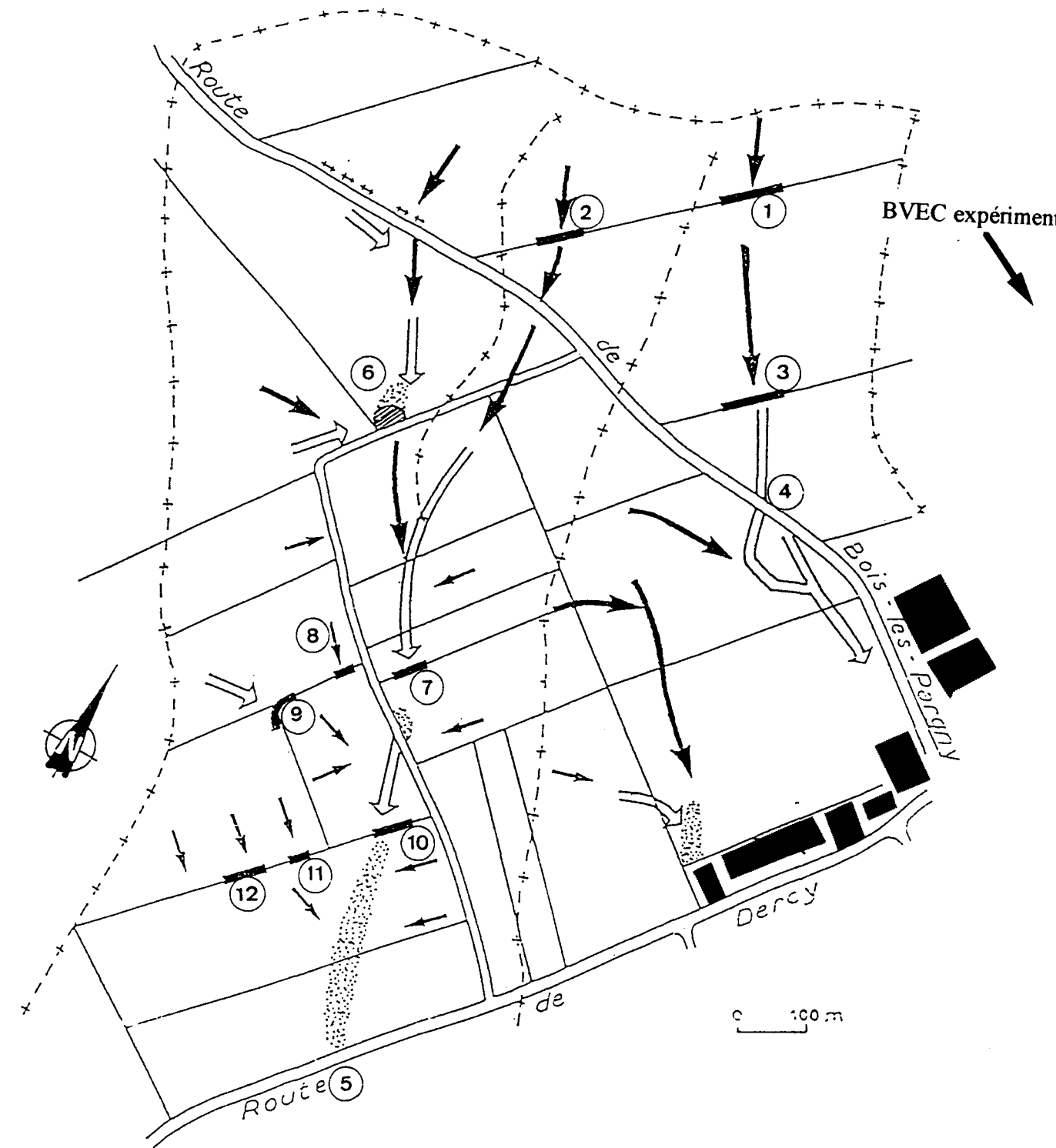
* Les mares tampons

Ce type d'aménagement ne semble pas si négatif que sa réputation lui en donne l'air... On garde souvent l'image négative du grand bassin de rétention cimenté des vignes de la Champagne. Mais il existe aussi de petites mares tampons qui s'intègrent bien dans le paysage. Elles assurent un bon stockage, une infiltration lente et une biodégradation. Bien positionnées dans le paysage, les mares tampons peuvent avoir un effet très positif. En particulier quand il n'existe pas de zone naturelle d'atterrissements ; lorsque le talweg aboutit directement dans l'axe d'un village ou dans le cours d'eau sans possibilité de détournement des écoulements. Les mares tampons constituent l'aménagement de dernier ressort qui permet, d'une part, de stocker un important volume d'eau (qui est toujours dépassé en cas de gros orages) et, d'autre part, de stocker les MES (particules de sol vectrices de polluants : essentiellement le phosphore et les produits phytosanitaires). Si elles ne stoppent pas totalement l'écoulement (quand le ruissellement est très volumineux), elles en brisent la violence et permettent une importante décantation. Un impératif subsiste : l'entretien. Il est très important de ressortir la terre décantées et de la remettre dans les champs pour éviter un envasement du fond.

En 1995, les mares tampons d'Erlon et de Vierzy jouent un rôle déterminant dans le stockage des MES. Elles sont totalement comblées par les sédiments des coulées boueuses. En raison de la date des ruissellements et de la dilution par les puissants débits, les concentrations en produits phytosanitaires ne sont pas élevées (fig. III - 1 - 2 - 1 - a, les ordres de grandeurs sont les mêmes que ceux de la station de mesure d'Erlon). Le piégeage existe, mais il est surtout sédimentaire. Les sédiments décantés sont moyennement chargés en phosphore et ne présentent aucune charge détectable en produits phytosanitaires. Il est fort probable que les sédiments prélevés en surface, les derniers décantés, recouvrent des sédiments plus riches en polluants.

(*) Fossés longs de 50 à 70 m et profonds de 50 à 140 cm, renforcés par une diguettes. Ils sont implantés à l'intersection des limites de parcelles et du talweg.

Figure III - 1 - 2 - 1 - a : Limites des BVEC, talwegs, trajets des coulées boueuses à Erlon (DAMAY, SOLAU, 1992)



- | | |
|---------------------------|--------------------------------|
| ← Zone de ruissellement | — Digette avec fossé |
| ⇐ Zone d'arrachement | ++ Barrage en balles de paille |
| ••• Zone d'atterrissement | ◐ Mare - tampon |
| + - - + Ligne de crête | |

Tableau III - 1 - 2 - 1 - a : Produits phytosanitaires dans la mare tampon d'Erlon

ERLON 10-Août-95	Eau brute	Eau filtrée	Sédiments décantés en µg/kg	Cultures	Nature	Mois d' application
MES en g/l		-				
N tot en mgN/l		3,1				
P tot en mgP/l	1,33	0,471				
P ortho en mgP/l		0,424				
NH4+ en mgN/l		0,32				
NO3-- en mgN/l		1,43				
éthofumesate en µg/l	0,2	0,2	< 400	haricots	herbicide	05, 06
monolinuron en µg/l	< 0,2	< 0,2	< 400	haricots/oignons	herbicide	05, 06
carbofuran en µg/l	0,27	0,2	< 400	oignons	insecticide	05, 06
lambda cyhalothrine en µg/l	< 0,20	0,2	< 400	oignons	insecticide	05, 06
iprodione en µg/l	0,2	0,2	< 400	haricots/oignons	fongicide	05, 06

La mare tampon d'Erlon, située sur la partie amont du BVEC, est alimentée par une surface d'environ 35 ha. Mise en place en 1989, elle fonctionne annuellement (récolte des pommes de terre à l'automne 1993, etc.). Le prélèvement a été réalisé suite au violent orage des 6-7 août

Tableau III - 1 - 2 - 1 - b : Produits phytosanitaires dans la mare tampon de Vierzy

VIERZY 17-Jul-95	Eau brute	Eau filtrée	Sédiments décantés en µg/kg	Cultures	Nature	Mois d' application
MES en g/l		-				
N tot en mgN/l		2,06				
P tot en mgP/l	5,56	0,334				
P ortho en mgP/l		0,311				
NH4+ en mgN/l		0,01				
NO3-- en mgN/l		1,09				
métamitronne en µg/l	1,2	0,3	<400	betteraves	herbicide	05
chloridazone en µg/l	1,9	0,3	400	betteraves	herbicide	05, 06
isoproturon en µg/l	< 0,2	<0,2	<400	céréales	herbicide	05
2,4 mcpa en µg/l	0,9	0,7	<400	céréales	herbicide	02

La mare tampon de Vierzy est située au sud du BVEC étudié. Elle est alimentée par environ 40 ha et représente aussi un volume de plusieurs centaines de mètres cubes. Un prélèvement a été réalisé après le violent orage du 11 juillet 1995.

* Le projet d'aménagement de Vierzy

La commune a été, à plusieurs reprises, envahie par la boue. Les dommages et les risques concernent essentiellement l'école et les élèves, ainsi que les routes. Mais quel investissement choisir, car les coulées de boue ne sont pas si fréquentes ? Quel aménagement adopter pour ne pas perturber les activités agricoles du plateau ? La coulée de boue la plus nuisible provient du bassin versant du Grand-Fossé, celui-là même qui a été étudié dans ce travail. Suite à la coulée du 11 juillet 1995, le maire a entrepris des démarches auprès de la Chambre d'Agriculture pour que des propositions d'aménagements soient avancées. Compte tenu des nombreuses mesures et observations de terrain, il nous est possible d'avancer quelques suggestions.

- La mise en place de fossés (ou fossés diguettes) le long du chemin situé au tiers amont permettrait de stocker et freiner l'eau provenant de l'amont. Ces aménagements s'ajouteraient à la zone "tampon" en amont du chemin qui doit former une petite mare avant que l'eau ne le franchisse (2ème Partie, II - 2 - 2 - 4).

- L'enherbement du talweg principal dès l'amont. Ceci serait possible compte tenu du fait que ce talweg suit des limites de parcelles. De plus, sur le tiers aval, le talweg emprunte une partie de chemin communal actuellement cultivée. Il serait même souhaitable d'y implanter de la végétation ou des aménagements peu larges mais contribuant à ralentir l'eau qui ne rencontre aucun obstacle.

- La mise en place de fossés enherbés le long de la D 804 qui pourraient ralentir et faciliter l'infiltration des eaux provenant de la route et de l'amont.

- L'implantation d'une petite mare tampon intermédiaire à l'intersection du talweg principal et de la D 804. L'idéal serait de jumeler deux petites mares (le volume est collecté sur une surface considérable : plus de 100 ha) à l'amont et à l'aval de la route, reliées entre elles par des trop-pleins et de surélever la route.

- L'exploitation de configuration de l'exutoire, le "Grand Fossé" qui est favorable à l'aménagement d'une zone de ralentissement des eaux et de stockage. Mais attention à ne pas construire quelque chose de trop fragile ou petit qui serait emporté par la coulée et provoquerait des dégâts plus importants dans la commune.

- En dernier recours, le plus à l'aval, canaliser la coulée restante vers une zone tampon d'épandage actuellement en prairies et jardins et fermer cette zone pour que la coulée ne poursuive son chemin vers et dans l'école.

Compte tenu de la fréquence des sinistres et du coût de tels équipements, on peut privilégier l'aménagement de l'exutoire et d'une zone de sécurité en aval du bassin. Dans le cas présent, le changement de sens de travail du sol et la diminution du parcellaire ne sont pas conseillés. Ils contribueraient peu à la diminution du volume des ruissellements et surtout seraient très peu faciles à mettre en oeuvre pour les exploitants. De même, des haies dans le talweg représenteraient une gêne importante pour le travail et le traitement du sol. Par contre, le talweg peut être enherbé, voire aménagé de buissons ou haies basses, à moindre coût et avec des nuisances limitées (rongeurs, gêne réduite). Les buissons et les taillis seraient, de plus, intéressants pour la préservation d'oiseaux et d'insectes, la biodiversité de la région étant déjà atteinte^(*).

^(*) C'est ce qui ressort d'un inventaire d'insectes mené sur plusieurs placettes aux alentours de Vierzy (voir annexe 22).

* Le problème du financement

Le principal problème à résoudre, après l'acceptation des aménagements par les agriculteurs, est celui du financement des travaux. Qui doit payer ? Cette question débouche souvent sur un débat sur les responsabilités de celui qui cultive à l'amont, celui qui habite à l'aval, de la mairie, etc. Ce sont les Communautés de communes (syndicats intercommunaux) ou les Chambres d'Agriculture qui proposent le plus souvent les différentes voies de financement mais celles-ci restent peu nombreuses.

Le caractère expérimental de l'aménagement du site d'Erlon a permis d'obtenir des financements du Conseil Général de l'Aisne, du Conseil Régional de Picardie, et de l'Agence de l'Eau, soit 315 000 francs dont 200 000 francs pour la création d'ouvrages. Ce type d'opération "pilote" reste exceptionnel. Toutefois, il est reproductible dans le cas de situations critiques. Ainsi dans la Somme, le Conseil Général, par le relais de SOMEA (Somme, Espace et Agronomie, association du Conseil Général et de la Chambre d'Agriculture), le FGER (Fond de Gestion de l'Espace Rural) et l'Agence de Bassin financent à 80 % l'étude, l'aménagement (et entretien) de bassins versants situés sur les communes de Vignancourt et Hallois-lès-Pernois (LUCÉ, 1996).

Pour des mesures anti-érosives plus modestes - par exemple l'implantation de haies - , il existe plusieurs sources de financements indirectes comme le FFD, Fonds de Développement Durable, ou le FGE, Fond de Gestion de l'Espace Rural. Ce dernier date de la "Loi Pasqua" sur l'Aménagement du territoire qui attribue un budget de 4,6 millions de francs par an au département. Il existe des possibilités d'utiliser ces fonds pour la mise en place d'enherbement ou de boisement contre l'érosion. Actuellement, l'aide du "Fonds Forestier National" a déjà permis une accélération du reboisement dans l'Aisne, en particulier dans les vallées, dont celle du Soissonnais. En 1992, 590 ha ont ainsi été plantés contre 91 ha en 1993, mais les surfaces sont encore très faibles. Ce type d'opération est financée pour un tiers par la France (975 francs/ha pris en charge par le FFN) et pour les deux autres tiers par l'Union Européenne (2 000 francs) (M. Bertin, comm. orale 1995).

Certains acteurs locaux peuvent par leur motivation prendre l'initiative de quelques mesures. Par exemple, le GIG (Groupement d'Intérêt Cynégétique), qui regroupe essentiellement des agriculteurs-chasseurs, est favorable à la plantation de haies pour permettre le respect des équilibres dans la nature (H. Moquet, comm. orale 1995). Ses membres préconisent et utilisent déjà le couvert des jachères par des "mélanges pour gibier" souvent à base de trèfle rouge qui préservent autant les sols, que la faune et la micro-faune.

III - 2 - Utilisation des résultats de terrain pour l'évaluation et la gestion des risques d'érosion et de dégradation des eaux sur des BVEC de la région

Choisir des mesures anti-érosives et les adapter à un site nécessitent de bien connaître la nature du risque ; mais ce risque comment l'évaluer ? L'évaluation du risque est capital car elle détermine l'ampleur de l'investissement financier et la motivation des intervenants.

Dans un premier temps, on propose un principe de classification se basant de la sensibilité des BVEC à émettre du ruissellement, à être érodés et à exporter des MES et autres polluants (fig. III - 2 - 1 - a). Dans un second temps, une base de classification peut être établie en fonction de la sensibilité du milieu récepteur que ce soit un village ou un cours d'eau (fig. III - 2 - 1 - b et c).

Dans le cas particulier des coulées boueuses, quelles que soit la configuration du site, elles peuvent se produire. La première classification n'a pas d'intérêt et l'évaluation du risque renvoie directement au paragraphe suivant (III - 2 - 1 - 2). On peut toutefois introduire quelques points de différenciation basés sur les observations des orages des 6-7 août 1995 à Erlon et du 11 juillet 1995 à Vierzy. Elles sont importantes à noter dans le cadre d'aménagement visant à freiner les écoulements (débits) ou à stoker les coulées (volumes).

- Pour des BVEC de taille ayant un rapport de 10, il semble que le débit maximum soit resté dans un ordre de grandeur comparable (pas de mesure à Vierzy, mais des traces sur le "V" de mesure).
- Par contre le volume a été bien supérieur à Vierzy (coulée suffisante pour inonder la rue principale, les jardins et les caves) ; la durée de l'écoulement a aussi été plus importante.

III - 2 - 1 - Classification des BVEC en fonction des caractéristiques morphopédologiques et agraires des sites

On a retenu les facteurs suivants :

- La superficie du BVEC

Elle intervient sur la fréquence des ruissellements et donc de l'érosion.

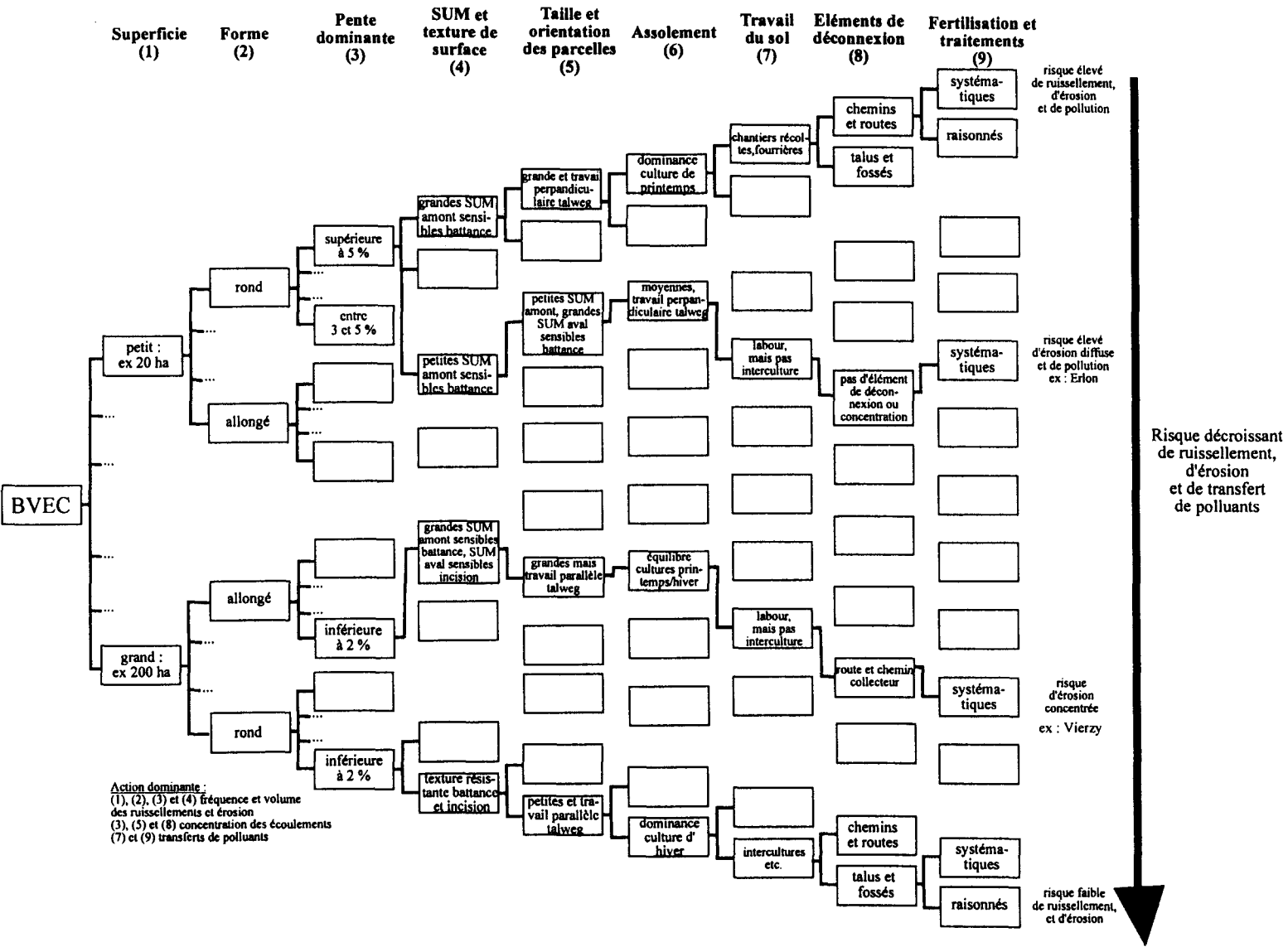
exemple :

1 : moins de 20 ha	ruissellement très fréquent (ex Erlon, jusqu'à 100 par an) ^(*)
2 : 20 à 50 ha	ruissellement fréquent
3 : 50 à 100 ha	ruissellement moyent' fréquent (ex Blosseville, 20-30 par an, Ben Khadra, comm. orale 1996)
4 : 100 à 200 ha	ruissellement peu fréquent (exemple Vierzy, maximum 15 par an)
5 : plus de 200 ha	ruissellement exceptionnel

nota bene : pour des conditions comparables de pentes, sols, etc.

(*) Encore que ces chiffres pourraient être discutés en relation avec la pluviométrie, car en 1995 par exemple aucun ruissellement n'a été observé sur les différents sites cités.

Figure III - 2 - 1 - a : Synthèse des risques de ruissellement, d'érosion et de pollution des eaux en fonction des caractéristiques géomorphopédologiques et agraires des BVEC



- La forme du BVEC

Allongée ou arrondie, la forme d'ensemble agit sur la rapidité de concentration. C'est aussi un indice sur la longueur du talweg principal, collecteur principal. Rapidité de concentration et longueur du talweg étant des facteurs qui interviennent sur l'érosion concentrée.

Lors de l'observation de la forme, on peut introduire un autre facteur, celui de l'orientation du BVEC, en particulier pour des sites de plusieurs centaines d'hectares. Par exemple, à Vierzy, sur un BVEC allongé, orienté Est-Ouest, si l'on prend le cas d'une pluie à caractère orageux arrivant de l'Est. Le ruissellement provenant de la partie amont va se confondre avec le ruissellement en cours de formation sur la partie aval. Le flot pourra en être grossi. A l'inverse, une pluie arrivant de l'Ouest arrosera d'abord les sols près de l'exutoire, puis ceux en amont. L'écoulement sera plus étalé ou aura eu le temps de s'infiltrer.

- La pente dominante sur les versants et dans le talweg principal

La pente intervient sur la fréquence des ruissellements, mais aussi sur la rapidité des écoulements et donc la force érosive (érosion interrigole et incision du talweg).

exemple :

1 : 50 % du BVEC avec des pentes de plus de 5 %	ruissellements fréquents et rapides
2 : 50 % du BVEC avec des pentes comprises entre 2 et 5 %	ruissellements moyens
3 : 50 % du BVEC avec des pentes de moins de 2 %	ruissellements peu fréquents et moins rapides

nota bene : pour des conditions comparables de sols, superficie, etc.

- Les surfaces d'alimentation en eau et les textures de surface

Les superficies de chaque surface combinée aux textures de surface indiquent la capacité du sol à émettre du ruissellement (volume) et à résister à l'incision (forme d'érosion dominante sur le BVEC) (voir 3ème Partie, I - 3 - 4). La teneur en matière organique peut aussi être considérée à ce niveau de classification car elle intervient sur la dégradation des états de surface et sur la résistance à l'incision. Le nombre de situations est très important.

exemple :

1 : SUM amont très étendues et dominance des textures de surface sensibles à la battance, SUM aval sensible à l'incision	risque élevé d'érosion diffuse et d'incision de talweg
...	
5 : SUM amont et aval équivalente, textures peu sensibles au ruissellement et à l'incision, sol riche en matières organiques	risque faible d'érosion

nota bene : pour des conditions comparables de pentes, superficie, etc.

- Le pourcentage de culture printemps

Sur les cinq ou dix dernières années, le calcul annuel du pourcentage de la superficie du BVEC consacré aux cultures d'hiver et de printemps peut être réalisé. Ces pourcentages doivent être modulés si des intercultures sont pratiquées.

exemple :

1 : culture de printemps sur plus de 50 % de la surface	risque très élevé de ruissellement hivernal et printanier
...	
5 : culture d'hiver sur plus de 75 % de la surface	risque réduit d'érosion

- La taille et l'orientation du travail des parcelles

La taille des parcelles et le sens de travail du sol par rapport à la pente interviennent sur la concentration et le volume des écoulements et sur la prise en charge de MES.

exemple :

1 : essentiellement des parcelles de tailles supérieures à 20 ha et orientées perpendiculaire au talweg principal, dans le sens de la plus forte pente	risque élevé
...	
5 : parcelles de tailles réduites (moins de 5 ha) et travaillées perpendiculairement à la pente, parallèlement au talweg collecteur	risque très réduit

- La présence d'élément de déconnexion ou de collecteur des écoulements

Il faut retracer le trajet suivi par les eaux. Des éléments comme des talus enherbés, des haies, et divers autres éléments du paysages peuvent détourner, ralentir, arrêter le flux d'eau.

exemple :

1 : chemin ou route sur le tracé du talweg	risque accru
...	
3 : nombreux talus ou fossés aux limites de parcelles	risque réduit

- Les pratiques culturalesexemple :

1 : chantier de récolte tel quel, etc.	risque accru
...	
3 : sous-solage (si justifié), chaumes en place, intercultures, bandes enherbées, etc. pratiqués sur une portion importante du BVEC	risque réduit

- Les apports fertilisants et traitants

Au préalable, on définit les quantités de traitements correspondant à un traitement raisonné, un traitement à vue ou un traitement systématique.

exemple :

1 : pour une majorité des agriculteurs du site, apport systématique	risque accru
2 : ...	
3 : pour une majorité des agriculteurs du site, pratique raisonnée, observation-décision	risque réduit

Pour évaluer le risque à une date donnée, on peut introduire la notion de temps en évaluant le taux de couverture du sol et les états de surface (pluies antérieures) à la date en question. Pour cela, on peut avoir recours aux calendriers culturaux et aux relevés d'observations comme ceux présentés en annexe 21. On peut ainsi multiplier les croisements à l'infini avec autant de facteurs ajoutés. Seul un SIG, où toutes les informations préalablement citées seraient introduites, permettrait de tout prendre en compte, de visualiser, puis confronter les risques sur chaque BVEC. Pour cela la base de données à constituer est énorme. Par ailleurs, il serait toujours souhaitable de confronter les résultats avec les observations des agriculteurs sur la fréquence des ruissellements et l'intensité des traces d'érosion, ainsi qu'avec des photographies aériennes et tout autre document existant sur ce sujet.

III - 2 - 2 - Classification des risques en fonction de la vulnérabilité des milieux récepteurs et des caractéristiques des coulées

Pour tous les ruissellements assez volumineux pour sortir du BVEC et dont le trajet touche un village ou un cours d'eau, on peut établir des degrés de risques tant pour le village que pour le cours d'eau. Ces risques sont fonction de la nature de la coulée (boueuse, claire, chargée de grêlons, etc.) et de la vulnérabilité du site atteint.

Cette triple classification des risques permet de choisir des mesures, d'une part, en tenant compte des caractéristiques du BVEC et, d'autre part, de la nature du risque. La démarche de classification adoptée permet de réaliser une estimation des risques : une sorte de prévision. A partir de cela, on peut envisager des aménagements ou des changements de pratiques adaptées, c'est la prévention.

Figure III - 2 - 2 - a : Synthèse des risques pour un cours d'eau en fonction du type de coulée et de la vulnérabilité du cours d'eau

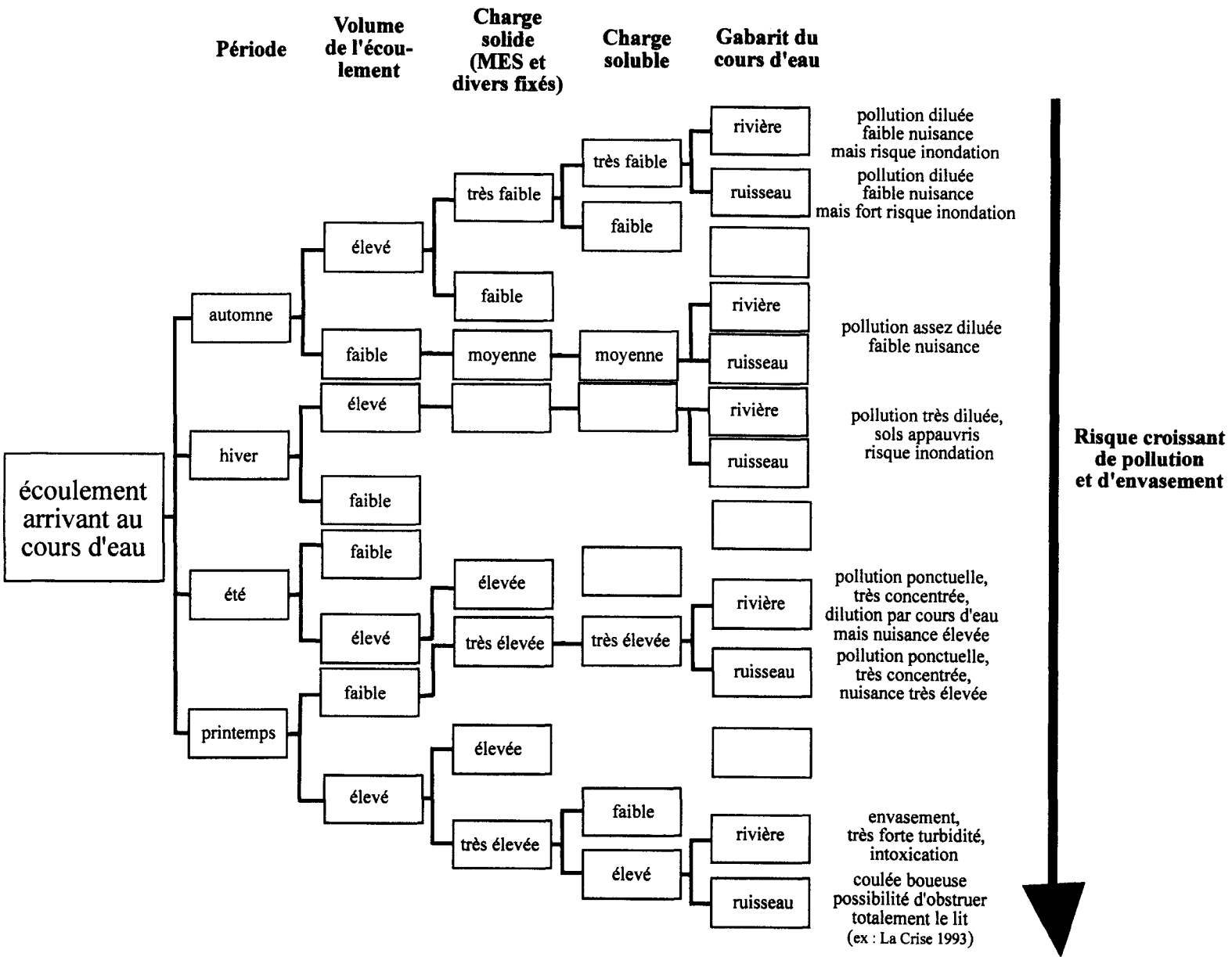
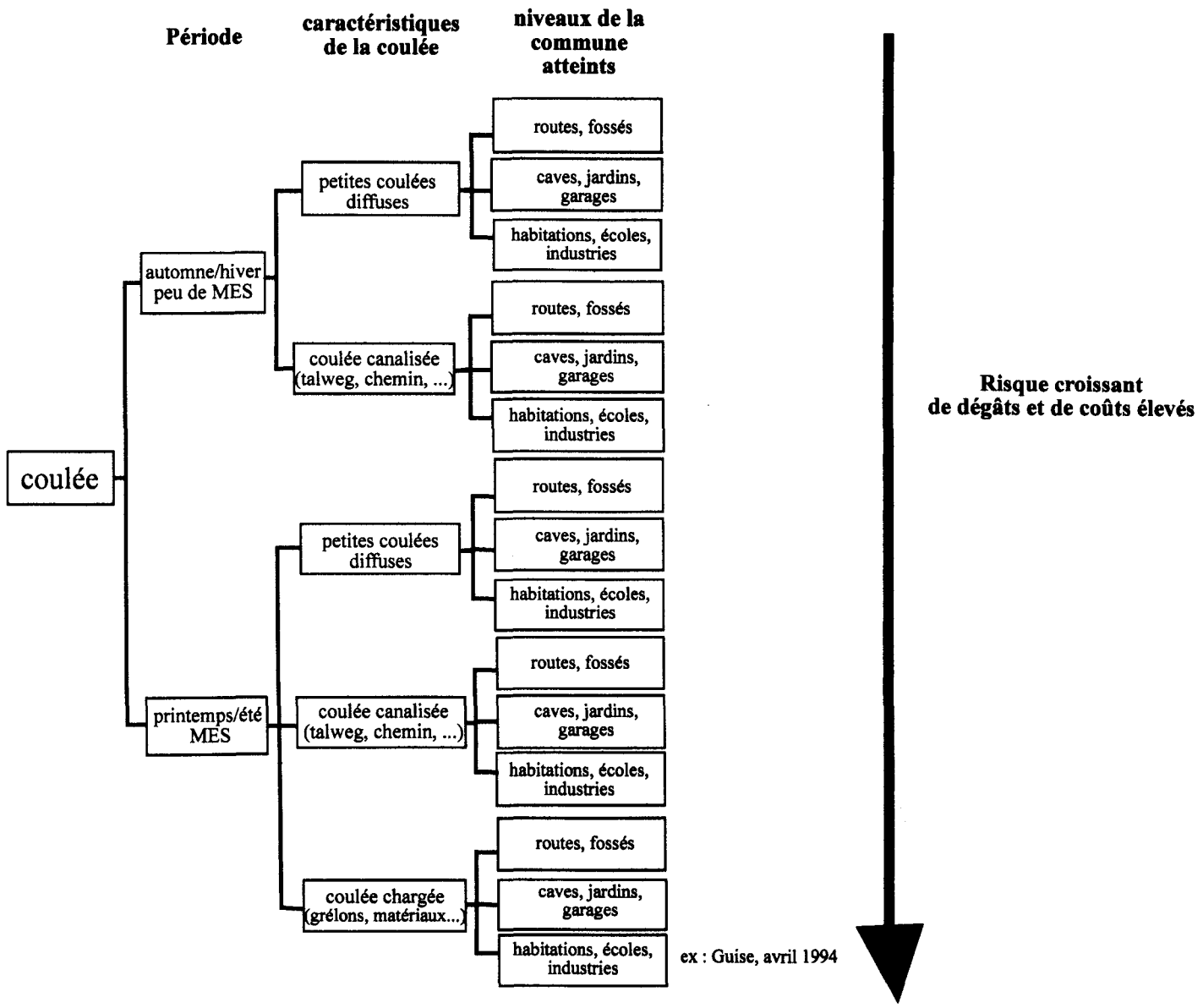


Figure III - 2 - 2 - b : Synthèse des risques pour une commune en fonction du type de coulée et de la vulnérabilité de la commune



CONCLUSION

* * *

CONCLUSION

* * *

INTERACTION MILIEU PHYSIQUE ET MILIEU ANTHROPIQUE

Erosion et dégradation des sols et des eaux : bilan et perspectives

* * *

Au terme de ces trois années de mesures, pendant lesquelles des conditions idéales de travail étaient réunies - tout d'abord les équipements des stations, puis les possibilités d'analyses, les expérimentation en conditions réelles et enfin les conditions météorologiques avec quelques orages et un hiver pluvieux - plusieurs conclusions peuvent être avancées. Elles concernent l'érosion, les transferts de polluants et leurs conséquences environnementales, le rôle des systèmes de culture sur les transferts de polluants et sur la gestion des risques d'érosion et de pollution des eaux et, enfin, l'utilisation des résultats pour une étude à différentes échelles.

* La fréquence et l'amplitude des ruissellements à l'origine des transferts

La fréquence des ruissellements est très différente sur les deux sites expérimentaux qui présentent des caractéristiques physiques et d'exploitation anthropique distinctes. Sur le **petit BVEC d'Erlon, plus de 100 ruissellements** ont été enregistrés **entre 1993 et 1995**. Pendant la même période, on en dénombre **seulement 6 sur le grand BVEC de Vierzy**.

La fréquence des ruissellements est, tout d'abord, liée à des seuils limites de pluie imposés par les caractéristiques géomorphopédologiques (essentiellement la pente et la surface des BVEC). Sur le site du Plateau soissonnais de 200 ha de **Vierzy**, à pentes peu marquées (59 % à moins de 2 %), il faut une lame d'eau journalière d'au moins **50 mm** pour entraîner un ruissellement. Par contre, sur le petit bassin d'**Erlon**, aux pentes contrastées (55 % à plus de 5 %), couvrant 20 ha, **10 à 12 mm** suffisent. Les seuils de pluie sont supérieurs sur le grand bassin, dans un rapport de deux à trois, pour un rapport de superficie de dix avec le petit BVEC. Les périodes de retour de 2 ans et 20 ans pour des lames d'eau de 20 mm et de 50 mm, données par les références statistiques, expliquent le plus petit nombre de ruissellements à Vierzy.

La fréquence des écoulements dépend aussi des pluies, en particulier les lames d'eau antérieures et les intensités qui conduisent à un état du sol (battance ou saturation en eau) tel que les seuils de pluie sont réduits. Ainsi à **Vierzy**, il faut un minimum de **50 mm les dix jours antérieurs** - ce qui **réduit la lame d'eau journalière indispensable à 20 mm** - ou de **50 mm en une journée** avec des intensités de 50 à 100 mm/h en 1 mn (8 à 48 mm/h en 1 h). A **Erlon**, une pluie cumulée de **20 mm sur dix jours** permet le déclenchement d'un ruissellement pour seulement **quelques millimètres** de pluies. Sur le même site, des intensités pluviales de 30 mm/h pendant 10 mn ou 12,5 mm/h pendant 1 h suffisent à provoquer un écoulement.

Enfin, le nombre des ruissellements est fonction du travail (ou non-travail) du sol, qui peut provoquer un ruissellement pour une lame d'eau inférieure au seuil (chantier de récolte) ou empêcher un ruissellement pour des lames d'eau très supérieures au seuil (labour, sous-solage et céréales d'hiver). **Un labour sur 85 % de la superficie du petit BVEC empêche tout ruissellement**, alors que **la même superficie en chantiers de récolte entraîne des écoulements presque continus** pour des pluies de quelques millimètres. **Sur le grand BVEC, le grand nombre de parcelles entraîne une hétérogénéité des états de surface, les risques de ruissellement liés à ce facteur sont donc moins importants.** Toutefois, la proportion de cultures d'hiver ou de chantier de récoltes (50 % de la superficie) modifie aussi le seuil des pluies entraînant un écoulement.

La part de la lame d'eau de pluie qui ruisselle est toujours faible. Elle est fréquemment de **1 à 4 % à Erlon ; sauf aux cours de violents orages où elle peut atteindre 14 % ou au cours de pluies prolongées (11 %).** A **Vierzy**, elle demeure bien inférieure, avec **un maximum de 3,6 % en hiver.** Les coefficients de ruissellement sont globalement supérieurs à Erlon en relation avec les pentes et le réseau de drainage qui contribuent à une meilleure concentration des écoulements. Mais **les textures de surface** ont probablement une influence. En effet, à **Erlon**, quelques jours sans pluie suffisent au ressuyage des sols : **le coefficient de ruissellement peut augmenter au cours de ruissellements successifs**, mais il diminue quand au moins quatre jours séparent deux averses équivalentes. A **Vierzy**, il faut plus d'une dizaine de jours entre deux averses pour que le coefficient diminue. **Les limons moyens se restructurent moins rapidement que les limons argileux, dominants à Erlon (74 % de la surface en limons argileux).** Ces mêmes limons moyens semblent expliquer une augmentation plus rapide des coefficients de ruissellement à **Vierzy (70 % de la surface en limons moyens)** au cours de ruissellements successifs.

La superficie, les faibles pentes, les grandes distances et les nombreux replats du site de **Vierzy** expliquent aussi l'ampleur des ruissellements. **Rapportés à l'unité de surface, les volumes et les débits mesurés à Vierzy sont, conformément à la logique hydrologique, bien inférieurs à ceux d'Erlon.** Toutefois, **sur les deux sites, on observe des ruissellements dont les débits instantanés maxima peuvent dépasser 30 000 l/mn et les écoulements les plus fréquents sont ceux dont le débit instantané maximum est compris entre 1 et 100 l/mn et dont le volume est supérieur à 1 m³.** Le relief plus accentué d'Erlon entraîne, quant à lui, des réponses aux pluies toujours plus rapides qu'à **Vierzy.** **Les temps de concentration** des écoulements subissent aussi cet effet de pente et sont beaucoup plus courts sur le petit bassin. Ainsi, après les longues pluies de l'hiver 1993-94, lorsque les sols sont saturés, **les temps de réponse et de concentration** sont réduits au minimum : ils atteignent une dizaine de minutes à Erlon, mais restent voisins d'une heure à **Vierzy.** La saturation des sols en eau (25-27 %) joue donc un rôle important, mais la topographie prend le relais en entraînant des "comportements limites" différents.

Par ailleurs, la grande superficie et les faibles pentes de Vierzy sont la cause d'écoulements longs en raison des longues distances à parcourir. Le régime permanent, c'est-à-dire **le maintien du débit à sa valeur maximale, est plus long à Vierzy qu'à Erlon**. Il est même parfois très élevé (plus de 50 mn) témoignant d'une arrivée continue et régulière de l'eau de l'ensemble du bassin. En revanche, **le temps de vidange (ou décrue) est beaucoup plus court à Vierzy**. Les **replats, sortes de relais, beaucoup plus nombreux qu'à Erlon facilitent le stockage et l'infiltration des eaux de fin de ruissellement**. A Erlon, on constate bien après la fin de l'averse (5 heures) **des résidus d'écoulements qui semblent provenir du déchargement des sols**.

Le tracé des hydrogrammes de ruissellement dépend essentiellement de la forme de l'averse et de l'intensité des pluies : le plus souvent, les hydrogrammes complexes sont liés à des pluies composées. Le tracé de l'hydrogramme dépend aussi du parcellaire qui, implanté perpendiculairement à la plus grande pente à Vierzy conditionne une forme lissée. Enfin, il dépend de **l'existence d'éléments de déconnexion**. Par exemple, certains ruissellements de Vierzy résultent du fonctionnement d'une partie du BVEC et non de sa totalité. Ce fonctionnement partiel est lié à une forte présence des axes de communication, routes et chemins, intervenant comme des collecteurs ou obstacle (par exemple la saturation en eau des sols est indispensable en amont du chemin pour que le ruissellement venant de l'amont le traverse contribuant ainsi à l'écoulement global).

*** Forme, ampleur et conséquence de l'érosion**

Sous le terme de ruissellement/érosion, on a pu observer deux types de manifestation : **l'érosion hivernale qui peut contribuer au gonflement des crues** et **l'érosion printanière** qui, dans le pire des cas aboutit, à **la coulée boueuse** très chargée en MES (plus de 10 g/l). A chacune correspond des situations et des conséquences différentes.

L'érosion hivernale se caractérise par **des pertes spécifiques de terre faibles**, quels que soient les sites : jusqu'à quelques dizaines de kilogrammes par hectare et seulement quelques dizaines de grammes d'azote et de phosphore. Il s'agit essentiellement **d'une érosion concentrée en région de plateau**, à Vierzy, en relation avec de grandes surfaces d'alimentation en eau : on observe presque annuellement une petite ravine et les teneurs en Cs-137 du talweg indiquent une forte ablation.

Que ce soit à Erlon ou à Vierzy, **les MES sont présentes en très faibles concentrations** (0,06 à 0,14 %) dans les faibles écoulements hivernaux. Les teneurs augmentent en relation avec les débits et les pics d'intensités pluviales. Ainsi, elles peuvent dépasser 0,1 % **lorsque le débit du ruissellement dépasse 1 000 l/mn** à l'exutoire (dans ce cas, les concentrations en MES suivent sensiblement la même évolution que le débit) **ou lorsque l'averse présente des pics d'intensité pluviométriques répétés supérieurs à 10 mm/h à Erlon et 24 mm/h à Vierzy**. La corrélation MES et débit n'est jamais excellente. De plus, elle est, le plus souvent, meilleure à Erlon qu'à Vierzy.

La corrélation débits et MES n'est très bonne que pour les ruissellements courts et associés à de fortes intensités. Mais elle tend à s'améliorer **au cours des ruissellements successifs**. Les imperfections de cette corrélation sont parfois liées à **un transfert des MES légèrement retardé par rapport aux débits (10 à 20 mn)**. Mais si on recale dans le temps les deux données, la corrélation s'améliore nettement, ce qui montre que les débits jouent un rôle important dans la prise en charge de MES, même si celles-ci se déplacent plus lentement.

Par ailleurs, **l'érosion hivernale est sélective : la fraction de MO de la charge solide peut être très élevée** (elle varie de 8 à 90 %), **mais les flux totaux restent très modérés** en relation avec les faibles exportations totales de MES. La plus grande proportion de MO à cette saison est probablement en relation avec leur faible densité.

Les ruissellements hivernaux présentent **des concentrations assez faibles en azote** (ex 1,63 mgN/l de nitrates et 0,023 mgN/l d'ammonium). **De plus, ces concentrations diminuent rapidement** que ce soit au cours d'un ruissellement (ex 6,4 à 0,7 mgN/l) ou de ruissellements successifs (2,7 à 0,1 mgN/l). Les pertes en azote concernent essentiellement les formes solubles par percolation. **Seul le phosphore soluble reste en concentration constante** au cours des différentes saisons probablement en raison d'un apport par le phosphore particulaire du sol.

L'érosion de printemps/été se distingue par des concentrations élevées, voire exceptionnelles (lors de gros orages), tant en MES qu'en MO, qu'en polluants, lors des coulées boueuses consécutives aux gros orages.

Les teneurs en MES qui dépassent 10 g/l, peuvent atteindre 60 g/l au cours d'un petit orage de printemps et plus de **260 g/l au cours d'un violent orage estival**. **Les états de surfaces** et surtout **les très fortes intensités (210 mm/h en 1 mm et 86,4 mm/h en 1 h)** justifient ces très fortes valeurs. En étroite relation avec la charge en MES, **le phosphore fixé est présent en quantité exceptionnellement élevé (36,8 mgP/l)**. **Il semble jouer un rôle régulateur sur les concentrations en ortho-phosphates**. Les concentrations de ces derniers, toujours élevées, restent **relativement constantes**, oscillant entre 0,400 ou 0,800 mgP/l (sauf à certaines dates, suite à un appauvrissement ou au manque de temps pour l'établissement d'un équilibre entre les phases solubles et fixées).

Les concentrations en nitrates sont aussi **élevées du printemps (13,1 mgN/l) à l'été (10,6 mgN/l)**. Mais au printemps, elles se maintiennent élevées tout le long du ruissellement (12,3 mgN/l en moyenne) ; ce n'est pas le cas au cours de l'été (2,0 mgN/l, en moyenne, liés à un écoulement plus tardif, un appauvrissement dû aux entraînements précédents ou aux prélèvements par les plantes ou une dilution par les très forts débits). **Les concentrations en ammonium sont exceptionnellement élevées au printemps (3,66 mgN/l maximum et 2,45 mgN/l minimum)** et plus modestes en été, période à laquelle elles évoluent par pics (0,920 mgN/l). Elles sont, dans les deux cas, supérieures à celles rencontrées dans les cours d'eau situés à l'aval (exemple des nitrates, trois à quatre fois plus).

Enfin, on retrouve plusieurs **produits phytosanitaires en très grande quantité au printemps**. L'exemple de **l'atrazine, 266,8 µg/l sur eau filtrée (87 % sous cette forme)** et 690 µg/kg sur sédiments décantés, est le plus spectaculaire. D'autres composés sont retrouvés en quantité non négligeable : **le lindane et la chloridazone, respectivement 1,9 et 6,22 µg/l sur eau brute (85 et 13 % sous forme soluble)**. En été, on retrouve encore ces produits, mais en quantité bien inférieure. Il reste 8,9 µg/l d'atrazine et 0,21 µg/l de lindane sur eau brute en août ce qui est encore loin d'être négligeable.

Le rôle des MES dans le transfert de certains polluants, comme le phosphore ou les produits phytosanitaires, est particulièrement important lors de ces ruissellements. Le **phosphore fixé**, par exemple, **représente 82 à 96 % du phosphore total**. Il en est de même pour certains produits phytosanitaires retrouvés en grande proportion sous forme fixée sur les particules érodées : **la métamitronne (85 %) et la chloridazone (87 %)**. Ces composés sont susceptibles de **décanter et d'être stockés avec les MES** au cours d'une baisse du débit. Ce n'est pas le cas du **lindane et de l'atrazine**. A 85 % et 87 % sous forme soluble ou assimilée soluble (on suppose qu'une partie se trouve fixée sur des argiles), ces deux produits **sont facilement transportés jusqu'aux cours d'eau**. D'une façon générale, **on retrouve prioritairement les produits associés à la culture du maïs, puis à celle des betteraves sucrières**. Les composés phytosanitaires utilisés sur les céréales sont plus rarement retrouvés et toujours en quantité bien moindre.

Les déplacements sont vraisemblablement considérables sur versants, en relation avec les fortes intensités, car le dimensionnement des rigoles et des ravines de talweg ne justifie pas les quantités de terre exportée. En particulier lors du violent orage d'août 1995, les flux de MES ont été énormes. Cet **orage exceptionnel**, consécutif à une pluie de 102,5 mm et des intensités de 210 mm en 1 mn (86,5 mm en 1 h), **a entraîné une perte de 360 t de MES (20 t/ha), 8 t de MO (0,5 t/ha) et 60 kgP de phosphore (3,3 kgP/ha)**.

Selon les années considérées entre 1993 et 1995, **le bilan annuel de l'érosion d'Erlon varie de 60 kg/ha/an à 20 t/ha/an**. Cette énorme différence s'explique très simplement par l'existence du très violent orage estival (86,5 mm/h pendant 1h et 150 mm/h pendant 10 mn). En effet, ce dernier entraîne, à lui seul, des pertes en terre **qui avoisinent le seuil de tolérance américain de 4 à 11 t/ha/an de terre érodée**. Les pertes observées au cours de l'orage approchent des 20 t/ha, alors qu'elles ne dépassent pas quelques centaines de kilogrammes par hectares les années sans orages. De plus, on a évalué à **1,2 mm l'épaisseur de couche arable enlevée** et correspondant à ces 20 t/ha. En comparaison, l'érosion hivernale ou consécutive à de petites averses orageuses est plus que modeste. Ce constat s'applique aux deux sites, on note toutefois que **l'érosion annuelle (pour des années sans gros orages) est toujours supérieure à Erlon**. Ce qui s'explique par la **plus grande fréquence des ruissellements**, en relation avec les caractéristiques morphopédologiques du site et par une relation débit/concentration en MES toujours supérieure à Erlon.

Ainsi à Erlon comme à Vierzy, les risques d'érosion sont associés aux gros orages. **Ce risque est accru à Erlon, où les pentes sont fortes, les sols peu épais et le travail du sol facteur aggravant**. L'amincissement de la couche arable sur les versants peut entraîner l'apparition de plus en plus importante de la craie, et donc **à terme une baisse des rendements et des difficultés à travailler le sol**.

Les MES exportées sont en grande partie constituées de limons fins (diamètres médians 15 à 20 µm), mais aussi de MO. Comme pour les MES, les pertes en MO restent modestes en hiver, mais deviennent importantes au cours des gros orages. Ainsi, en août 1995 près de 8 tonnes de MO ont été exportées du bassin versant. **Pourtant au cours de ce ruissellement, la fraction de MO présente dans les MES était faible** : entre 1,7 à 3,8 % de la charge solide. **En hiver, la part de MO est plus importante et très variable** (80 à 90 % de la charge en MES). Elle tendrait à diminuer au cours de l'avancement de la saison. **Toutefois, en hiver, les pertes totales restent très faibles, en relation avec les petites charge en MES** (20 à 40 kg par ruissellement). Au total, sur trois ans, les pertes de MO représentent quelque chose comme 2 à 3 % des MES totales exportées (8 382 kg de MO pour 368 957 kg de MES). Pourtant, si on considère les faibles teneurs actuelles dans les sols (15-18 %), il serait souhaitable d'adopter des pratiques de redressement des taux.

*** Rôle des systèmes de culture sur les transferts de polluants**

Les mesures ont montré que les quantités d'azote et de phosphore exportées dans les eaux de surface sont très faibles en proportion des apports agricoles. Les plus importantes sorties du bassin se sont produites en août. A cette date, on a totalisé des exportations de seulement **488,9 gN/ha de nitrates, 50 gN/ha d'ammonium et 66,7 gP/ha d'orthophosphates**. Ce qui représente moins de 0,43 % des apports en azote et moins de 3,28 % de ceux en phosphore de l'année. Les exportations en nitrates par percolation apparaissent bien supérieures (de l'ordre de 9 à 38 kg/ha).

Si les flux sont modestes, les concentrations dans les eaux de ruissellement peuvent être très élevées en relation avec les dates des apports agricoles et la persistance des produits. Ceci est particulièrement vrai pour les produits phytosanitaires. On citera le cas spectaculaire de **l'atrazine** retrouvée à **très forte concentration** au printemps après une application seulement **14 jours avant le ruissellement** (400 g/ha). **Très persistante**, on la retrouve aussi en août (date d'application en mai), mais en concentration bien inférieure. Le **lindane se comporte de façon semblable : on le retrouve en mai**, 65 jours après son application (300 g/ha en avril) et en août, 5 mois après les derniers épandages. En août, les concentrations sont réduites, mais non négligeables : ces composés sont particulièrement rémanents. **La dose appliquée et la solubilité du produit épandu n'impliquent pas l'entraînement massif du produit à forte concentration dans les eaux de ruissellement**. La métamitron et la chloridazone appliquées en association peu de temps avant le ruissellement (17 mai), mais à des doses différentes - respectivement 1 050 g/ha et 195 g/ha - sont toutes deux présentes dans les eaux de surface.

Globalement, les **risques de pollution des eaux de surface, par les apports agricoles**, sont davantage **liés aux concentrations** (qui sont presque toujours très supérieures à celles du cours d'eau récepteur) qu'aux **flux qui restent très faibles par rapport aux apports**.

Pour les produits phytosanitaires, les informations sont insuffisantes. Cependant, le maïs apparaît comme une culture à très haut risque en ce qui concerne les concentrations en produits phytosanitaires. La culture de la betterave présente les mêmes problèmes, mais de façon moins marquée. A court terme, une meilleure gestion des applications des produits associés à ces cultures s'impose. Progressivement le lindane et l'atrazine devraient être remplacés par des produits moins nocifs, même s'ils sont plus coûteux et un peu moins efficaces. En ce qui concerne la culture de la betterave, il serait souhaitable que certains produits soient appliqués en quantités réduites et combinés à la pratique du sarclage qui a aussi un effet sur le ruissellement en brisant la croûte de battance.

*** Utilisation des résultats pour une étude à différentes échelles**

Les facteurs distinctifs des BVEC - la forme, la superficie, les textures de surface, les pentes et les activités agricoles - contribuent tous à la formation du ruissellement et à l'érosion. Mais d'une part, leur "efficacité" respective est inégale ; d'autre part ces paramètres, différents pour chacun des deux sites considérés, agissent différemment. Les résultats présentés ci-dessus permettent de montrer, par exemple, l'importance du rôle des superficies en région de plateau et des pentes en région de colline, ou encore le rôle des textures de surface.

Ce travail comparatif a permis de mettre en évidence **les différences de fonctionnement de deux espaces distincts**. Ainsi, **les risques d'érosion et de dégradation des eaux de surface apparaissent davantage prononcés sur le petit BVEC**, pour plusieurs raisons. Tout d'abord **la fréquence des ruissellements** y est plus élevée. **Les distances à parcourir par les écoulements** et les polluants sont réduites à quelques centaines de mètres. De plus **le sens du travail du sol**, parallèle à la plus forte pente, accélère le rassemblement des ruissellements. Enfin, ce site est souvent occupé par **des cultures que l'on peut qualifier "à risque"** (maïs, betteraves) ; le nombre de parcelle étant réduit, il ne permet pas d'avoir **une hétérogénéité des surfaces suffisante**.

Cette étude a aussi permis de montrer qu'il existe **un seuil de débit commun** sur les deux BVEC, malgré leurs différences morphopédologiques et culturelles, pour la prise en charge des MES (0,1 % de MES en dessous de 1 000 l/mn en l'absence de pics d'intensité). Les ruissellements les plus fréquents présentent un débit du même ordre de grandeur (entre 1 et 100 l/mn). Lors des gros orages estivaux et des fortes pluies hivernales, **les ordres de grandeur des débits maxima sont proches** : 6 000 à 8 000 l/mn en hiver et 30 000 à 35 000 l/mn en été.

Les résultats ont donc permis d'établir **une première classification des paramètres favorisant la formation du ruissellement, l'érosion et les transferts des polluants** et ainsi d'**insérer les deux BVEC dans un schéma**. Par ailleurs, il nous est apparu qu'**une classification des sites en fonction de la sensibilité à l'érosion**, était utile pour l'évaluation des risques de dégradations des sols, mais qu'elle **n'était pas suffisante pour refléter les risques de pollution des eaux et ceux de dégradation liés aux coulées boueuses**. C'est pourquoi **la notion de vulnérabilité des milieux récepteurs, communes et cours d'eau**, qui peuvent aussi être classés en fonction de leur sensibilité, a été introduite. **Les démarches présentées** sont très simplifiées, mais elles **demandent à être affinées** dans le cadre d'expérimentations sur d'autres BVEC et du prolongement des mesures sur les deux sites actuels.

* Rôles des agriculteurs dans la gestion des risques

L'agriculteur a un rôle primordial dans la gestion des risques d'érosion et de pollution des eaux de surface. Depuis toujours, il possède une perception accrue de son environnement : "travailler en bon père de famille, préserver la fertilité du sol et pouvoir le transmettre avec l'intégralité de son potentiel" telle est la notion intégrée autrefois dans les systèmes de production. Si au cours des dernières décennies, les impératifs économiques ont incité à changer les modes de production et les mentalités, un souci de respect de la terre reprend aujourd'hui le dessus. On assiste à une prise de conscience de l'existence d'un capital à préserver, bien souvent même "à restaurer" quand il a été dégradé par l'érosion. Mais cette volonté n'est pas généralisée.

Comment peut-on envisager une modification des pratiques agricoles qui soit adoptée par tous ? Pour les agronomes "fertilisation raisonnée" rime avec "culture durable", mais sur l'exploitation la priorité reste aux exigences des cultures. Des **incitations** à de meilleures pratiques se multiplient pour garder au sol sa fertilité et ses aptitudes à produire tout en restant compatible avec la réalité économique de l'exploitation. Dans le cadre des mesures agri-environnementales de la PAC (anciennement article 19), des **compensations financières** sont accordées à titre expérimental aux exploitations adoptant la réduction des intrants. C'est le cas entre autres dans les collines et les vallées du Laonnois où plusieurs exploitations se sont depuis 1995 portées volontaires ; mais à quand pour toutes les surfaces cultivées ? Toujours dans un objectif de préservation de la qualité des eaux, la "directive nitrates" et le "code des bonnes pratiques agricoles" apportent un complément en matière de **réglementation** de certaines pratiques (comme les épandages) et d'**information**.

La **persuasion** est le dernier outil, en ce qui concerne la simplification du travail du sol, l'adoption des cultures intermédiaires, la réduction des traitements, en mettant en valeur les aspects économiques (marges brutes) et écologiques. Des pratiques plus protectrices, et souvent simples à mettre en oeuvre, pourraient être adoptées. La jachère fournit un exemple parmi d'autres, elle demeure un excellent moyen de lutte contre l'érosion, si l'agriculteur en choisit bien l'emplacement et la nature du couvert. Et pourtant le souhait des exploitants est de voir la jachère disparaître. Et ceci n'est pas sans raison. La jachère en neutralisant une ou deux parcelles de l'exploitation, entraîne des rotations sur un plus petit espace. Les cultures les plus rentables, comme la betterave, culture exigeante, reviennent fréquemment dans l'assolement d'une même parcelle. Il s'en suit un fort appauvrissement des sols en éléments disponibles, une résistance de certaines mauvaises herbes qui s'habituent aux produits phytosanitaires et, en conséquence, une augmentation de la fréquence des traitements... En résumé, un changement total des pratiques agricoles n'est pas envisageable à court terme, essentiellement en raison d'un attachement aux pratiques traditionnelles et de contraintes économiques. Si la lutte contre l'érosion constitue aujourd'hui "une nécessité d'intérêt général", bien souvent les exploitants agricoles ne sont pas prêts à accepter des changements radicaux de pratique : le "fruit n'est pas mûr". Puisse cette recherche sur le terrain apporter à l'agriculteur, l'homme le plus proche de sa terre, quelques éléments nouveaux de connaissance, de réflexion et de décision.

BIBLIOGRAPHIE

* * *

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

* * *

OUVRAGES GENERAUX et SPECIALISES

* * *

ADJIZIAN J., AMBROISE B. (1995) Topographie et précipitations, *Annales de Géographie*, n°581-582, p. 169.

AMBROISE B., AUZET A. V., HUMBERT J., MERCIER J. L., NAJJAR G., VIVILLE P., VIVILLE D. (1995) Le cycle de l'eau en moyenne montagne tempérée : apport des bassins versants de recherche vosgiens, *Annales de Géographie*, n° 581-582, pp. 64-87.

Analyses d'eau annuelles de la DDASS à la station de pompage d'Erlon, *DDASS*.

Analyses d'eau annuelles de la DDASS à la station de pompage de Louâtre, *DDASS*.

Analyses d'eau DRAF Picardie SREMA, Réseau Oise-Aisne 1986, 1987, 1988, 1989, 1991, 1992, *DRAF*.

ANONYME (1994) Guide d'utilisation des produits et des déchets organiques en agriculture - La situation en Picardie, *Chambre d'Agriculture Picardie*, 32 p. + 32 fiches produits.

ANONYME (1994) La protection des agriculteurs contre les aléas climatiques, *Horizon 2001*, 3 juin 1994, p. 30.

ANONYME (1994) Produits phytosanitaires - stockage adapté, sécurité assurée, *Horizon 2001*, 25 mars 1994, p. B-C.

ANONYME (1994) Protection des captages d'eau - impact sur l'activité agricole, *Horizon 2001*, 4 novembre 1995, pp. IX-X.

ANONYME (1994) Semer sans labour une opportunité pour 1994, *Horizon 2001*, 9 septembre 1994, pp. IV-V.

ANONYME (1995) Des analyses de reliquat azotés à la sortie de l'hiver pour ajuster la fertilisation azotée, *Horizon 2001*, 13 janvier 1995, p. 25.

ANONYME (1995) Le PREMIUM n'est plus conseillé sur pois de conserve, *Horizon 2001*, 13 janvier 1995, p. 25.

ANONYME (1956) Projet d'alimentation en eau potable - Mémoire explicatif, *Syndicat des eaux de la région d'Erlon-Marcy-sous-Marle*, 5 p.

ANONYME (1986) Pollution des eaux par les engrais et les pesticides, *OCDE*, 159 p.

ANONYME (1988) Le remembrement et l'aménagement foncier dans l'Aisne, *DDAF*, 43 p.

ANONYME (1990) Etude du schéma d'aménagement hydraulique de la Serre et de ses affluents entre Marle et la confluence Serre-Oise, *Hydratec*, 80 p + annexes et 50 p + annexes.

ANONYME (1990) Remembrement et lutte contre l'érosion dans le département de l'Oise, *Adeprina*, 47 p.

ANONYME (1992) A.QUA.E - Programme d'amélioration de la qualité des eaux, Rapport d'activité de la deuxième campagne 1990-1991, *Chambre d'Agriculture de l'Aisne*, 42 p.

ANONYME (1993) La Picardie, Verdeur dans l'âme, *Autrement*, Série France, 155 p.

- ANONYME (1993) Schéma des vocations piscicoles et halieutiques du département de l'Aisne, *DDAF de l'Aisne*, 320 p. + annexes.
- ANONYME (1994) L'environnement en France, *Dunod*, 399 p.
- ANONYME (1994) SIG et qualité de la gestion des espaces agricoles et naturels - Exemples de diagnostics locaux réalisés par les services de l'agriculture, *DERF*, 20 p.
- ANONYME (1995) Jubil sur blé, *Horizon 2001*, 21 avril 1995, p. 29.
- ARNOULD P. VEYRET Y., WICHEREK S. (1992) Guerre de 1914-1918 et remembrement : incidences sur l'érosion des terres, exemple du Chemin des Dames, commune de Jumigny, *BAGF*, n°2, pp. 91-99.
- AUZET A. V. (1987a) L'érosion des sols cultivés en France sous l'action du ruissellement, *Annales de Géographie*, n° 537, pp. 529-556
- AUZET A. V. (1987b) L'érosion des sols par l'eau dans les régions de grande culture : aspects agronomiques, *Ministère de l'Environnement et Ministère de l'agriculture, CERG-URA 95 CNRS*, 60 p.
- AUZET A. V., BOIFFIN J., PAPY F., MAUCORPS J., OUVRY J. F. (1990) An approach to the assessment of erosion forms and erosion risk on agricultural land in the northern Paris Basin, France, In Soil erosion on agricultural land, *Ed John Wiley and Sons*, pp. 384-400.
- AUZET A., V. BOIFFIN J., LUDWIG B. (1995) Erosion hydrique dans les bassins versants agricoles des régions limoneuses du nord-ouest de la France, *Annales de Géographie*, pp. 187-191.
- AUZET A., V. BOIFFIN J., PAPY F., LUDWIG B. MAUCORPS J. (1993) Rill erosion as a function of the characteristics of cultivated catchments in the north of France, *Catena*, vol. 20, pp. 41-62.
- BAILLY P. (1989) Toponymie en Seine-et-Marne - Nom de Lieux, *Ed Amatteis*, 351 p.
- BAURENS J. (1993) Le devenir des pesticides dans les sols, In Actes du Colloque "Le sol... cet inconnu mal traité ?", octobre 1993, Toulouse, *UNIMATE*, 185 p.
- BAZERQUE F. (1988 à 1991) Réseau Aisne-Oise, *DRAEF de Picardie - SRAE*, 50 à 100 p.
- BAZERQUE F. (1990) La Serre et ses affluents - Qualité actuelle des milieux aquatiques - Valorisation des potentialités, *DRAEF Picardie - SREMA*, 140 p.
- BAZERQUE F. (1991) L'Ourcq et ses affluents - Qualité actuelle des milieux aquatiques - Valorisation des potentialités, *DRAEF de Picardie - SREMA*, 83 p.
- BEAUDET G., MARTIN J., MAURER G. (1964) Remarques sur quelques facteurs de l'érosion des sols, *Rev. Géogr. Maroc*, n°6, pp. 65-72.
- BELAMIE R., GIROUD S. (1986) Aperçu des pollutions liées à l'utilisation des pesticides par l'agriculture en France, *CEMAGREF, LYON*, 43 p.
- BERNARD C. (1988) Erosion hydrique et pollution diffuse, *Agrosol*, octobre 1988, pp. 21-29.
- BERNARD C. (1989) Le Césium 137, un outil de recherche en érosion des sols, *Agrosol*, octobre 1989, pp. 47-52.
- BERNARD C., LAVERDIERE M. R. (1994a) Estimation et mesure de l'érosion hydrique des sols, *Agrosol*, juillet 1994, pp. 3-9.
- BERNARD C., LAVERDIERE M. R. (1994b) Techniques récentes pour la mesure de l'érosion à long terme - l'utilisation des radioisotopes, *Agrosol*, juillet 1994, pp. 73-74.
- BERNARD C., LAVERDIERE M. R., PESANT A. R. (1992) Variabilité de la relation entre les pertes de césium et de sol par érosion hydrique, *Geoderma*, n° 52, pp. 265-277.
- BLANPAIN J., TOURNIER A. (1994) Les systèmes de conduite du blé, penser d'abord à la marge, *Horizon 2001*, n° 15, novembre 1994, pp. 1-3.

- BLANPAIN J., TOURNIER A. (1994) Les systèmes de conduite du blé, penser d'abord à la marge, *Horizon 2001*, n° 15 , novembre 1994, pp. 1-3.
- BOARDMAN J. (1983) Soil erosion at Albourne, West Sussex, England, *Applied Geography*, n°3, pp. 317-329.
- BOIFFIN J. (1984) La dégradation structurale des couches superficielles sous l'action des pluies, *Thèse - Paris INA Paris Grignon*, 320 p.
- BOIFFIN J. (1988) L'érosion gagne du terrain, *INRA Sols*, pp. 70-72.
- BOIFFIN J. (1989) La dégradation structurale des couches superficielles sous l'action des pluies, In *Fertilité et systèmes de production*, Ed M. Sebillote, *INRA Paris*, pp. 137-155.
- BOIFFIN J., PAPY F., EIMBERCK, M. (1988) Influence des systèmes de culture sur les risques d'érosion par ruissellement concentré - Analyse des conditions de déclenchement de l'érosion , *Agronomie*, n° 8, vol. 8, pp. 663-673.
- BOIFFIN J., PAPY F., PEYRE Y. (1986) Système de production, système de culture et risque d'érosion dans le pays de Caux, *Ministère de l'agriculture - INA Paris Grignon*, 154 p.
- BOLLINNE A. (1982) Etude et prévision de l'érosion des sols limoneux cultivés en Moyenne Belgique, *Thèse - Université de Liège*, 356 p.
- BOLLINNE A., HANOTIAUX G., PISSART A. (1978) L'érosion en milieu agricole, *Pédologie*, XXVIII, pp. 233-245.
- BOLLINNE A., LAURANT A. (1983) La prévision de l'érosion en France atlantique : le cas de la zone limoneuse de Belgique, *Pédologie*, n° XXXIII, vol. 2, pp. 117-136.
- BONNAMOUR J., GILLETTE C. (1979) Les types d'agriculture en France - Essai méthodologique, *Edition du CNRS*, 35 p.
- BORK H. R. (1989) Soil erosion during the past millennium in Central Europe and its significance within the geomorphodynamics of the Holocene, *Catena*, Suppl. 15, pp. 121-131
- BOUGERE E. (1993) Comparaison de méthodes d'estimation de débit de crue sur bassins versants non-jaugés : application au bassin versant du Turbesent (Pas-de-Calais), *DEA - Lille I*, 42 p.
- BOUKCHINA R. (1992) Mesure de débit et de la qualité de l'eau d'un petit bassin versant agricole, *16ème Colloque du génie rural - Université Laval - Québec*, octobre 1992, pp. 30-54.
- BOURGUIGNON B. (1995) Le désherbage du pois de conserve, une opération délicate, *Horizon 2001*, mars 1995, pp. 4-6.
- BRUNEL J. M. (1994a) Essais système de conduites de cultures, quand l'itinéraire ne fait pas la marge, *Horizon 2001*, n°5, novembre 1994, pp. 45-46.
- BRUNEL J. M. (1994b) Désherbage pois, la technique en post-levée économiquement plus intéressante, *Horizon 2001*, n°5, novembre 1994, pp. 47-48.
- BRUNEL J. M. (1995a) Pois protéagineux - semer tôt pour un bon potentiel de culture, *Horizon 2001*, 10 février 1995, p. 27.
- BRUNEL J. M. (1995b) Pois protéagineux - Le désherbage de post-levée : du "tir à vue", *Horizon 2001*, mars 1995, p. 14.
- BRUNEL J. M. (1995c) Fongicides pois - la protection préventive est rentable, *Horizon 2001*, 05 mai 1995, p. 25.
- BRUNET P. (1960) Structure agraire et économie rurale des plateaux tertiaires entre la Seine et l'Oise, *Thèse d'Etat - Université de Caen*, 552 p.
- BRUNET P. (1984) Carte des mutations de l'espace rural français 1950-1980 (Des espaces ruraux en profonde transformation), sous la direction de P. Brunet, *Centre de recherche sur la vie rurale - Université de Caen*, 131 p. + 1 carte
- BRYAN R. B. (1968) The development, use and efficiency of indices of soil erodibility, *Geoderma*, pp. 5-26

- BRYAN R. B. (1974) Water erosion by splash and wash and the erodibility of Albertan soils, *Geogr. Ann.*, 58 A, n°3-4, pp. 159-181.
- BULOT S. (1993) Marché des herbicides céréales : retour à la raison, *Semences et progrès*, n° 76, jt-at-sp 1993, pp. 144-145.
- C. V. (1987) Nos terre en péril sous l'oeil de SPOT, *Le Figaro*, mercredi 25 novembre 1987
- CAOUS J. Y., RICHARD M. (1973) Données géologiques et hydrogéologiques sur le territoire de la feuille à 1/50 000 VERVINS (n°66), 35 p.
- CAOUS J.Y., CAUDRON M., MERCIER E. (1963) Notice de l'Atlas hydrogéologique de l'Aisne, 60 p.
- CAOUS J.Y., COMON D., SEGUIN J. J., JAUFFRET D. (1984) Evolution des teneurs en nitrates de la nappe de la craie - Essai de prévision - *Région Picardie*, novembre, 40 p.
- CAPPUS P. (1960) Bassin expérimental d'Alrance (Aveyron)- Etude des lois d'écoulement, Application au calcul et à la prévision des débits, *La Houille Blanche*, n° 4, pp. 493-520.
- CARLOTTI B. (1994) Le sol, un vaste bassin d'épuration - le recyclage des déchets organiques comme fertilisants, *Horizon 2001*, 3 juin 94, pp. B-C.
- CARLOTTI B. (1995) Broyage des pailles - indispensables à leur décomposition, *Horizon 2001*, 16 juin 1995, p. 27.
- CARLOTTI B., DAMAY P. (1994) Fertilisation phospho-potassique - les cultures et leurs exigences, *Horizon 2001*, 17 juin 1994, p. H4.
- CHISCI G., MORGAN R.P.C. Eds (1986) Soil erosion in the European Community - Impact of changing agriculture, *Bakema - Rotterdam*, 233 p.)
- Collectif (1991) Dynamique des systèmes agraires - A travers champs, agronomes et géographes, *Editions ORSTOM*, 297 p.
- Collectif (1991) Dynamique des systèmes agraires - A travers champs, agronomes et géographes, *Editions ORSTOM*, 297 p.
- Collectif (1994) L'eau et l'utilisation des sols, Journées d'étude, mars 1994, Dijon, *AIDEC*, cahier n°32, août 1994, 255 p.
- Collectif (1994) Simplification du travail du sol, *INRA Editions*, 172 p.
- Collectif (1995) Dossier spécial fumure de fond, *Horizon 2001*, n°2, mai 1995, pp. 11-35
- Collectif (1993-94) Deux siècles d'agriculture dans l'Oise, Etudes picardes modernes, *Annales historiques compiègnoises*, 66 p.
- COSANDEY C. (1990) L'origine des crues dans les bassins-versants élémentaires : du ruissellement sur les versants à l'écoulement de crue, *Annales de géographie*, 556, pp. 641-659.
- COSANDEY C. (1993) La crue du 22 septembre 1992 sur le mont Lozère, *Revue de Géomorphologie Dynamique*, n°2, pp. 49-56.
- CREPIN F. (1995) Jachère - Un entretien chimique pour protéger le petit gibier, *Horizon 2001*, mai 1995, pp. 36-37.
- DA LAGE A. (1995) Regards sur la forêt dans le Vexin français et le Pays de Thelle : espaces, milieux et empreintes de l'action humaine, *Thèse, Nanterre*, 1 204 p. (2 volumes)
- DACHARRY M. (1988) Averse et crue du 1er septembre 1987 en Brie (Bassin du Petit Morin), *Hydrologie continentale - ORSTOM*, pp. 3-18.
- DACHARRY M., VEYRET Y., WICHEREK S. (1993) Réflexion sur l'écoulement des eaux pour une évaluation des risques d'érosion, In Farm Land Erosion in temperate plains environment and hills, *Ed S. Wicherek - Elsevier Amsterdam*, pp. 155-164.

- DAMAY J., SOLAU J. L. (1992) L'érosion des sols cultivées en Picardie - Erlon (02) : Mise en place d'aménagements anti-érosifs, *Chambre d'Agriculture de l'Aisne*, 20 p.
- DAMAY J. (1993) Des solutions contre l'érosion, *Horizon 2000*, juillet 1993, pp. 34-35.
- DAMAY J., QUIZY, J.P. (1993) Agriculture et qualité des eaux, *Horizon 2000*, juillet 1993, pp. 5-7.
- DAMAY P. (1994a) Azote - des reliquats faibles à la sortie de l'hiver, *Horizon 2001*, 11 février 1994, p. III.
- DAMAY P. (1994b) Azote sur blé du "sur mesure" avec JUBIL, *Horizon 2001*, n°5, novembre 1994, pp. 28-32.
- DAMAY P. (1994c) Fonds de roulement, *Horizon 2001*, 17 juin 1994, p. H1.
- DAMAY P. (1994d) Les phytos : décider à la parcelle, *Horizon 2001*, 28 janvier 1994, p. A.
- DAMAY P. (1995a) Niveau des reliquats d'azote en fin d'hiver - Une situation très contrastée, *Horizon 2001*, 10 février 1995, p. 30.
- DAMAY P. (1995b) Le lessivage d'azote en petite terres, *Horizon 2001*, mars 1995, p. 41.
- DAMAY P. (1995c) Jubil, l'opportunité du 3ème apport d'azote, *Horizon 2001*, 5 mai 1995, p. 26
- DAMAY P. (1995d) Le profil cultural, un outil d'aide à la décision, *Horizon 2001*, 16 juin 1995, p. 26.
- DAMAY P. (1994) Azote sur blé du "sur mesure" avec Jubil, *Horizon 2001*, n°5, novembre 1994, pp. 28-32.
- DAMAY P. (1995) Jubil, l'opportunité du troisième apport d'azote, *Horizon 2001*, 5 mai 1995, p. 26
- DAMAY P. (1996) Edito, *Horizon 2001*, n°2, juin 1996, p.1.
- DAMAY P., QUIZY J. P. (1995) Des agriculteurs ont testé Jubil, ils témoignent, *Horizon 2001*, 24 février 1995, p. 41.
- DAMAY P., QUIZY J.P. (1995) Des agriculteurs ont testé Jubil, ils témoignent, *Horizon 2001*, 24 février 1995, p. 41.
- DE CONINK F., BOCK C., GREGOIRE F., MAUCORPS J., WICHEREK S. (1991) Les transferts latéraux de solution du sol dans un système lande sur podzol - tourbière acide, *Bull. Ecologie*, 22, 3-4, pp. 27-46.
- DE PLOEY J. (1986) Soil erosion and possible conservation measures in loess loamy areas, In *Soil erosion in European Community, Impact of changing agriculture, Ed Chisci and Morgan - Rotterdam*, pp. 157-164.
- DE PLOEY J. (1988) No tillage, experiments in the Central Belgium Loess Belt, *Catena Soil technology*, 1, pp. 181-184.
- DE PLOEY J. (1991) Bassins versants ravinés : analyses et prévisions selon le modèle Es, *Bull. de la Soc. Géog. de Liège*, 27, pp. 69-76.
- DE PLOEY J., SAVAT J., MOEYERSONS J. (1976) The differential impact of some soil loss factors on flow, runoff creep and rainwash, *Earth Surf. Proc.*, pp. 151-161.
- DEHAINE C. (1994a) Boues de station d'épuration - un creneau à exploiter avec précaution, *Horizon 2001*, 21 octobre 1994, pp. XII-XIV.
- DEHAINE C. (1994b) Compost urbain un intérêt pour l'agriculture intensive, *Horizon 2001*, 2 décembre 1994, p. 25.
- DELAHAYE D. (1992) Premiers aperçus sur le développement de l'érosion des sols dans le bocage du Calvados, In *Influences des modifications des structures agraire sur l'érosion des sols*, juin 1991, ENS Saint-Cloud, *BAGF*, n° 2, pp. 135-146.
- DELAUNOIS A., SOLAU J. L. (1984) Les petites régions naturelles vues d'après la carte des sols de l'Aisne, *Chambre d'Agriculture de l'Aisne*, mars 1984, 24 p.
- DELOUVEE R. (1990) Activités agricoles et qualités des eaux souterraines, *Aménagements et nature*, n°72, pp. 15-18.

Bibliographie

- DEMANGEON A. (1905) La Picardie et les régions voisines Artois - Cambrésis - Beauvaisis, *Paris Armand Colin, Université de Lille*, 496 p.
- DEPIL J. P. (1994) La gestion des effluents d'élevage par épandage raisonné, *Horizon 2001*, 06 mai 1994, p. 9.
- DORIOZ J. M. (1992) La pollution diffuse, *Lémaniques*, n°6, juin 1992, pp. 5-8.
- DORIOZ J. M. (1996) Transfert de P dans les bassins versants, Forum "Sécheresse, pollution, inondation, érosion", Poitiers 1996, *INRA Ed*, à paraître.
- DORIOZ J. M., FERHI A. (1992) Pollution diffuse et gestion du milieu agricole : transfert comparé de phosphore et d'azote dans un petit bassin versant agricole, *Water Resources*, Vol. 28, n°2, pp. 395-410.
- DUPUIS F. (1995) Mildiou sur les pommes de terre - plutôt prévenir que guérir, *Horizon 2001*, 19 mai 1995, p. 27.
- ELLISON W. D. (1945) Some effects of raindrops and surface-flow on soil erosion and infiltration, *Trans. Am. Geophys. Union* 26, pp. 415-429.
- ESTIENNE J., BROHARD Y., LEBLOND J. F., LORiot F., GEGOU F., GUIGNET J., REGRAIN R., OUDART P. (1980) Picardie, Cadre naturel, histoire, art, littérature, langue, économie, traditions populaires, *Ed Christine Bonneton*, 368 p.
- FAUK R. (1994) Gestion de la ressource en eau - le problème de l'érosion des terres, *C. R. Acad. Agric. Fr.*, 80, n°5, pp. 3-14.
- FERRON P. (1992) Évolution des alternatives à l'emploi de pesticides, *C. R. Acad. Agric.*, 78, n°8, pp. 25-32.
- FIETTE A. (1960) Le département de l'Aisne - Etude géographique et économique, *Bordas*, 305 p.
- FIETTE A. (1984) Carte des mutations de l'espace rural français 1950-1980 (Les mutations de l'espace rural picard 1950-1980), sous la direction de P. Brunet, *Centre de recherche sur la vie rurale de l'Université de Caen*, 131 p. + 1 carte
- FIETTE A. (1995) L'Aisne des terroirs aux territoires, *Comité d'expansion de l'Aisne, Compagnie Européenne de reportage et d'édition*, 286 p.
- FIGAROL M., CHAMIGNON P. (1992) Produire mieux - cultures d'hiver - Fongicides traiter au plus juste, *La France Agricole*, 13 mars 1992, pp. 26-28.
- FIGAROL M., CHAMIGNON P. (1992) Produire mieux - cultures d'hiver - Fongicides traiter au plus juste, *La France Agricole*, 13 mars 1992, pp. 26-28.
- FONTAINE R. (1995) Jachère - l'entretien chimique est moins couteux et respecte le gibier, *Horizon 2001*, 7 avril 1995, p. 37.
- FONTAINE R., TOURNIER A., LESENNE C. (1995) Jachère - un couvert pour préserver la fertilité du sol, *Horizon 2001*, 24 mars 1995, p. 27.
- FOSSIER R. (1983) Villages et paysans, la société picarde au Moyen Age, *Centre Régional de Documentation Pédagogique d'Amiens*, 87 p.
- FOSTER G. R. (1985) Understanding ephemeral gully erosion (concentrated flow erosion) *PURDUE Univ. West Lafayette*, 29 p. + annexes
- FOSTER G. R., YOUNG R. A., NIEBLING W. H. (1985) Sediment composition for nonpoint source pollution analyses, *Trans. of the Am. Soc. of Agric. Engr.*, n° 20, pp. 683-687.
- FOURNIER F. (1960) Climat et érosion : la relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques, *PUF*, Paris, 201 p.
- François M., DUGANGE M. (1995) Le contrôle des pulvérisateurs - une priorité pour une bonne efficacité, *Horizon 2001*, mars 1995, pp. 24-29.
- FUSTEC E. (1992), Transfert des contaminants chimiques : rôle des sols et des formations végétales des fonds de vallées, *C. R. Acad. Agric. Fr.*, 78, n°6, pp. 107-116

- GAUCHER G. (1968) Le sol et ses caractéristiques agronomiques, *Dunod*, 578 p. (t I).
- GEORGE P., RANDET P., BASTIE J. (1964) La région parisienne, *PUF*, 192 p.
- GIRARD G. (1994) Observatoire AGRO2000 - résultats techniques et économiques en pois protéagineux, *Horizon 2001*, 6 mai 1994, p. B.
- GOVERS G. (1985) Selectivity and transport capacity of thin flows in relation to rill erosion, *Catena*, 12, pp. 35-49.
- GOVERS G. (1987) Spatial and temporal variability in rill development processes at the Huldenberg experimental site, *Catena*, Supp. 8, pp. 17-34.
- GOVERS G., RAUWS G. (1988) Hydrolic and soil mechanical aspects of rill generation on agricultural soils, *Journal of Soil Science*, 39, pp. 111-124.
- GRIL J. J., DUVOUX B. (1991) Maîtrise du ruissellement et de l'érosion, *CEMAGREF Antony*, 157 p.
- Guide de l'agriculteur de l'Aisne*, supplément de "l'Agriculteur de l'Aisne", janvier 1993, 56 p.
- GUILBERT M. (1994a) "Jachéiculture" : vers un nouveau système de production ?, *Horizon 2001*, 19 août 1994, P. A.
- GUILBERT M. (1994b) Témoignage : "La réduction des charges est possible, elle exige de se tenir bien informé techniquement et d'observer régulièrement ses parcelles", *Horizon 2001*, n°5, novembre 1994, pp. 4-5.
- GUILBERT M. (1994) Témoignage : "La réduction des charges est possible, elle exige de se tenir bien informé techniquement et d'observer régulièrement ses parcelles", *Horizon 2001*, n°5, novembre 1994, pp. 4-5
- GUYOT G. (1969) L'érosion éolienne - Météorologie et agriculture, *Bull. Tech. Inf. Ser. Agr.*, n°237, pp. 117-124.
- HAZELIP F. (1993) intervenante, In Actes du Colloque "Le sol... cet inconnu mal traité ?", octobre 1993, Toulouse, *UNIMATE*, 185 p.
- HENIN (1979) L'érosion liée à l'activité agricole en France, In Colloque sur l'érosion des sols en milieu tempéré non-méditerranéen, Strasbourg-Colmar, septembre 1978, Ed *Vogt H. et Vogt T.*, pp. 9-12.
- HENIN S., GOBILLOT T. (1950) L'érosion en France, *Bulletin technique d'information*, n°50, pp. 431-433
- HIGOUNET C. (1990) Défrichement et villeneuves du Bassin Parisien (XIème-XIVème siècles), *Editions du CNRS*, 384 p.
- HORTON R. E. (1933) The role of infiltration in the hydrological cycle, *Trans. of the Amer. Soc. Of Agric. Engr.*, 14, pp. 446-460.
- HUDSON N. W. (1963) Raindrop size distribution in high intensity storms, *Rhod. J. agric.*, 1, pp. 6-11.
- HUMBERT J. (1995) Cartographie automatique des précipitations mensuelles et annuelles en zone montagneuse, *Annales de Géographie*, n° 581-582, p. 168.
- HUNDRATA M., UNGERMAN J. (1992) L'aggravation de l'érosion des terres arables et les transformations foncières en Tchécoslovaquie, In Influences des modifications des structures agraires sur l'érosion des sols, ENS Saint-Cloud, juin 1992, *BAGF*, 2, pp. 155-167.
- JEUFFRAULT E. (1994) Blé - le piétin mérite un traitement spécifique, *Horizon 2001*, 11 février 1994, p. I.
- JEUFFRAULT E. (1994) Blé - le piétin mérite un traitement spécifique, *Horizon 2001*, 11 février 1994, p. I.
- JOSSELIN J. M. (1995) Lin oléagineux - minimiser les charges opérationnelles, *Horizon 2001*, 24 février 1995, p. 42.
- KAEMMERER M. ENSAT (1993) La vie dans les sols, In Actes du Colloque "Le sol... cet inconnu mal traité ?", 2 octobre 1993, Toulouse, *UNIMATE*, 185 p.
- KAISER B. (1993) Le sol en 2010, 2050 ? In Actes du Colloque "Le sol... cet inconnu mal traité ?", octobre 1993, Toulouse, *UNIMATE*, 185 p.

- KING D., LE BISSONNAIS Y. (1992), Rôle des sols et des pratiques culturales dans l'infiltration et l'écoulement des eaux, *C. R. Acad. Agric. Fr.*, 78, n°6, pp. 91-105.
- KING D., LE BISSONNAIS Y., HARDY R., EIMBERCK M., MAUCORPS J., KING C., (1992) Spatialisation régionale de l'évaluation des risques de ruissellement, *Revue des sciences de l'information géographique et de l'analyse spatiale*, vol. 2, n° 2, p. 229-246
- LE BER F. (1989) Essai d'évaluation de la sensibilité à l'érosion dans le nord du Bassin Parisien - Prise en compte des caractéristiques agraires, *DEA - INA Paris Grignon - Université Paris XI - INRA Laon*, 34 p.
- LE BISSONNAIS Y. (1988) Analyse des mécanismes de désagrégation et de mobilisation des particules sous l'action des pluies, *Thèse-UER Sciences fondamentales et appliquées - Orléans - INRA Ardon*, 192 p.
- LECHEVALIER C. (1992) Evolution des structures agraires et érosion des sols en Pays de Caux, In "Influences des modifications des structures agraires sur l'érosion des sols", ENS Saint-Cloud, juin 1992, *BAGF*, 2, pp. 101-106.
- LEFEVRE D. (1993) Le retour des paysans, *Le Cherche-Midi Editeur*, 334 p.
- LEFEVRE P. (1958) Quelques phénomènes d'érosion en Picardie, *Annales Agronomiques*, 1, pp. 91-129.
- LEPERS B. (1994) Le traitement des semences "REAL", une technique à suivre, *Horizon 2001*, n°5, novembre 1994, pp. 26-27.
- LESENNE C. (1994a) Cultures intermédiaires et jachère - des couverts végétaux à détruire suffisamment tôt, *Horizon 2001*, 30 décembre 1994, p. 21.
- LESENNE C. (1994b) Variété et conduite, clés de la variété brassicole, *Horizon 2001*, n°5, novembre 1994, pp. 6-9.
- LESENNE C. (1995a) Culture intermédiaire et couvert de jachère, *Horizon 2001*, mars 1995, pp. 37- 38.
- LESENNE C. (1995b) Jachère - détruisez tôt les couverts avant céréales, *Horizon 2001*, 30 juin 1995, p. 38.
- LESENNE C. (1995) Jachère - pensez à l'avenir, désherbez, *Horizon 2001*, 5 mai 1995, p. 27.
- LEVECQUE C. (1994) Agriculture moins intensive - une expérimentation sur 15 fermes références, *Horizon 2001*, 4 novembre 1994, pp. I-III.
- LEVIANDIER T. (1995) Modélisation des transferts de MES sur bassins versants ruraux, *Actes du Colloque "Crues, versants et lits fluviaux"*, CNRS, Université Paris I, 22-24 mars 1995, (à paraître)
- LEYNAUD G. (1992) Cohérence générale de la gestion de l'eau à l'échelle du bassin versant, *C. R. Acad. Agric. Fr.*, 1992, 78, n°6, pp. 79-90.
- LEYNAUD G., DUVOUX B., GRIL J.J. (1994) La conservation des sols et de l'eau, *C. R. Acad. Agric. Fr.*, 80, n°5, pp. 25-40.
- LHENAFF R. (1986) Le système morphogénique des milieux tempérés humides, *Hommes et Terres du Nord*, 4, pp. 241-253.
- LHERMINIER I. (1991) Impact de l'activité agricole sur la teneur en nitrates des eaux de sources du SES dans la vallée de l'Eisch, *Diplôme Européen des Sciences de l'Environnement - Koerich*, 77 p. + annexes.
- LILIN C. (1993a) Sol et agriculture, le contexte de 1993 et de la nouvelle PAC, In Actes du Colloque "Le sol... cet inconnu mal traité ?", octobre 1993, Toulouse, *UNIMATE*, 185 p.
- LILIN C. (1993b) L'érosion à travers le temps et l'espace, In Actes du Colloque "Le sol... cet inconnu mal traité ?", octobre 1993, Toulouse, *UNIMATE*, 185 p.
- LILIN C., PAULET B. (1987) L'érosion des sols cultivés en France : développement actuel et actions entreprises, *B.T.I.*, 417, pp. 71-94.
- LUCE M. (1993) Erosion et remembrement - les aménagements les plus efficaces pour lutter contre l'érosion sont à mettre en place lors du remembrement, *Horizon 2000*, juillet 1993, pp. 36-37

- LUCE M. (1993) Le couvert végétal, indispensable en sol sableux pour limiter l'érosion et les fuites de nitrates, *Horizon 2000*, juillet 1993, pp. 8-9
- LUCE M. (1996) Lutte contre l'érosion : une nécessité d'intérêt général, *Horizon 2001*, n°2, juin 1996, pp. 27-28.
- LUDWIG B. (1989) Essai d'évaluation de la sensibilité à l'érosion de sites du nord du Bassin Parisien - prise en compte des caractères morphologiques, *DEA - Strasbourg I*, 70 p. + annexes.
- LUDWIG B. (1992) L'érosion par ruissellement concentré des terres cultivées du nord du Bassin Parisien : analyse de la variabilité des symptômes d'érosion à l'échelle du bassin versant élémentaire, *Thèse - Strasbourg I*, 201 p.
- LUDWIG B., BOIFFIN J., MASCRET A. (1992) Origine spatiale des sédiments et contribution relative aux pertes en terre de différente forme d'érosion au sein d'un bassin versant élémentaire, Communication au Symposium International "Erosion des terres agricoles en milieu tempéré de plaines et de collines", *ENS Saint-Cloud URA 1514 CNRS, Paris*, 25-29 mai 1992.
- LUGUET H. (1963) Vierzy - Essai historique, *Archives départementales*, 301 p.
- MA Z.C., LEVIANDIER Th., FERRY M. (1992) Fitting a conceptual hydrologic model accounting for nitrate loss in an agricultural representative basin, *CEMAGREF - Hydrology and Hydraulics Division - Antony*, pp. 319-327.
- MACHET J. M. (1989) Etude des techniques culturales appliquées sur les parcelles de trois petits bassins versants dans l'Aisne et conséquences sur les pertes en nitrates, *Agence de l'Eau Seine-Normandie - INRA Station d'Agronomie Laon-Péronne*, 127 p. + annexes.
- MACHET J. M., VILLETTE C., QUIZY J. P. (1991) La fertilisation azotée en 1991, *L'agriculteur de l'Aisne*, 15 mars 1991, pp. 20-21.
- MARCOVECCHIO F. ET AL (1994) Valorisation agricole des déchets - législation, *Horizon 2001*, 20 mai 1994, p. D.
- MARY B., VIGOUR N., MACHET J. M. (1992) Effet du changement des pratiques culturales sur le fonctionnement azote d'un bassin d'alimentation, *Compte rendu de contrat SRETIE/Ministère de l'Environnement*, 32 p. + annexes.
- MASSON F. X. (1987) L'érosion des terres agricoles de la région Nord-Pas-de-Calais, *Hommes et Terres du Nord*, 3, pp. 139-145.
- MATHON B., DEGREGZ F. (1993) Pollution des eaux de surface du bassin de la Somme par les produits phytosanitaires, *Horizon 2000*, n°108, décembre 1993, pp. 13-16.
- MAUCORPS J. (1982) A note on farmland erosion in northern France, *In Soil Erosion - Report EUR8427*, pp. 50-52
- MAUCORPS J. (1986) Estimation spatiale des risques de dégradation physique des sols du Nord - Pas-de-Calais, *Hommes et Terres du nord*, n°3, pp. 145-150.
- MAUCORPS J. (1990) Cartographie des risques de dégradation physique des sols du Nord-Pas-de-Calais au 1/250 000, *Soil technology*, 3, pp. 221-224.
- MAUCORPS J. (1991) Cartographie des sols du bassin versant "l'Arbre Robert" au 1/5 000, ERLON (02).
- MAUCORPS J. (1993) Cartographie des sols du bassin versant du "Grand Fossé" au 1/5 000, VIERZY (02).
- MEALS D. W., BUYDD L. F. (1994) Lake Champlain nonpoint source - pollution assement, *Tech. report Lake Champlain manag conference*, 60 p.
- MENU P. (1995a) Le désherbage des betteraves - une technique bien éprouvée, *Horizon 2001*, mars 1995, p. 11.
- MENU P. (1995b) Désherbage betterave - intervenir en fonction de la flore dominante, *Horizon 2001*, 24 mars 1995, p. 25.
- MENU P. (1995c) Fongicides sur betterave - Maintenir un feuillage sein, *Horizon 2001*, 2 juin 1995, p. 28.
- MENU P. (1994) Désherbage des betteraves, enfin du nouveau, *Horizon 2001*, 8 avril 1994, p. A.
- MERCIER P., ROBERT M., PENVEN M. J. MUXART T. (1995) Caractérisation des MES dans un bassin versant rural, *Actes du Colloque "Crues, versants et lits fluviaux"*, CNRS, Université Paris I, 22-24 mars 1995, (à paraître).

- MICHEL F. (1995) En réduisant le volume d'eau, les traitements durent moins longtemps et sont plus efficaces, *Horizon 2001*, mars 1995, pp. 32-33.
- MONNIER G., BOIFFIN J., PAPY F. (1986) Réflexions sur l'érosion hydrique en conditions climatiques et topographiques modérées : cas des systèmes de grande culture de l'Europe de l'Ouest, *Cah. ORSTOM - Pédol.*, vol. XXI, n°2, pp. 123-131.
- MONNIER G., STENGEL P. (1982) La composition granulométrique des sols : un moyen de prévoir leur fertilité physique, *Agronomie*, 122, pp. 503-512.
- MORAND F. (1979) Les parcelles de mesures de processus d'érosion actuels du Mont des Vaux (Cessières- Aisne-France), In Colloque sur l'érosion des sols en milieu tempéré non-méditerranéen, Strasbourg-Colmar, septembre 1978, Ed *Vogt H. et Vogt T.*, pp. 73-80.
- MORAND F., WICHEREK S. (1987) Douze parcelles de mesure d'érosion sur un versant de la France des plaines : l'exemple de Cessières (1977-1983), In *Processus et mesure de l'érosion*, 25^{ème} Congrès International de Géographie (UGI) 1984, Ed *Godard A. et Rapp A. - Editions du CNRS*, Paris, pp. 271-290.
- MORELLE H. (1994) Semences et désherbage : les deux postes à maîtriser, *Horizon 2001*, n°5, novembre 1994, pp. 40-41.
- MORELLE H., HOT J. P. (1994) Pour une conduite "raisonnée" et "économique", *Horizon 2001*, n°5, novembre 1994, pp. 35-39.
- MORGAN R.P.C. (1980) Soil erosion and conservation in Britain, *Progr. in Phys. Geogr.*, pp. 24-48.
- MUNOZ J. F. (1992) Méthodologie d'étude des produits phytosanitaires - Etude d'un bassin versant viticole : l'Ardières (Beaujolais), *Thèse - Lyon I, CEMAGREF*, 175 p.
- MY J., LORELLE V. (1988) Utilisation des produits phytosanitaires en France, *Phytoma Défense des cultures*, n° 399, pp. 8-10.
- NEBOIT René (1983) L'homme et l'érosion, *Faculté des Lettres et de Sciences humaines de l'Université de Clermont-Ferrand II - Nouvelle Série*, fascicule 17, 183 p.
- OUVRY J.F. (1982) Localisation et description des sites d'érosion des sols agricoles du bassin inférieur de l'Yères (Seine Maritime - 76), *INRA*, 70 p. + annexes
- OUVRY J.F. (1986) Opération régionale de lutte contre les inondations et l'érosion des sols - Campagne 1985-1986, *A.R.E.A.S.*, 73 p. + annexes.
- OUVRY J.F. (1989) Effets des techniques culturales sur la susceptibilité des terrains à l'érosion par ruissellement concentré - Expérience du Pays de Caux (France), *Cahier ORSTOM - Série Pédologie*, vol. XXV, n°1-2, pp. 157-169
- OUVRY J.F. (1992) L'évolution de la grande culture et l'érosion des terres en Pays de Caux, In "Influences des modifications des structures agraires sur l'érosion des sols", ENS Saint-Cloud, juin 1992, *B.A.G.F.*, 2, pp. 107-115.
- PAPY F., BOIFFIN J. (1988) Influence des systèmes de culture sur les risques d'érosion par ruissellement concentré - Evaluation des possibilités de maîtrise du phénomène dans les exploitations agricoles, *Agronomie*, 8, pp. 745-756.
- PAPY F., DOUYER C. (1991) Influence des états de surface du territoire agricole sur le déclenchement des inondations catastrophiques, *Agronomie*, 11, pp. 201-215.
- PARDOUX J. P. (1994a) 1er apport d'azote et désherbage - l'intervention précoce est payante, *Horizon 2001*, 11 février 1994.
- PARDOUX J. P. (1994b) Protection fongicide des céréales - observer pour décider, *Horizon 2001*, 8 avril 1994, p. B.
- PARDOUX J. P. (1994c) Conduite du blé - rendement ou marge... il faut choisir, *Horizon 2001*, 22 avril 1994, p. D.
- PARDOUX J. P. (1994d) Fongicides sur blé - 2 ou 3 passages ? une réponse à la parcelle, *Horizon 2001*, 6 mai 1994.
- PARDOUX J. P. (1994e) 1994, année à septoriose, *Horizon 2001*, n°5, novembre 1994, pp. 20-23.

- PARDOUX J. P. (1994f) La variété, un élément décisif de la qualité, *Horizon 2001*, n°5, novembre 1994, pp. 10-13.
- PARDOUX J. P. (1994g) Le choix variétal : des conséquences importantes sur la conduite, *Horizon 2001*, n°5, novembre 1994, pp. 16-19.
- PARDOUX J. P. (1995a) Orge de printemps - semer tôt pour rechercher le rendement maximum, *Horizon 2001*, 13 janvier 1995, p. 24.
- PARDOUX J. P. (1995c) Un outil pour piloter la protection fongicide sur blé, *Horizon 2001*, mai 1995, p. 9.
- PARDOUX J. P. (1995) Un outil pour piloter la protection fongicide sur blé, *Horizon 2001*, mai 1995, p. 9.
- PARDOUX P. (1995b) Des économies possibles en désherbage de céréales, *Horizon 2001*, mars 1995, pp. 12-13.
- PARDOUX P., VERHAEGHE V. (1995) Fongicide - un dernier rendez-vous avec la septoriose, *Horizon 2001*, 19 mai 1995, p. 28.
- PENVEN M. J., MUXART T. (1995) Le drainage agricole, un rôle fondamental dans les transferts d'eau et de matières - L'exemple du plateau briard, *Annales de Géographie*, n° 581-582, avril, pp. 88-104.
- PEYRE Y., MICHELIN J., FOURNIER B. (1988) Analyse de l'érosion hydrique à Chelles et à Saint Estienne Roilaye (Oise) : Proposition de création de dispositif de lutte contre l'érosion, *Annales de Géographie*, n° 581-582, pp. 64-87.
- PIHAN J. (1979) Risques climatiques d'érosion hydrique des sols en France, In Colloque sur l'érosion des sols en milieu tempéré non-méditerranéen, Strasbourg-Colmar, septembre 1978, Ed *Vogt H. et Vogt T.*, 251 p.
- PILLEBOUE - BAPTENDIER E. (1987) Origines, bilans et mécanismes de transfert du phosphore et de l'azote d'un bassin versant vers un lac, *Thèse - Université Paris VI*, 251 p.
- PISSART, BOLLINNE (1978) L'érosion des sols limoneux cultivés de la Hesbaye, *Pédologie*, XXVIII, pp. 161-182.
- POITRINEAU A. (1965) La vie rurale en Basse Auvergne au XVIIIème siècle (1726-1789), Paris, *PUF*, 780 p.
- POMMARET E. (1994) La qualité des eaux de surface en France : il y a encore beaucoup à faire, *L'Information Agricole*, n°664, février 1994, pp. 20-21.
- POUQUET J. (1951) L'érosion, Paris, *P.U.F.*, 127 p.
- POUTRAIN B. (1994) Pommes de terre - 'I curatif, le F préventif, *Horizon 2001*, 6 mai 1994, p. A.
- POUTRAIN B. (1994) Pommes de terre du nouveau en désherbage, *Horizon 2001*, 25 mars 1994, p. A.
- QUIEVREUX D. (1994) Coût de production du blé - une tendance à la baisse depuis 1992, *Horizon 2001*, 2 décembre 1994, p. 26.
- QUIZY J. P. (1994) Les oligo-éléments - raisonner leurs apports, *Horizon 2001*, 18 novembre 1994, pp. X-XIII.
- QUIZY J. P. et al (1994) Les cultures intermédiaires pour limiter les fuites de nitrates
- RAHELIARISOA M. A. (1986) Influence des techniques culturales sur le comportement hydrodynamique et sur la susceptibilité à l'érosion des sols limoneux et sableux, *Thèse - Orléans - ORSTOM*, 297 p.
- RAMEZ P., KELLAL M. (1994) Production et transfert de sédiments à l'échelle du bassin versant, *C. R. Acad. Agric. Fr.*, 80, n°5, pp. 15-24.
- RENAU P. (1989), L'érosion hydrique dans les sols de grande culture : Laonnois et Soissonnais, *DEA - Paris I*, 70 p.
- REVEL J. P. (1993) Qu'est ce qu'un sol ? In actes du colloque "Le sol... cet inconnu mal traité ?", octobre 1993, Toulouse, *UNIMATE*, 185 p.
- RICHARDS K. (1982) Rivers, form and process in alluvial channel, *Methuen and Co Ltd*, 358 p.
- ROBERT M. (1994) Le sol une interface dans l'environnement : pollution des sols et qualité des eaux, Journées d'étude, mars 1994, Dijon, *AIDEC*, pp. 37-47.

- ROBERT M., CAMBIER M., JUSTE C. (1994) Conditions d'utilisation des boues de stations d'épurations en agriculture, *Cahiers agricultures*, 3, pp. 285-294.
- ROOSE E. (1981) Dynamique actuelle des sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique Occidentale, *Travaux et Documents de l'ORSTOM*, n° 130, 569 p.
- ROUX F. (1994) Les inondations de l'Oise amont et de la Serre : Un danger accru ?, *DEA - Paris I*, 74 p.
- SAHUC (1993) intervenant, In Actes du Colloque "Le sol... cet inconnu mal traité ?", octobre 1993, Toulouse, *UNIMATE*, 185 p.
- SAVAT J., DE PLOEY J. (1982) Sheetwash and rill development by surface flow, In Badland, Geomorphology and piping, Ed *BRIAN and YAIR*, *Geo Books*, pp. 113-126.
- SEBILLOTTE J. (1994) L'agriculture réussira à vaincre la pollution des eaux, *L'Information Agricole*, n°664, février 1994, pp. 48-50.
- SILVY C. (1992) Quantifions... le phytosanitaire, *Courrier de la cellule environnement*, n°18, pp. 29-44.
- SOLTNER D. (1990) Les grandes productions végétales, *Collections Sciences et Techniques agricoles*, 464 p.
- SOLTNER D. (1992) Les bases de la production végétale, *Collections Sciences et Techniques agricoles*, 467 p. (tl) et 320 p. (tII).
- SPOMER R. G., HJEMFELT A. T. (1986) Concentrated flow erosion on conventional and conservation tilled watersheds, *Trans. of Amer. Soc. of Agric. Engr.*, 29, pp. 124-127.
- STEFANO I. (1993) L'exploitation d'un système d'information géographique visant à déterminer les zones érodables de deux sites dans l'Aisne, *DESS - Paris VII, Agence de l'Eau, Centre de Biogéographie-Ecologie*, 150 p.
- TALLON P. (1993) P et K : nouveau raisonnement, *La France agricole*, 23 juillet 1993, p. 18.
- THECLE V. (1993) L'analyse de terre toujours d'actualité, *La France agricole*, 23 juillet 1993, p. 19.
- THORNES J. B. (1980) Erosional processes of running water and their spatial and temporal controls : a theoretical viewpoint, In Soil erosion, Ed *Kirkby and Morgan*, *Wiley, Chichester*, pp. 129-182.
- TOURNIER A. (1994) Protégez vos sols pendant la jachère, *Horizon 2001*, 25 mars 1994, p. D.
- TOURNIER A. (1995) Maïs - la panoplie des désherbant s'étoffe, *Horizon 2001*, 24 avril 1995, p. 29.
- TOURNIER A., LESENNE C. (1994) Jachère - soigner la destruction, *Horizon 2001*, 9 septembre 1994, p. VII-VIII.
- VANLOOT P. (1994) Utilisation des jachère pour les animaux, *Horizon 2001*, 10 août 1994, p. D.
- VERHAEGHE V. (1995a) Jubil, un outil de pilotage de la fertilisation azotée, *Horizon 2001*, 24 février 1995, p. 40-41
- VERHAEGHE V. (1995b) La réduction des doses de fongicides : oui sous certaines conditions, *Horizon 2001*, mars 1995, pp. 7-10.
- VERHAEGHE V. (1995) Jubil, un outil de pilotage de la fertilisation azotée, *Horizon 2001*, 24 février 1995, pp. 40-41
- VEYRET Y., PECH P. (1993) L'homme et l'environnement, *PUF*, 423 p.
- VEYRET Y., WICHEREK S. (1992) Réflexion sur la cartographie des risques des terres agricoles, *BAGF*, n°2, pp. 169-176.
- VEYRET Y., WICHEREK S., ARNOULT P. (1991) Terre de grande culture : l'érosion des sols - Exemples dans le Bassin Parisien, *GEOPRE*, n°6, 25 p. + diapo.
- VOGT H., AUZET A.V. (1989) Erosion des sols, *Groupe Français de Géomorphologie Ed, Recent advances in French Geomorphology*, pp. 167-173.
- VOGT H., VOGT T. (1979) Colloque sur l'érosion des sols en milieu tempéré non-méditerranée, Strasbourg-Colmar, septembre 1978, Ed *Vogt H. et Vogt T.*, 251 p.

- VOGT J. (1957) La dégradation des terroirs lorrains au milieu du XVIIIème siècle, In Colloque sur l'érosion des sols en milieu tempéré non-méditerranéen, Strasbourg-Colmar, septembre 1978, Ed *Vogt H. et Vogt T.*, LXX, pp. 111-116.
- WICHEREK S. (1988) Les relations entre le couvert végétal et l'érosion en climat tempéré de plaine, Exemple : Cessière (Aisne, France), *Zeitschrift für Geomorphologie*, 32, H3, pp. 339-350.
- WICHEREK S. (1989) Impact of splash and eolian transport on erosion , Case study : north of Parisian Basin , France, *Earth Surface Processes and landforms*, vol 14, 6/7, pp. 461-467.
- WICHEREK S. (1990) Paysages agraires, couverts végétaux et processus d'érosion en milieu tempéré de plaine de l'Europe de l'Ouest, *Soil Technology*, vol. 3, pp. 199-208.
- WICHEREK S. (1991) New approach to the study of erosion in cultivated lands, *Catena Soil technology*, vol. 4, n°2, pp. 99-110.
- WICHEREK S., CHENE G., MEKHARCHI M. (1993) Impact of agriculture on soil degradation : modelisation at the watershed scale for a spatial management and development, In Farm land Erosion in temperate plains environment and hills, Ed S. Wicherek, *ELSEVIER Amsterdam*, pp. 137-153.
- WICHEREK S. (1993) The soil asset : preservation of a natural resource, In Farm land Erosion in temperate plains environment and hills, Ed S. Wicherek, *Elsevier Amsterdam*, pp. 1-16.
- WICHEREK S. (1994) L'érosion des grandes plaines agricoles, *La Recherche*, 25, 268, pp. 880-888
- WICHEREK S., BERNARD C. (1995) Assesment of soil movments in a watershed from Cs137 data and conventional measurements (ex the Parisian Basin), Symposium J. De Ploey, Louvain, 22-27 mars 1993, *Catena*, 25, 1-4, pp. 141-151.
- WICHEREK S., GREGOIRE F. (1987) Influences of rainfall intensity on erosion in Parisian Basin, France, IGU-COMTAG, Budapest, actes.
- WICHEREK S., VEYRET Y., BERNARD C. (1993) L'utilisation du Cs137 pour la connaissance de la dégradation des sols, *Mémoire de la Soc. Géol. de France "Atome et Géologie"*, 162, pp. 261-268.
- WICHEREK S. (1995) Inondations : histoire d'eau à fleur de peau, *La Recherche*, 277, pp. 692-693.
- WISCHMEIER W.H. (1959) A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation, *Soil Sci. Soc. Proc*, 23, pp. 246-249.
- ZILLIOX L., SCHENCK C., KOBUS H., HUWE B. (1990) Pollution par les nitrates : quels remèdes ?, *La Recherche*, n° 27, décembre 1990, pp. 18-21.

* * *

TRAVAUX PERSONNELS

* * *

PUBLICATIONS

* * *

ANGELIAUME A., WICHEREK S., DACHARRY D. (1994) Ruissellement, érosion et qualité des eaux en terre de grande culture, Hydrologie continentale, ORSTOM, vol. 9, n°2, pp. 107-122.

ANGELIAUME A. (1995a) Averse à caractère orageux et ruissellement en terre cultivée - Orages et risques associés, Université de Lille, Cahiers de Géographie Physique n°10, pp. 77-82.

ANGELIAUME A. (1995b) Erosion des terres cultivées en Picardie - Une menace pour la fertilité des sols ?, Actes des "Journées des Sociétés Historiques et Scientifiques", 27-30 octobre 1994, (à paraître).

ANGELIAUME A., WICHEREK S., (1995) Contributions des bassins versants agricoles à la formation des crues - Le bassin versant d'Erlon et la crue des 21-23 décembre 1993, Actes du Colloque "Crues, versants et lits fluviaux", CNRS, Université Paris I, 22-24 mars 1995, (à paraître).

ANGELIAUME A. (1995c) Qualité des eaux de ruissellement sur petits bassins versants agricoles - rapport intermédiaire, Centre de Biogéographie-Ecologie ENS-CNRS URA 1514 et Agence de l'Eau Seine-Normandie, 78 p. + annexes.

ANGELIAUME (1995d) Qualité des eaux de ruissellement sur petits bassins versants agricoles dans le nord du Bassin Parisien, Actes du Colloque "Qualité de l'eau", Université de Nantes, 26-28 octobre 1995, pp. 115-120.

ANGELIAUME A. (1995e) Valorisation agricole des produits résiduels au Québec, Programme développement durable, rapport de la mission 16-25 octobre 1995, 24 p.

ANGELIAUME A., WICHEREK S. (1996) Transferts de polluants par érosion hydrique sur sols cultivés - Comparaison du fonctionnement de deux unités spatiales, Journées AFES (Association Française d'Etude des Sols) "Rôle des sols dans les transferts de polluants au sein des paysages, INA de Rennes, 23 au 27 avril 1996, (à paraître).

ANGELIAUME A., WICHEREK S. (1996) Erosion et transferts de polluants sur petits bassins versants agricoles du nord du Bassin Parisien (proposé).

BERNARD C., WICHEREK S., ANGELIAUME A. (1996) Polluants transfer by water erosion on cultivated land soils in the north of Parisian Basin, 2nd World Congress ESSC, Munich Septembre 1996 (à paraître).

* * *

POSTERS

* * *

Impacts de la grande culture sur la dégradation des sols et la qualité des eaux, Festival International de Géographie, Saint-Dié des Vosges, octobre 1993.

Erosion des terres cultivées en Picardie - Une menace pour la fertilité des sols ? - Journées des Sociétés Historiques et Scientifiques, octobre 1994.

Inondations et coulées de boue en milieu agricole, des risques liés aux pratiques culturelles - exemples dans le nord du Bassin Parisien, Festival International de Géographie, Saint-Dié des Vosges, octobre 1995.

Inondations et coulées de boue en milieu agricole, des études et des solutions pour une agriculture durable - exemples dans le nord du Bassin Parisien, Festival International de Géographie, Saint-Dié des Vosges, octobre 1995.

Pollants transfer by water erosion on cultivated land soils in the north of Parisian Basin, 2nd World Congress ESSC, Munich Septembre 1996.

* * *

COMMUNICATIONS

* * *

Contributions des bassins versants agricoles à la formation des crues - Le bassin versant d'Erlon et la crue des 21-23 décembre 1993, Colloque "Crues, versants et lits fluviaux", CNRS, Université Paris I, 22-24 mars 1995.

Averse à caractère orageux et ruissellement en terre cultivée, Séminaire "Orages et risques associés", 27 janvier 1994.

Qualité des eaux de ruissellement sur petits bassins versants agricoles dans le nord du Bassin Parisien, Colloque "Qualité de l'eau", Université de Nantes, 26-28 octobre 1995.

Transferts de polluants par érosion hydrique sur sols cultivés - Comparaison du fonctionnement de deux unités spatiales, Journées AFES (Association Française d'Etude des Sols) "Rôle des sols dans les transferts de polluants au sein des paysages, INA de Rennes, 23 au 27 avril 1996.

* * *

CARTES ET PLANS

* * *

Carte topographique IGN 1/250 000 Pays du nord - Picardie n°101
Carte topographique IGN 1/100 000 Laon-Arras n°4
Carte topographique IGN 1/100 000 Paris-Laon n° 9
Carte topographique IGN 1/25000 Marle 2709 ouest
Carte topographique IGN 1/25 000 Neuilly-Saint-Front 2612 ouest
Carte géologique BRGM 1/50 000 VERVINS n°66
Carte hydrogéologique BRGM 1/50 000 VERVINS n°66
Carte géologique BRGM 1/50 000 FERE-EN-TARDENOIS n°130
Carte pédologique 1/50000 VERVINS
Carte de Cassini Laon
Carte de Cassini Soissons
Cadastre de Vierzy

* * *

GLOSSAIRE

* * *

- aléas climatique : événement climatique exceptionnel nuisible.
- bassin d'alimentation, bassin versant : périmètre isolé hydrauliquement, limite tracé par la ligne de crête qui délimite l'impluvium.
- bassin versant élémentaire : surface collectant les eaux de pluie vers une sortie unique, l'exutoire, élémentaire car unité la plus petite possible.
- érosion hydrique : érosion occasionné par l'eau.
- érosion hydrique des sols cultivés : détachement et entraînement des particules du sol sous l'action des gouttes de pluie et/ou du ruissellement.
- fertilité naturelle : potentiel d'un sol a produire, sans apport extérieur.
- grande culture : culture intensive, alliant de grands espaces, une haute technicité et des cultures à grande rentabilité tel le blé et certaines plantes industrielles comme la betterave, et dans une moindre mesure la pomme de terre et les protéagineux. On la rencontre en Picardie et Ile-de-France essentiellement.
- hystérésie : évolution de la relation débits/concentrations dans le temps ; la courbe forme une boucle, orientée dans le sens des aiguilles d'une montre (hystérésie positive) ou dans le sens inverse des aiguilles d'une montre (hystérésie négative).
- pollution diffuse d'origine agricoles : pollution provenant des surfaces agricoles, espaces étendus d'où le terme de diffus.
- pratiques agricoles ou agraires : choix des assolements et donc du couvert végétal, du calendrier cultural, de la nature et du nombre de passages de machines agricoles, des amendements, des fertilisants et des traitements phytosanitaires.
- produits phytosanitaires : pesticides, produits de traitements insecticides, fongicides, herbicides, etc.
- risque : résultat de la combinaison de l'aléas climatique et de la vulnérabilité du site.
- semelle de labour : horizon induré du sol à 30-35 cm de profondeur lié au passage répété des engins agricoles.
- talweg : ligne reliant les points les plus bas du bassin, ligne de concentration des eaux.
- vulnérabilité : sensibilité d'un site à un aléas.

* * *

ABREVIATIONS ET SIGLES

* * *

A : Argile
AL : Argile limoneuse
AREAS : Association Régionale pour l'Etude et l'Aménagement des Sols
Bett : betteraves sucrières
BVEC : Bassin Versant Elémentaire Cultivé
CEMAGREF : Centre d'Etude du Machinisme Agricole du Génie Rural des Eaux et des Forêts
CEREG : Centre d'Etudes et de Recherche EcoGéographiques
CETA : Centre d'Etude Technique Agricole
Cl : chlorures
CNRS : Centre National de Recherche Scientifique
DIREN : Direction Régionale de l'Environnement
ETP : Evapo-Transpiration Potentielle
INRA : Institut National de Recherche Agronomique
INSERM : Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale
ITB : Institut Technique de la Betterave
ITCF : Institut Technique des Céréales et des Fourrages
K : potasse
L : Limon
LA : limon argileux
MES : Matières En Suspension
MO : Matières Organiques
N : azote
NO3 : nitrates
OS : occupation du sol
P : phosphore
PAC : Politique Agricole Commune
Pfixé : phosphore particulaire
PO4 : phosphates
Qi : Débits instantanés
SAU : Surface Agricole Utilisée
SIG : Système d'Information Géographique
SREMA : Service Régional d'Etude des Milieux Aquatiques
STH : Surface Toujours en Herbe
tc : temps de concentration
tr : temps de réponse
tv : temps de vidange
V : volumes ruisselés

* * *

TABLE DES TABLEAUX

* * *

PREMIERE PARTIE : THEME ET ESPACE D'ÉTUDE

Activités agricoles, diversités des paysages et risques d'érosion dans le nord du Bassin Parisien

Tableau I - 1 - 1 - a : Utilisation des terres arables en Picardie en 1991 (AGRESTE, 1992).....	20
Tableau I - 1 - 2 - 1 - a : Evolution des surfaces cultivées en céréales et en blé dans le département de l'Aisne (d'après RGA).....	21
Tableau I - 1 - 2 - 2 - a : Evolution des rendements de la betterave en Picardie (Centre d'étude et de documentation du sucre).....	24
Tableau I - 1 - 4 - 2 - a : Comparaison de la fertilisation azotée moyenne observée dans des fermes à agriculture intensive et des fermes à chimisation réduite en Picardie (d'après agriculteurs et coopératives agricoles).....	33
Tableau I - 1 - 4 - 2 - b : Comparaison des rendements objectifs dans des fermes à agriculture intensive et des fermes à chimisation réduite en Picardie en q/ha Picardie (d'après agriculteurs et coopératives agricoles).....	33
Tableau I - 1 - 5 - 1 - a : Evolution en hectares des productions de deux régions agricoles - le Saint-Quentinois-Laonnois et le Soissonnais - et de deux de leurs communes (d'après RGA 1955-1988).....	39
Tableau I - 1 - 5 - 1 - b : L'agrandissement des exploitations dans le département et dans les régions agricoles en hectares (RGA 1955, 1988).....	40
Tableau I - 1 - 5 - 2 - a : Evolution de la consommation d'engrais azotés en France depuis 1961 en kg/ha (Anonyme, 1986, Pollution des eaux par les engrais et les pesticides, OCDE).....	41
Tableau I - 1 - 5 - 2 - b : Evolution de la consommation en engrais simples N, P et K en France, en Picardie et dans l'Aisne (Thiollet, comm. écrite 1993).....	42
Tableau I - 1 - 5 - 2 - c : Estimation des apports fertilisants et phytosanitaires au niveau régional d'après recoupement des données du RGA et des résultats d'enquêtes auprès des coopératives agricoles.....	45
Tableau I - 1 - 6 - 2 - a : Diminutions généralisées de la SAU et du nombre d'exploitation (AGRESTE, 1994).....	47
Tableau I - 2 - 2 - 5 - a : Augmentation de la taille moyenne des SAU en hectare pour les deux régions agricoles de l'Aisne (RGA 1950 et 1970).....	81
Tableau II - 2 - 1 - 1 - a : Les régions agricoles en quelques chiffres (d'après RGA, 1988).....	124
Tableau II - 2 - 1 - 1 - b : Evolution du nombre des exploitations entre 1882 et 1942 dans certains départements picards (d'après GEORGE, RANDET, BASTIE, 1964).....	129
Tableau II - 2 - 1 - 1 - c : Evolution du nombre des exploitations entre 1955 et 1988 dans l'Aisne et ses régions agricoles (d'après RGA, 1988 et Services statistiques de la DDA).....	130
Tableau II - 2 - 1 - 1 - d : Evolution de la taille moyenne des SAU entre 1955 et 1988 dans l'Aisne et ses régions agricoles (d'après RGA, 1988 et Services statistiques de la DDA).....	130
Tableau II - 2 - 2 - 4 - b : Evolution du parcellaire à Erlon entre 1949, 1957 et 1991 (d'après photographies aériennes IGN).....	137
Tableau II - 2 - 2 - 4 - c : Evolution du parcellaire à Vierzy entre 1936, 1957 et 1991 (d'après photographies aériennes IGN).....	139
Tableau II - 3 - 1 - 4 - a : Meilleurs rendements (en quintaux) obtenus dans l'Aisne au cours des années 1988-93 pour quelques cultures.....	148
Tableau II - 3 - 3 - 9 - a : Liste des produits les plus utilisés en Picardie : nom, origine, nature et vente annuelle (d'après ANONYME, 1994, Guide d'utilisation des produits et des déchets organiques en agriculture - La situation en Picardie).....	157

DEUXIEME PARTIE : BASSINS VERSANTS ET RUISSELLEMENTS**Deux sites d'étude : présentation, conditions de formation****et formes des écoulements**

Tableau I - 1 - 2 - 1 - a : Concentrations en NO ₃ à l'AEP d'Erlon (conductivité 300-400 µS/cm)	174
Tableau I - 1 - 2 - 2 - a : Concentrations en NO ₃ d'une source des marnes et caillasses du Lutécien à Vierzy (conductivité 700 µS/cm).....	187
Tableau I - 1 - 2 - 2 - a : Répartition en % des textures sur chacun des versants, Nord et Sud	188
Tableau I - 4 - 2 - 1 - a : Assolement sur les bassins versants depuis 1989 et apports de fumure de fond à Erlon.....	211
Tableau I - 4 - 2 - 1 - b : Assolement sur les bassins versants depuis 1989 et apports de fumure de fond à Vierzy	212
Tableau I - 4 - 2 - 1 - a : Apports moyens de quelques fumures de fond organiques en Kg/T de produit brut (d'après les sources citées ci-dessus)	213
Tableau I - 4 - 2 - 2 - a : Fourchette des apports en N, P, K pour différentes cultures sur les bassins versants, récapitulation des informations fournies par les agriculteurs	214
Tableau I - 5 - a : Les matières actives sélectionnées pour les trois dernières années	216
Tableau I - 5 - a : Exemple de combinaison entre les facteurs battance et développement de la végétation	219
Tableau I - 5 - b : Exemple de combinaison entre les facteurs occupation du sol et rugosité.....	220
Tableau I - 5 - c : Exemple de combinaison entre les facteurs texture de surface et rugosité	220
Tableau II - 1 - 1 - a : Répartition saisonnière des ruissellements sur les deux sites	223
Tableau II - 1 - 1 - 2 - a : Comparaison des pluies annuelles à Erlon et à Vierzy (en mm).....	224
Tableau II - 1 - 1 - 2 - c : Pluies mensuelles moyennes et corrélation de 1960 à 1995	227
Tableau II - 1 - 1 - 2 - d : Pluies à la station d'Erlon et au château d'eau d'Erlon - moyennes trimestrielles (d'après WICHEREK et al, 1993)	229
Tableau II - 1 - 1 - 2 - e : Pluies à la station d'Erlon et au château d'eau d'Erlon - pluies journalières supérieures à 10 mm - comparaison des lames d'eau et des intensités	230
Tableau II - 1 - 2 - 2 - a : Diminution de la lame d'eau journalière nécessaire au ruissellement parallèlement à l'augmentation des pluies cumulées sur dix jours à Erlon, exemples	236
Tableau II - 1 - 2 - 2 - c : Augmentation du volume ruisselé parallèlement à l'augmentation des pluies cumulées à Erlon, exemples	238
Tableau II - 1 - 2 - 2 - d : Augmentation du volume ruisselé parallèlement à l'augmentation des pluies cumulées à Erlon, exemples	239
Tableau II - 1 - 2 - 3 - a : Augmentation du volume ruisselé parallèlement à l'augmentation des intensités à Erlon, exemples.....	240
Tableau II - 1 - 2 - 4 - a : Répartition mensuelle des jours de gel et de neige pendant la période d'étude aux stations de Pouilly-sur-Serre et de Parcy-et-Tigny	241
Tableau II - 1 - 2 - 5 - a : Interruption des ruissellements après labour (WICHEREK et al, 1993).....	245
Tableau II - 1 - 2 - 5 - b : Contrôle des ruissellements par le travail du sol à Erlon, exemples	246
Tableau II - 1 - 2 - 5 - c : Absence de ruissellements lié à l'occupation du sol à Erlon, exemples.....	246
Tableau II - 1 - 2 - 5 - d : Seuils de pluie au printemps et en été en relation avec l'occupation du sol à Erlon, exemples.....	253
Tableau II - 1 - 3 - 1 - a : Bilan de quelques caractéristiques des BVEC	254
Tableau II - 1 - 2 - 2 - a : Surface dans chaque classe de pentes (en % de la surface du BVEC)	256
Tableau II - 1 - 2 - 5 - b : Synthèse des seuils de pluie nécessaire au déclenchement des ruissellements.....	259
Tableau II - 2 - 1 - 1 - a : Comparaison du nombre de ruissellements en fonction des débits maxima.....	265
Tableau II - 2 - 1 - 1 - b : Comparaison du nombre de ruissellement en fonction du volume ruisselé.....	265
Tableau II - 2 - 1 - 1 - c : Comparaison du nombre de ruissellements en fonction des débits maxima relatifs	266
Tableau II - 2 - 1 - 1 - d : Comparaison du nombre de ruissellements en fonction du volume ruisselé relatif.....	266
Tableau II - 2 - 1 - 1 - e : Comparaison des valeurs de débits maxima et de volumes.....	266
Tableau II - 2 - 1 - 1 - f : Caractéristiques de quelques points de la droite de régression $V = f(Q_i \text{ max})$ à Erlon.....	269

Tableau II - 2 - 1 - 2 - a : Coefficients de ruissellement à Erlon entre 1993 et 1995.....	270
Tableau II - 2 - 1 - 2 - b : Coefficients de ruissellement à Vierzy entre 1993 et 1995.....	271
Tableau II - 2 - 1 - 3 - a : Surfaces en ha et en % pour chacune des textures de surface.....	274
Tableau II - 2 - 1 - 3 - b : Répartition des surfaces à risque de ruissellement en relation avec les textures de surface et les pentes à Erlon et Vierzy.....	275
Tableau II - 2 - 2 - 1 - a : Classification des hydrogrammes et caractéristiques des ruissellements à Erlon.....	278
Tableau II - 2 - 2 - 1 - b : Classification des hydrogrammes et caractéristiques des ruissellements à Vierzy.....	279
Tableau II - 2 - 2 - 2 - a : Temps de concentration et temps de réponse pour les différents ruissellements à Erlon.....	280
Tableau II - 2 - 2 - 2 - b : Temps de concentration et temps de réponse pour les différents ruissellements à Vierzy.....	281
Tableau II - 2 - 2 - 2 - c : Lames d'eau d'imbibition et durée des écoulements pour les différents ruissellements à Erlon.....	282
Tableau II - 2 - 2 - 2 - d : Lames d'eau d'imbibition et durée des écoulements pour les différents ruissellements à Vierzy.....	283
Tableau II - 2 - 2 - 2 - e : Temps des phases de régime permanent et de vidange pour les différents ruissellements à Erlon.....	285
Tableau II - 2 - 2 - 2 - f : Temps des phases de régime permanent et de vidange pour les différents ruissellements à Vierzy.....	286
Tableau II - 2 - 2 - 3 - a : Temps de réponse, de concentration et de vidange à Erlon le 20 décembre 1993.....	290
Tableau II - 2 - 2 - 3 - b : Temps de réponse, de concentration et de vidange à Vierzy le 20 décembre 1993.....	290
Tableau II - 2 - 2 - 4 - a : Temps de déplacements des ruissellements en fonction des distances à parcourir et de l'ordre de grandeur des vitesses des écoulements.....	297

TROISIEME PARTIE : EROSION ET DÉGRADATION

DES SOLS ET DES EAUX DE SURFACE

Modalité de transferts et exportations de matériaux solides

et solubles sur les bassins versants et propositions de gestion

Tableau I - 1 - 2 - a : Bilan des ruissellements et des transferts de MES à Erlon entre 1993 et 1995.....	311
Tableau I - 1 - 2 - b : Bilan des ruissellements et transferts de MES à Vierzy entre 1993 et 1995.....	311
Tableau I - 1 - 2 - c : Bilan des ruissellements et des transferts de MES à Erlon entre 1989 et 1992 (d'après WICHEREK et al, 1993).....	313
Tableau I - 2 - 2 - 1 - a : Corrélation débits et concentrations en MES à Vierzy.....	325
Tableau I - 2 - 2 - 1 - b : Corrélation débits et concentrations en MES à Erlon.....	325
Tableau I - 2 - 2 - 3 - a : Décalage entre les maxima de débits et de concentrations en MES à Vierzy.....	332
Tableau I - 2 - 2 - 3 - b : Décalage entre les maxima de débits et de concentrations en MES à Erlon.....	332
Tableau I - 3 - 3 - 2 - a : Activités en Cs-137 mesurées à la station d'Erlon.....	345
Tableau I - 3 - 3 - 2 - b : Activités en Cs-137 mesurées à la station de Vierzy.....	345
Tableau I - 3 - 4 - 1 - a : Surfaces respectives de chaque SUM dans chacun des BVE.....	354
Tableau I - 3 - 4 - 2 - a : Surfaces sensibles à la battance et à l'incision dans chacune des SUM (en ha et en %).....	354
Tableau I - 3 - 4 - 2 - b : Surfaces sensibles de ruisseller sur les zones amont des bassins (en %).....	355
Tableau I - 3 - 4 - 2 - c : Surfaces sensibles à l'incision sur les zones aval des bassins (en %).....	355
Tableau I - 3 - 4 - 3 - a : Surfaces (en %) de sols nus dans chaque SUM pendant deux hivers à Vierzy.....	357
Tableau I - 3 - 4 - 3 - b : Surfaces (en %) cultivées dans le sens de la plus forte pente dans chaque SUM sur les deux BVEC.....	357
Tableau I - 4 - 1 - a : Bilan des sorties solides à Erlon.....	358

Tableau I - 4 - 1 - b : Bilan des sorties solides à Vierzy.....	359
Tableau I - 4 - 2 - 1 - a : Récapitulation des pertes en MES et en MO.....	360
Tableau I - 4 - 2 - 1 - b : Proportion de MO dans les MES.....	361
Tableau I - 4 - 2 - 2 - a : Résultats de quelques granulométries.....	362
Tableau I - 4 - 3 - a : Estimation de la couche arable perdue d'après les quantités de terre transitées à l'exutoire.....	363
Tableau II - 1 - 1 - b : Liste des produits phytosanitaires retrouvés dans les eaux de ruissellement.....	367
Tableau II - 1 - 1 - a : Rappels des principales caractéristiques des ruissellements étudiés.....	368
Tableau II - 1 - 2 - a : Résultats des analyses dans les eaux de pluie.....	369
Tableau II - 1 - 2 - b : Estimations des quantités minimales et maximales apportées par mm d'eau de pluie et par hectare d'après les valeurs mesurées ci-dessus.....	370
Tableau II - 1 - 2 - c : "Niveau-guide" retenu pour les eaux de pluie.....	371
Tableau II - 1 - 3 - a : Concentrations maximales en N et P dans les eaux de ruissellement.....	371
Tableau II - 1 - 3 - b : Concentrations et exportations en N et P sur bassins versants agricoles d'après synthèse bibliographique (Dorioz, 1996).....	372
Tableau II - 1 - 3 - c : Concentrations et exportations en N et P en milieu urbain, forestier et agricole d'après synthèse bibliographique (Dorioz, 1996).....	372
Tableau II - 1 - 3 - c : Valeurs moyennes, maximales et minimales pour les ruissellements étudiés.....	373
Tableau II - 1 - 3 - c : Valeurs moyennes, maximales et minimales pour les ruissellements étudiés.....	374
Tableau II - 1 - 4 - a : Produits phytosanitaires dans les eaux du ruissellement du 24 mai 1994 à Erlon.....	378
Tableau II - 1 - 4 - b : Produits phytosanitaires dans les eaux du ruissellement des 7-8 août 1995 à Erlon.....	380
Tableau II - 1 - 4 - c : Produits phytosanitaires dans les eaux du ruissellement du 11 juillet 1995 à Vierzy.....	382
Tableau II - 1 - 1 - d : Caractéristiques des produits phytosanitaires retrouvés dans les eaux de ruissellements.....	383
Tableau II - 3 - 1 - a : Bilan des sorties en MES, phosphore et azote.....	396
Tableau II - 3 - 2 - a : Bilan des entrées agricoles et des sorties par ruissellement/érosion du phosphore et de l'azote à Erlon.....	397
Tableau I - 3 - 2 - b : Bilan des entrées agricoles et des sorties par ruissellement/érosion du phosphore et de l'azote à Vierzy.....	398
Tableau II - 4 - 1 - 2 - a : Pertes estimées d'azote à Erlon au cours de l'hiver 1993-94.....	402
Tableau II - 4 - 1 - 2 - b : Pertes estimées d'azote à Vierzy au cours de l'hiver 1993-94.....	402
Tableau II - 4 - 1 - 2 - c : Dates de prélèvements pour analyses d'azote par rapport aux dates de récolte des cultures.....	403
Tableau II - 4 - 1 - 2 - d : Bilan des entrées et des sorties d'azote.....	403
Tableau II - 4 - 1 - 3 - a : Ordre de grandeur des concentrations en nitrates dans les eaux de percolation.....	405
Tableau II - 4 - 1 - 3 - b : Appauvrissement des teneurs en nitrates au cours de successifs.....	405
Tableau II - 4 - 2 - a : Volumes et caractéristiques physico-chimiques des écoulements recueillis à Erlon et à Vierzy.....	410
Tableau III - 1 - a : Trois situations, trois types de priorités et des propositions.....	419
Tableau III - 1 - 1 - 2 - a : Estimation du coût des dégâts : 77 millions de francs (Cattalorda, comm. orale 1994).....	422
Tableau III - 1 - 2 - 1 - a : Produits phytosanitaires dans la mare tampon d'Erlon.....	431
Tableau III - 1 - 2 - 1 - b : Produits phytosanitaires dans la mare tampon de Vierzy.....	431

* * *

TABLE DES FIGURES

* * *

PREMIERE PARTIE : THEME ET ESPACE D'ÉTUDE**Activités agricoles, diversités des paysages et risques d'érosion
dans le nord du Bassin Parisien**

Figure I - 1 - 2 - 3 - a : La culture de la betterave : "Tout se transforme, rien ne se perd".....	26
Figure I - 1 - 4 - 1 - a : Evolution des surfaces de colza en Picardie en milliers d'hectares au cours de la dernière décennie (AGRESTE, 1992).....	32
Figure I - 2 - 1 - 4 - a : Evolution de la surface du sol vers la croûte de battance sous l'effet de la pluie (BOIFFIN, 1984).....	51
Figure I - 2 - 1 - 4 - b : Triangle des textures et sensibilité des sols à la battance (LUDWIG, 1992).....	51
Figure I - 2 - 1 - 5 - a : Triangle des textures et sensibilité des sols à l'incision.....	54
Figure I - 2 - 1 - 5 - b : Interaction entre texture, matières organiques et stabilité structurale (d'après MONNIER et STENGEL, 1982).....	55
Figure I - 2 - 1 - 8 - a : Les différents type de rigoles (LUDWIG, 1992).....	62
Figure I - 2 - 1 - 9 - a : Les domaines fonctionnels et les zones d'érosion d'un bassin versant (AUZET, 1987b).....	64
Figure I - 2 - 2 - 4 - a : Les impacts d'orage les 7 et 8 août 1995 (presse locale).....	80
Figure I - 3 - 2 - 1 - a : Evolution des teneurs en nitrates aux AEP (Adductions en Eau Potable) des communes d'Erlon (craie libre) et de Vierzy (calcaire du Lutétien) (DASS).....	91
Figure I - 3 - 2 - 2 - a : L'azote dans le sol (GAUCHER, 1968).....	92
Figure I - 3 - 2 - 2 - b : Le phosphore dans le sol (GAUCHER, 1968).....	95
Figure I - 3 - 2 - 3 - a : Estimation des apports de fertilisants et de produits phytosanitaires d'après enquêtes dans le département de l'Aisne.....	97
Figure II - 1 - 1 - 1 - a : Carte géologique simplifiée (FIETTE, 1960).....	103
Figure II - 1 - 1 - 1 - b : Coupe géologique du département dans le sens nord-sud (FIETTE, 1960).....	104
Figure II - 1 - 1 - 3 - a : Carte des précipitations annuelles moyennes du département de l'Aisne (METEO FRANCE).....	112
Figure II - 1 - 1 - 3 - b : Schéma des plateaux, massifs forestiers et principales circulations (d'après FIETTE, 1960).....	115
Figure II - 1 - 1 - 3 - c : Exemple de trajectoires d'orage d'après la localisation des communes sinistrées (d'après les déclarations de sinistres à la DDA).....	116
Figure II - 1 - 1 - 3 - d : Précipitations journalières lors d'un orage (Laverdrine, comm. écrite 1994).....	117
Figure II - 1 - 1 - 3 - e : Répartition statistique des intensités (Remembrement et lutte contre l'érosion dans le département de l'Oise, ADEPRINA, 1990).....	118
Figure II - 2 - 1 - 1 - a : Les régions agricoles.....	125
Figure II - 2 - 1 - 1 - b : Les céréales, les betteraves, le maïs, les pommes de terre et les pois : productions par région agricole (d'après RGA, 1988).....	127
Figure II - 2 - 1 - 1 - c : Répartition des cultures sur la SAU en Soissonnais, Saint-Quentinois-Laonnois et Thiérache (d'après RGA, 1988).....	128
Figure II - 2 - 2 - 2 - a : Carte de grands défrichements médiévaux (HIGOUNET, 1993).....	133
Figure II - 2 - 2 - 4 - a : Evolution du parcellaire à Erlon entre 1949,1957 et 1991 (d'après photographies aériennes IGN).....	140
Figure II - 2 - 2 - 4 - b : Evolution du parcellaire à Vierzy entre 1936, 1957 et 1991 (d'après photographies aériennes IGN).....	141
Figure II - 3 - 1 - 1 - a : L'équipement paysan au Moyen-Age (FOSSIER, 1983).....	145
Figure II - 3 - 1 - 1 - b : La machine à moissonner au XIXème siècle (Collectif, 1993-94, Annales historiques compiègnoises).....	146
Figure II - 3 - 3 - 4 - a : Comparaison des marges brutes pour des conduites haut-niveau, observation-intervention et économique.....	154

DEUXIEME PARTIE : BASSINS VERSANTS ET RUISSELLEMENTS**Deux sites d'étude : présentation, conditions de formation****et formes des écoulements**

Figure I - 1 - 1 - 1 - a : Les collines du Marlois : une succession de petits bassins versants.....	164
Figure I - 1 - 1 - 3 - a : Estimation des pertes de récolte par photographies aériennes en mai 1988 à Vierzy (Houdry, géomètre à Soissons).....	168
Figure I - 1 - 2 - 1 - a : Couches géologiques présentes à Erlon (d'après carte géologique 1/50 000, Vervins).....	173
Figure I - 1 - 2 - 1 - b : Carte des textures de surface sur le bassin versant d'Erlon (d'après la carte de MM. Maucorps, Marlet, Sarrazin).....	176
Figure I - 1 - 2 - 1 - c : Profils pédologiques sur le bassin versant d'Erlon (d'après les profils de MM. Maucorps, Marlet, Sarrazin).....	178
Figure I - 1 - 2 - 1 - d : Carte des pentes d'après les courbes de niveau redessinées du bassin versant d'Erlon.....	180
Figure I - 1 - 2 - 1 - e : Limites du BVEC, parcelles et localisation des équipements à Erlon.....	184
Figure I - 1 - 2 - 2 - a : Couches géologiques présentes à Vierzy (d'après carte géologique 1/50 000, Soissons).....	187
Figure I - 1 - 2 - 2 - b : Carte des textures de surface sur le bassin versant de Vierzy (d'après la carte de MM. Maucorps, Marlet, Sarrazin).....	190
Figure I - 1 - 2 - 2 - c : Carte des pentes d'après les courbes de niveau redessinées de Vierzy.....	192
Figure I - 1 - 2 - 1 - d : Limites du BVEC, parcelles et localisation des équipements à Vierzy.....	196
Figure I - 3 - 1 - a : Un suivi global.....	201
Figure I - 3 - 2 - a : Equipement de la station d'Erlon de 1989 à 1994 (d'après WICHEREK, 1990).....	203
Figure I - 3 - 2 - b : Déversoir triangulaire (d'après THOMSON, 1958).....	203
Figure I - 3 - 2 - c : Détail du déversoir triangulaire (d'après THOMSON, 1958).....	203
Figure I - 3 - 2 - d : Principe de fonctionnement de la station (d'après WICHEREK, 1990).....	204
Figure I - 3 - 2 - e : Débit en fonction de la hauteur - cas d'un déversoir triangulaire, angle 90 ° (Normes ISO4377) - exemples.....	204
Figure I - 3 - 2 - 2 - a : Débits instantanés initiaux et débits instantanés corrigés (d'après G. CHENE).....	205
Figure I - 3 - 3 - 4 - a : Devenir des échantillons : schéma récapitulatif.....	208
Figure I - 3 - 3 - 4 - b : Comparaison des trois méthodes de dosage des MES pour les prélèvements du 24 mai 1994 à Erlon.....	209
Figure II - 1 - 1 - 2 - a : Pluies mensuelles à Vierzy en fonction des pluies mensuelles à Erlon.....	224
Figure II - 1 - 1 - 2 - b : Pluies journalières à Vierzy en fonction des pluies journalières à Erlon.....	225
Figure II - 1 - 1 - 2 - c : Pluies annuelles à Pouilly-sur-Serre en fonction des pluies annuelles à Parcy-et-Tigny de 1960 à 1995.....	226
Figure II - 1 - 1 - 2 - d : Pluies mensuelles de janvier de 1960 à 1995.....	227
Figure II - 1 - 1 - 2 - e : Pluies mensuelles de juillet de 1960 à 1995.....	228
Figure II - 1 - 1 - 2 - f : Pluies mensuelles à Parcy-et-Tigny en fonction des pluies mensuelles à la station de Vierzy.....	232
Figure II - 1 - 2 - 1 - a : Pluies journalières en mm à Erlon de 1993 à 1995 et dates des ruissellements.....	233
Figure II - 1 - 2 - 1 - b : Pluies journalières en mm à Vierzy de 1993 à 1995 et dates des ruissellements.....	234
Figure II - 1 - 2 - 2 - a : Pluies cumulées sur dix jours en mm à Vierzy de 1993 à 1995 et dates des ruissellements.....	237
Figure II - 1 - 2 - 5 - a : Susceptibilité à ruisseller en fonction de la battance et de la rugosité avant les ruissellements des 14-15 octobre 1993 à Vierzy.....	247
Figure II - 1 - 2 - 5 - b : Susceptibilité à ruisseller en fonction de la battance et de la rugosité avant le ruissellement du 25 janvier 1995 à Vierzy.....	248

Figure II - 1 - 2 - 5 - c : Susceptibilité à ruisseller en fonction de la battance et de la rugosité avant le ruissellement du 20 décembre 1993 à Vierzy	249
Figure II - 1 - 2 - 5 - d : Susceptibilité à ruisseller en fonction de la battance et du taux de couverture végétal avant le ruissellement du 24 mai 1994 à Erlon.....	250
Figure II - 1 - 2 - 5 - e : Susceptibilité à ruisseller en fonction de la battance et de la rugosité avant le ruissellement du 20 décembre 1995 à Erlon	251
Figure II - 1 - 3 - 1 - a : Déplacements de l'eau sur des versants de pentes différentes.....	255
Figure II - 1 - 2 - 2 - c : Profils en long du talweg principal et des talwegs secondaires à Erlon (d'après les relevés topographiques de février 1994).....	258
Figure II - 1 - 2 - 2 - d : Profils en long du talweg principal et des talwegs secondaires à Vierzy (d'après les relevés topographiques de février 1994).....	258
Figure II - 2 - a : Phases caractéristiques de l'hydrogramme de ruissellement.....	261
Figure II - 2 - b : Différents types d'hydrogrammes observés sur les BVEC.....	262
Figure II - 2 - c : Différenciation des hydrogrammes de type sigmoïdale ou exponentiel.....	263
Figure II - 2 - 1 - 1 - a : Relation débits maxima et volumes à Vierzy.....	268
Figure II - 2 - 1 - 1 - b : Relation débits maxima et volumes à Erlon.....	268
Figure II - 2 - 1 - 2 - a : Corrélation averse et débits instantanés maxima à Erlon	272
Figure II - 2 - 1 - 2 - b : Corrélation averse et volumes ruisselés à Erlon.....	272
Figure II - 2 - 1 - 2 - c : Corrélation averse et débits instantanés maxima à Vierzy.....	273
Figure II - 2 - 1 - 2 - d : Corrélation averse et volumes ruisselés à Vierzy	273
Figure II - 2 - 1 - 3 - a : Susceptibilité à ruisseller en fonction des pentes et des textures de surface à Erlon et à Vierzy.....	276
Figure II - 2 - 2 - 2 - a : Corrélation entre la durée de l'averse et la durée du ruissellement à Erlon.....	283
Figure II - 2 - 2 - 2 - a : Corrélation entre la durée de l'averse et la durée du ruissellement à Vierzy.....	284
Figure II - 2 - 2 - 3 - a : Pluie et ruissellement à Erlon le 20 décembre 1993.....	288
Figure II - 2 - 2 - 3 - b : Pluie et ruissellement à Vierzy le 20 décembre 1993.....	289
Figure II - 2 - 2 - 4 - a : Routes, chemins, déviations des écoulements à Erlon à Vierzy	293
Figure II - 2 - 2 - 4 - c : Occupation du sol le 24 mai 1994 à Erlon	299
Figure II - 2 - 2 - 4 - d : Occupation du sol les 6-7 août 1995 à Erlon.....	300
Figure II - 2 - 2 - 4 - e : Occupation du sol le 8 mai 1990 et ruissellement à Erlon.....	301
Figure II - 2 - 2 - 4 - f : Occupation du sol le 6 juillet 1991 et ruissellement à Erlon.....	302
Figure II - 2 - 2 - 4 - g : Occupation du sol le 28 août 1992 et ruissellement à Erlon	303

TROISIEME PARTIE : EROSION ET DÉGRADATION

DES SOLS ET DES EAUX DE SURFACE

Modalité de transferts et exportations de matériaux solides

et solubles sur les bassins versants et propositions de gestion

Figure I - 1 - 2 - a : Courbe d'étalonnage : pourcentages mesurés de matières solides dans l'eau et densités correspondantes	314
Figure I - 2 - 1 - 1 - a : Intensités, débits instantanés et MES à Erlon le 24 mai 1994	316
Figure I - 2 - 1 - 1 - b : Intensités, débits instantanés et MES à Vierzy le 3 janvier 1994	317
Figure I - 2 - 1 - 1 - c : Intensités, débits instantanés et MES à Vierzy le 25 janvier 1995.....	318
Figure I - 2 - 1 - 1 - d : Intensités, débits instantanés et MES à Vierzy le 20 décembre 1993	320
Figure I - 2 - 1 - 1 - e : Intensités, débits instantanés et MES à Vierzy le 15 octobre 1993	321
Figure I - 2 - 1 - 1 - f : Intensités, débits instantanés et MES à Erlon le 10 novembre 1993.....	322
Figure I - 2 - 1 - 1 - g : Intensités, débits instantanés et MES à Erlon le 10 décembre 1993.....	323

Figure I - 2 - 2 - 1 - a : Corrélation débits et concentrations en MES à Vierzy pour l'ensemble des ruissellements.....	326
Figure I - 2 - 2 - 1 - b : Corrélation débits et concentrations en MES à Vierzy le 15 octobre 1993	326
Figure I - 2 - 2 - 1 - c : Corrélation débits et concentrations en MES à Vierzy le 3 janvier 1994.....	327
Figure I - 2 - 2 - 1 - d : Corrélation débits et concentrations en MES à Vierzy le 25 janvier 1995.....	327
Figure I - 2 - 2 - 1 - e : Corrélation débits et concentrations en MES à Erlon pour l'ensemble des ruissellements.....	327
Figure I - 2 - 2 - 1 - f : Corrélation débits et concentrations en MES à Erlon le 10 novembre 1993	328
Figure I - 2 - 2 - 1 - g : Corrélation débits et concentrations en MES à Erlon le 24 mai 1994	328
Figure I - 2 - 2 - 2 - a : Corrélation débits et concentrations en MES à Vierzy le 20 décembre 1993.....	330
Figure I - 2 - 2 - 2 - b : Corrélation débits et concentrations en MES à Erlon les 6-7 août 1995	330
Figure I - 2 - 2 - 2 - c : Corrélation débits et concentrations en MES à Erlon le 17 décembre 1993	331
Figure I - 2 - 2 - 3 - a : Corrélation débits et concentrations en MES décalée à Vierzy le 20 décembre 1993	333
Figure I - 2 - 2 - 3 - b : Corrélation débits et concentrations décalée en MES à Erlon les 6-7 août 1995	333
Figure I - 3 - 1 - a : Localisation des traces d'érosion et de dépôts sur les BVEC d'Erlon et de Vierzy	337
Figure I - 3 - 2 - a : Evolution des débits et des concentrations en MES à Erlon les 6-7 août 1995	341
Figure I - 3 - 3 - 2 - a : Localisation des prélèvements sur fond de carte des textures de surface à Erlon.....	346
Figure I - 3 - 3 - 2 - b : Localisation des prélèvements sur fond de carte des textures de surface à Vierzy	346
Figure I - 3 - 4 - 1 - a : Découpage théorique du bassin versant (d'après LUDWIG, 1989).....	349
Figure I - 3 - 4 - 1 - b : Courbes théoriques des surfaces d'alimentation (en %) et des angles d'ouverture des vallons (en °).....	350
Figure I - 3 - 4 - 1 - c : Détermination des surfaces d'alimentation et des angles d'ouverture des vallons sur le bassin de Vierzy	351
Figure I - 3 - 4 - 1 - d : Détermination des surfaces d'alimentation et des angles d'ouverture des vallons sur le bassin d'Erlon.....	351
Figure I - 3 - 4 - 1 - e : Courbes des surfaces cumulées et des angles d'ouvertures à Vierzy	352
Figure I - 3 - 4 - 1 - f : Courbes des surfaces cumulées et des angles d'ouvertures à Erlon	352
Figure I - 3 - 4 - 1 - g : Découpages en SUM du bassin versant de Vierzy.....	353
Figure I - 3 - 4 - 1 - h : Découpages en SUM du bassin versant d'Erlon.....	353
Figure I - 4 - 2 - 1 - a : Pertes en MO, une évolution sensiblement identique à celle en MES	361
Figure II - 1 - 4 - a : Occupation du sol et traitements phytosanitaires pour le 24 mai 1994 à Erlon	378
Figure II - 1 - 4 - b : Occupation du sol et traitements phytosanitaires pour les 7-8 août 1995 à Erlon.....	380
Figure II - 1 - 4 - c : Occupation du sol et traitements phytosanitaires pour le 11 juillet 1995 à Vierzy	382
Figure II - 2 - 1 - 1 - a : Diminution des concentrations en MES et en phosphore fixé parallèlement à la baisse du débit pour un ruissellement court, le 24 mai 1994 à Erlon.....	384
Figure II - 2 - 1 - 1 - b : Diminution des concentrations en MES et en phosphore fixé parallèlement à la baisse du débit pour un ruissellement court, le 25 janvier 1995 à Vierzy.....	384
Figure II - 2 - 1 - 1 - c : Augmentation des proportions en phosphore fixé sur les MES parallèlement à la baisse du débit pour un ruissellement court, le 24 mai 1994 à Erlon.....	385
Figure II - 2 - 1 - 1 - d : Diminution des proportions en phosphore fixé sur les MES parallèlement à la baisse du débit pour un ruissellement court, le 25 janvier 1995 à Vierzy.....	385
Figure II - 2 - 1 - 1 - e : Diminution des concentrations en MES et en azote fixé parallèlement à la baisse du débit pour un ruissellement court, le 24 mai 1994 à Erlon	385
Figure II - 2 - 1 - 1 - f : Augmentation des proportions en azote fixé sur les MES parallèlement à la baisse du débit pour un ruissellement court, le 24 mai 1994 à Erlon	385
Figure II - 2 - 1 - 2 - a : Augmentation de la conductivité parallèlement à la baisse du débit pour un ruissellement court, le 24 mai 1994 à Erlon.....	387
Figure II - 2 - 1 - 2 - b : Diminution de la conductivité parallèlement à la baisse du débit pour un ruissellement court, le 25 janvier 1995 à Vierzy	387
Figure II - 2 - 1 - 2 - c : Augmentation des chlorures et des nitrates parallèlement à la baisse du débit pour un ruissellement court, le 24 mai 1994 à Erlon	387

Figure II - 2 - 2 - 1 - d : Diminution des chlorures et des nitrates parallèlement à la baisse du débit pour un ruissellement court, le 25 janvier 1995 à Vierzy.....	387
Figure II - 2 - 2 - 1 - e : Evolution de l'ammonium et des ortho-phosphates pour un ruissellement court, le 24 mai 1994 à Erlon.....	388
Figure II - 2 - 2 - 1 - f : Evolution de l'ammonium et des ortho-phosphates pour un ruissellement court, le 25 janvier 1995 à Vierzy.....	388
Figure II - 2 - 2 - 1 - a : MES et Pfixé les 6-7 août 1995 à Erlon.....	390
Figure II - 2 - 2 - 1 - b : MES et MO les 6-7 août 1995 à Erlon.....	390
Figure II - 2 - 2 - 1 - c : Rapports Pfixé/MES et MO/MES à Erlon.....	390
Figure II - 2 - 2 - 1 - d : MES et Pfixé le 24 mai 1994 à Erlon.....	391
Figure II - 2 - 2 - 1 - e : MES et Pfixé le 25 janvier 1995 à Vierzy.....	391
Figure II - 2 - 2 - 1 - f : MES et Pfixé les 6-7 août 1995 à Erlon.....	391
Figure II - 2 - 2 - 1 - g : Pfixé/MES et diamètre médian des échantillons les 6-7 août 1995 à Erlon.....	392
Figure II - 2 - 2 - 1 - h : MO/MES et diamètre médian des échantillons les 6-7 août 1995 à Erlon.....	392
Figure II - 2 - 2 - 1 - i : Diamètres médians des échantillons et Qi les 6-7 août 1995 à Erlon.....	392
Figure II - 2 - 2 - 1 - j : Diamètres médians des échantillons et Qi les 6-7 août 1995 à Erlon.....	392
Figure II - 2 - 2 - 2 - a : Conductivité, chlorures et nitrates, les 6-7 août 1995 à Erlon.....	394
Figure II - 2 - 2 - 2 - b : Ortho-phosphates, ammonium et nitrates, les 6-7 août 1995 à Erlon.....	395
Figure II - 2 - 2 - 2 - c : Rapport nitrates/ammonium, les 6-7 août 1995 à Erlon.....	395
Figure II - 4 - 1 - 1 - a : Mouvements des nitrates dans les sols (LHERMINIER, 1991).....	399
Figure II - 4 - 1 - 2 - b : Profils d'azote aux trois dates de prélèvement (19 septembre 1993, 8 décembre 1993 et 11 mars 1994) à Vierzy.....	401
Figure II - 4 - 1 - 2 - a : Profils d'azote aux trois dates de prélèvement (18 septembre 1993, 9 décembre 1993 et 11 mars 1993) à Erlon.....	402
Figure II - 4 - 1 - 3 - a : Evolution des teneurs en nitrates au cours du ruissellement du 10 novembre 1993 à Erlon (ANGELIAUME et al, 1994).....	406
Figure II - 4 - 1 - 3 - b : Evolution de teneurs en nitrate au cours du ruissellement du 15 octobre 1993 à Vierzy (ANGELIAUME et al, 1994).....	407
Figure II - 4 - 2 - a : Dispositif expérimental de récupération des écoulements subsuperficiels.....	408
Figure II - 4 - 2 - b : Dilutions des concentrations dans les eaux de subsurface au cours de l'hiver à Erlon.....	411
Figure II - 4 - 2 - c : Dilutions des concentrations dans les eaux de subsurface au cours de l'hiver à Vierzy.....	412
Figure II - 6 - a : Concentrations maximales dans les trois principaux ruissellements (extrait du poster présenté en septembre 1996 à Munich au SCEEC).....	414
Figure II - 6 - b : Proportions fixées/solubles (extrait du poster présenté en septembre 1996 à Munich au SCEEC).....	414
Figure II - 6 - c : Flux au cours des trois principaux ruissellements (extrait du poster présenté en septembre 1996 à Munich au SCEEC).....	416
Figure II - 6 - d : Bilan des entrées agricoles et des sorties par ruissellement/érosion (extrait du poster présenté en septembre 1996 à Munich au SCEEC).....	416
Figure III - 1 - 1 - 2 - a : Comparaison des hydrogrammes du BVEC et de la Serre (ANGELIAUME, WICHEREK, 1995).....	423
Figure III - 1 - 1 - 2 - b : Comparaison des pluies décennales de la période 1960-1990 et de décembre 1993.....	425
Figure III - 1 - 1 - 2 - c : Comparaison des pluies décennales de la période 1960-1990 et de décembre 1994.....	425
Figure III - 1 - 2 - 1 - a : Limites des BVEC, talwegs, trajets des coulées boueuses à Erlon (DAMAY, SOLAU, 1992).....	430
Figure III - 1 - 2 - 1 - b : Parcellaire et proposition de localisation d'aménagements.....	433
Figure III - 2 - 1 - a : Synthèse des risques de ruissellement, d'érosion et de pollution des eaux en fonction des caractéristiques géomorphopédologiques et agraires des BVEC.....	437
Figure III - 2 - 2 - a : Synthèse des risques pour un cours d'eau en fonction du type de coulée et de la vulnérabilité du cours d'eau.....	441
Figure III - 2 - 2 - b : Synthèse des risques pour une commune en fonction du type de coulée et de la vulnérabilité de la commune	

* * *

TABLE DES PHOTOGRAPHIES

* * *

PREMIERE PARTIE : THEME ET ESPACE D'ÉTUDE

Activités agricoles, diversités des paysages et risques d'érosion dans le nord du Bassin Parisien

Photo I - 1 - 2 - 3 - a : La culture du lin à Vierzy (A. Angélieume, juin 1994).....	30
Photo I - 1 - 3 - 1 - a : Les expérimentations sur parcelles en conditions réelles : une coopération entre les chambres d'agriculture, les instituts techniques et les coopératives agricoles (A. Angélieume, mai 1994).....	30
Photo I - 2 - 1 - 8 - a : Rigoles en chevelu après récolte de pommes de terre à Erlon (A. Angélieume, octobre 1993).....	60
Photo I - 2 - 1 - 12 - a : Exemples de dégâts aux cultures : recouvrement de jeunes plants et déracinement.....	70
Photo I - 2 - 1 - 12 - b : L'église de Soucy envahie par 60 cm de boue, un nouvel orage est redouté (A. Angélieume, juin 1994).....	72
Photo I - 2 - 1 - 12 - c : Augmentation de la turbidité dans un ruisseau après l'orage (A. Angélieume, Soucy, juin 1994).....	72
Photo I - 2 - 2 - 2 - a : L'érosion hivernale, une érosion annuelle, en général de faible ampleur (petite rigole, sur la D1 au sud de Soissons, A. Angélieume, janvier 1994).....	76
Photo I - 2 - 2 - 2 - b : L'érosion hivernale, une érosion toutefois non-négligeable (début de la ravine, BVEC de Vierzy, A. Angélieume, janvier 1994).....	76
Photo II - 1 - 1 - 3 - a : Le plateau du Soissonnais (Vierzy, A. Angélieume, 1993).....	108
Photo II - 1 - 1 - 3 - b : Les collines du Laonnois (Erlon, A. Angélieume, 1993).....	108

DEUXIEME PARTIE : BASSINS VERSANTS ET RUISSELLEMENTS

Deux sites d'étude : présentation, conditions de formation et formes des écoulements

Photo I - 1 - 1 - 3 - a : La coulée de boue dans le village de Vierzy le 8 mai 1968 : environ 40 cm d'un flot en furie dans toutes les rues (habitant de Vierzy, mai 1968).....	170
Photo I - 1 - 2 - 1 - a : Ravine à Erlon, après l'orage des 6-7 août 1995 (A. Angélieume, août 1995).....	170
Photo I - 1 - 2 - 1 - b : Le BVEC d'Erlon et les "ronds de craie" sur les versants exposés à l'Ouest sur le bassin versant d'Erlon (A. Angélieume, décembre 1994).....	182
Photo I - 1 - 2 - 1 - c : Le sarclage des betteraves (A. Angélieume, mai 1994).....	182
Photo I - 1 - 2 - 2 - a : La station expérimentale à Vierzy (Angélieume, janvier 1995).....	194
Photo I - 1 - 2 - 2 - b : Canadien Konkskil, outil à dent, H. Moquet (A. Angélieume, juin 1994).....	194
Photo II - 2 - 2 - 4 - a : Saturation en eau au tiers amont du bassin versant de Vierzy (A. Angélieume, janvier 1994).....	294
Photo II - 2 - 2 - 4 - b : La route collecteur, observation du début de ruissellement le 25 janvier 1995 (A. Angélieume, janvier 1995).....	294

TROISIEME PARTIE : EROSION ET DÉGRADATION

DES SOLS ET DES EAUX DE SURFACE

Modalité de transferts et exportations de matériaux solides

et solubles sur les bassins versants et propositions de gestion

Photo III - 1 - 1 - 2 - a : Crue de La Serre à Marle près d'Erlon : la ville et la sucrerie envahies par les eaux le 21 décembre 1993 (in WICHEREK, 1995).....	426
--	-----

TABLES

* * *

TABLE DES MATIERES

* * *

AVANT-PROPOS.....	2
SOMMAIRE.....	6
INTRODUCTION.....	10

PREMIERE PARTIE : THEME ET ESPACE D'ÉTUDE

Activités agricoles, diversités des paysages et risques d'érosion

dans le nord du Bassin Parisien

I - DES ACTIVITÉS AGRICOLES AUX PROBLÈMES D'ÉROSION ET DE POLLUTION DIFFUSE.....	19
I - 1 - Une région fortement agricole.....	19
I - 1 - 1 - Une région de grande culture dominante	19
I - 1 - 2 - Le règne du blé et de la betterave.....	21
I - 1 - 2 - 1 - Le blé.....	21
I - 1 - 2 - 2 - La betterave sucrière	22
I - 1 - 2 - 3 - La pomme de terre et les légumes.....	24
I - 1 - 3 - Une agriculture encadrée par des "coopératives mastodontes" et des "organismes tentaculaires".....	28
I - 1 - 3 - 1 - Des coopératives agricoles nombreuses et polyvalentes	28
I - 1 - 3 - 2 - Les chambres d'agriculture départementale et régionale, du conseil agronomique à l'utilisation du SIG.....	28
I - 1 - 3 - 3 - La station agronomique, largement sollicitée	28
I - 1 - 3 - 4 - Les instituts techniques, très présents	29
I - 1 - 4 - Une agriculture qui se donne les moyens de réussir.....	29
I - 1 - 4 - 1 - Un Conseil Régional qui s'investit pour l'agriculture : quelques exemples.....	29
* Le "FRAC"	29
* Les bio-carburants, un atout de la Picardie	29
I - 1 - 4 - 2 - On ne "lésine" pas sur les moyens	32
I - 1 - 4 - 3 - Des amendements agricoles locaux variés	33
I - 1 - 4 - 4 - Une technologie de pointe au service des cultures	34
* L'ajustement de la fertilisation, l'exemple de "Jubil"	34
* Le dépistage de maladies ou de parasites, le "test Eliza" et les autres	35
* La diffusion de l'information et la mise en application par les agriculteurs.....	35
I - 1 - 4 - 5 - Les CETAS, une structure très développée localement.....	36
I - 1 - 4 - 6 - Un nouvel outil pour cette armature d'ensemble : le Minitel	36
I - 1 - 4 - 7 - Le parc agricole.....	37
* Un parc important de machines agricoles, un outillage complet et performant.....	37
* Le développement des CUMA et une forte présence des entreprises de coopération agricole	38

I - 1 - 5 - Une évolution "récente" des activités agricoles	39
I - 1 - 5 - 1 - Le XXème siècle : un siècle de changements vers une agriculture "à orientation commerciale" et de "capitalisme agraire" (FIETTE, 1995).....	39
I - 1 - 5 - 2 - Une consommation d'engrais et de produits phytosanitaires croissante : la garantie d'une production régulière et de qualité	40
I - 1 - 6 - Le bilan actuel de la situation agricole picarde	46
I - 1 - 6 - 1 - Un milieu en crise ?.....	46
I - 1 - 6 - 2 - Environnement et agriculture : une cohabitation difficile ?.....	46
I - 1 - 6 - 3 - Deux points appellent donc à une attention toute particulière : la dégradation des sols et la pollution des eaux de surface.....	48
I - 2 - Les sols - victimes du phénomène d'érosion.....	48
I - 2 - 1 - L'érosion hydrique des sols : bilan des connaissances disponibles	48
I - 2 - 1 - 1 - Les premières études de l'érosion : sous forte pluie.....	49
I - 2 - 1 - 2 - L'érosion dans le nord du Bassin Parisien : un phénomène ancien et une aggravation récente	49
I - 2 - 1 - 3 - Les processus élémentaires de l'érosion hydrique	50
* l'érosion "directe".....	50
* l'érosion consécutive au ruissellement.....	50
I - 2 - 1 - 4 - Deux situations particulièrement fréquentes de formation du ruissellement à évoquer.....	50
* La saturation en eau de l'horizon de surface	50
* La battance	50
I - 2 - 1 - 5 - L'érosion hydrique dépend essentiellement de trois facteurs naturels.....	52
* L'intensité, la durée, la fréquence et la date des précipitations	52
* La forme, la longueur et l'inclinaison des versants.....	52
* La structure et la texture des sols : stabilité et capacité d'infiltration.....	53
I - 2 - 1 - 6 - Le vent, facteur érosif et facteur aggravant de l'érosion hydrique	56
I - 2 - 1 - 7 - Le facteur anthropique.....	56
* La présence d'un couvert végétal	57
* Les caractéristiques du système agraire.....	57
I - 2 - 1 - 8 - Les formes de l'érosion	59
* L'érosion diffuse.....	59
* L'érosion en rigole-interrigole.....	59
* L'érosion par ruissellement concentré.....	60
I - 2 - 1 - 9 - Les domaines fonctionnels d'un bassin versant	64
* Des paramètres favorisant la formation du ruissellement au niveau de l'impluvium.....	65
* Des paramètres liés à la sensibilité des sols à l'arrachement par l'eau dans de la zone de concentration (BOIFFIN et al, 1986).....	65
I - 2 - 1 - 10 - Le ruissellement concentré en hiver	65
I - 2 - 1 - 11 - Les ruissellements diffus, en rigole et en interrigole : le printemps et l'été.....	66
I - 2 - 1 - 12 - Conséquences et nuisances.....	66
* Morphologiques et pédologiques	66
* Economiques	67
* Environnementales.....	68
I - 2 - 2 - L'érosion hydrique des sols cultivés : étude de la situation en Picardie.....	74
I - 2 - 2 - 1 - Quelques situations d'après enquêtes	74
I - 2 - 2 - 2 - Les fortes pluies hivernales : une érosion chronique et une forte contribution aux crues.....	75
I - 2 - 2 - 3 - Une situation extrême : les orages.....	78
I - 2 - 2 - 4 - Des localisations géographiques privilégiées ?	79
I - 2 - 2 - 5 - Une aggravation de la situation érosive ou une évolution de la perception ?	80
* Une évolution des perceptions.....	82
* Un réel constat d'aggravation.....	82
I - 2 - 2 - 6 - Les sols, considérés comme support de culture ?.....	83

I - 2 - 2 - 7 - Une compensation des pertes de sol par des apports accrus d'amendement.....	84
I - 2 - 2 - 8 - Une "usure" plus rapide que la reconstitution ?	84
I - 2 - 2 - 9 - Deux patrimoines fragiles : les sols et les eaux.....	86
I - 3 - Les eaux souterraines et les eaux de surface : les atteintes d'origine agricole.....	86
I - 3 - 1 - Le sol "boîte noire"	87
I - 3 - 2 - Les eaux "réceptacle".....	88
I - 3 - 2 - 1 - Evolution globale : un constat de détérioration.....	88
* Les eaux de surface.....	88
* Les nappes phréatiques.....	90
I - 3 - 2 - 2 - Les processus et les conséquences des pollutions par des fertilisants et des produits phytosanitaires.....	92
* L'azote : un cycle avec des formes très solubles.....	92
* Le phosphore : essentiellement fixé	94
* Les produits phytosanitaires : une multitude de comportements et de risques.	96
I - 3 - 2 - 3 - Les pratiques agricoles mises en cause : des traitements excessifs et des pratiques en évolution	96
I - 4 - Concilier la protection des ressources naturelles et une agriculture durable et respectueuse de l'environnement en terre de grande culture : mythes ou réalités.....	98
I - 4 - 1 - La conservation des sols et des eaux : un double objectif vers la qualité.....	98
I - 4 - 2 - La notion de développement durable.....	98
I - 4 - 3 - Les initiatives ministérielles et européennes	99
I - 4 - 4 - Les nombreuses études actuellement menées sur ces thèmes	99
I - 5 - Conclusion.....	100
II - RELIEFS VARIÉS ET PAYSAGES AGRAIRES DIFFÉRENTS : UNE INÉGALITÉ DES RISQUES ?.....	102
II - 1 - Un contraste physique	102
II - 1 - 1 - Des plateaux calcaires à la plaine de la craie.....	102
II - 1 - 1 - 1 - Rappels géologiques : l'opposition entre la Picardie crétacée et l'île de France tertiaire	102
1 * La craie marneuse, au nord du département.....	103
2 * La craie du Sénonien.....	105
3 * Le calcaire du Lutétien, au centre.....	105
II - 1 - 1 - 2 - La variété des reliefs et des paysages.....	105
1 * La Thiérache, au Nord.....	105
2 * Une zone de transition : le Marlois	106
3 * Le Saint-Quentinois.....	106
4 * La plaine du Laonnois et les buttes témoins	106
5 * Les plateaux : le Soissonnais, le Valois, le Tardenois et la Brie	107
II - 1 - 1 - 3 - Des variations topographiques et géologiques qui induisent des nuances climatiques (et de sols)	110
1 * Les influences générales.....	110
2 * Les caractéristiques saisonnières (les orages estivaux).....	113
3 * Les "provinces climatiques" (BRUNET, 1960) : les plateaux, les vallées, les plaines	119
4 * Des répercussions sur les possibilités culturelles ?.....	119
II - 1 - 1 - 4 - (Des variations topographiques et géologiques qui induisent des nuances climatiques) et des sols contrastés.....	119
1 * Les sols limoneux.....	119
2 * Les autres sols.....	120
3 * Les conséquences sur les possibilités culturelles.....	120
4 * Les petites régions naturelles vues d'après les sols.....	121
II - 1 - 2 - La variété des régions naturelles.....	121

II - 2 - Des paysages agraires variés	124
II - 2 - 1 - Des différences régionales marquées.....	124
II - 2 - 1 - 1 - La variété des régions agricoles de l'Aisne.....	124
* Les régions à forte production agro-industrielle (betteraves, pommes de terre, pois)	126
* Les petites productions (en surface), la vigne et les vergers.....	126
* La Thiérache, une région en grande partie vouée à l'élevage.....	126
II - 2 - 1 - 2 - Les causes.....	131
II - 2 - 1 - 3 - Un déséquilibre paysager et économique	131
II - 2 - 2 - L'omniprésence de la grande culture dans le Laonnois et le Soissonnais.....	131
II - 2 - 2 - 1 - Openfield à vastes champs-blocs d'une part et openfield-mosaïque de l'autre	131
II - 2 - 2 - 2 - Une structure agraire originale héritée du passé.....	131
* Un défrichement essentiellement médiéval dans le Laonnois.....	132
* Une reprise des défrichements au XVIème siècle.....	133
II - 2 - 2 - 3 - Les étapes de la formation de la grande exploitation agricole.....	134
* Les étapes anciennes : les grandes villae gallo-romaines	134
* Les domaines ecclésiastiques : les granges des Prémontrés et des Cisterciens.....	134
* La Révolution.....	134
II - 2 - 2 - 4 - L'évolution du parcellaire.....	134
* Quelques vastes parcelles héritées des grandes fermes.....	135
* Les remembrements officiels : des effets localement très marqués.....	135
* Le remembrement officiel et de fait : exemple d'Erlon (Laonnois).....	137
* Le remembrement de fait : exemple de Vierzy (Soissonnais).....	138
II - 2 - 2 - 5 - L'originalité des structures foncières : exemple des propriétés des hospices	143
II - 3 - La variété des pratiques culturelles.....	144
II - 3 - 1 - L'héritage agricole	144
II - 3 - 1 - 1 - De l'époque médiévale au XXème siècle.....	144
II - 3 - 1 - 2 - Le XXème siècle : les progrès techniques.....	146
II - 3 - 1 - 3 - L'évolution des rotations, vers une simplification des assolements.....	147
II - 3 - 1 - 4 - Une forte progression des rendements	147
II - 3 - 2 - La variété des assolements	148
II - 3 - 2 - 1 - Quelques exemples	148
II - 3 - 2 - 2 - "Jachéculture" ou parcelles désavouées.....	149
* La jachère, une origine bien différente de son utilisation actuelle.....	149
* La jachère, aujourd'hui "culture" imposée	149
II - 3 - 3 - La fertilisation, la fumure de fond et les traitements phytosanitaires, à chacun sa recette.....	151
II - 3 - 3 - 1 - Quelle semence choisir ?.....	151
II - 3 - 3 - 2 - Traiter ou ne pas traiter les semences.....	152
II - 3 - 3 - 3 - La fertilisation et les traitements.....	152
II - 3 - 3 - 4 - La prévention ou l'observation-décision : des arguments économiques.....	154
II - 3 - 3 - 5 - Tests ou pas de tests.....	155
II - 3 - 3 - 6 - Analyses de sols ou pas analyses.....	156
II - 3 - 3 - 7 - Réduction du travail du sol, cultures intermédiaire. etc.....	156
II - 3 - 3 - 8 - La fumure de fond minérale.....	156
II - 3 - 3 - 9 - La fumure de fond : utilisation des produits et des déchets organiques en agriculture.....	157
II - 3 - 4 - Agriculteurs traditionnalistes ou innovateurs ?.....	158
II - 3 - 4 - 1 - Un fort attachement aux racines	158
II - 3 - 4 - 2 - Un contact permanent avec le progrès technique.....	158
II - 3 - 4 - 3 - Le rôle de la PAC et de l'environnement dans le choix des traitements	159

II - 4 - Egalité des risques vis à vis de l'érosion ?.....	159
II - 4 - 1 - Des pentes et des sols contrastés	159
II - 4 - 2 - Une grande culture aux structures comparables.....	160
II - 4 - 3 - La grande stabilité du plateau et une évolution plus tardive des collines et des vallées	160
II - 5 - Conclusion	160

DEUXIEME PARTIE : BASSINS VERSANTS ET RUISSELLEMENTS

**Deux sites d'étude : présentation, conditions de formation
et formes des écoulements**

I - SITES ET PROGRAMME D'ÉTUDE.....	163
I - 1 - Choix et présentation des sites	163
I - 1 - 1 - Choix des sites.....	163
I - 1 - 1 - 1 - Un choix géographique en fonction du relief, de la pédologie et de la localisation de l'habitat et des cultures	163
I - 1 - 1 - 2 - Un choix lié aux caractéristiques agraires.....	166
I - 1 - 1 - 3 - Un choix lié aux antécédents "catastrophiques".....	166
I - 1 - 2 - Présentation des sites.....	172
I - 1 - 2 - 1 - Le petit bassin versant de "l'Arbre Robert" à Erlon.....	172
1 * Situation géologique et hydrogéologique.....	173
2 * Les sols.....	174
3 * Les pentes.....	175
4 * Les exploitations agricoles et l'occupation du sol	175
5 * Quelques aspects des pratiques agricoles.....	179
6 * La perception des phénomènes d'érosion.....	186
I - 1 - 2 - 2 - Le bassin versant du "Grand Fossé" à Vierzy	186
1 * Situation géologique et hydrogéologique.....	186
2 * Les sols.....	187
3 * Les pentes.....	188
4 * Les exploitations agricoles et l'occupation du sol	189
5 * Quelques aspects des pratiques agricoles.....	189
6 * La perception des phénomènes d'érosion.....	198
I - 2 - L'échelle du bassin versant élémentaire.....	198
I - 2 - 1 - Définition	198
I - 2 - 2 - Intérêts.....	198
I - 2 - 3 - Identification d'un bassin versant élémentaire.....	199
I - 3 - Suivi et équipement à l'exutoire des BVEC.....	200
I - 3 - 1 - Un suivi global.....	200
I - 3 - 1 - 1 - L'eau et la terre : les risques climatiques et la vulnérabilité des sols	200
I - 3 - 1 - 2 - La terre et l'eau : les risques d'érosion des sols cultivés et de dégradation des eaux	200
I - 3 - 1 - 3 - L'homme et la terre : les risques liés aux conditions d'exploitation du sol	200
I - 3 - 2 - Les mesures de débits	202
I - 3 - 2 - 1 - L'équipement des stations	205
I - 3 - 2 - 2 - La correction des "effets pluviomètres"	205
I - 3 - 3 - L'échantillonnage des eaux de ruissellement	206
I - 3 - 3 - 1 - L'échantillonneur : les MES, les MO, les formes de N et P (solubles et fixés).....	206
I - 3 - 3 - 2 - Le prélèvement manuel pour les produits phytosanitaires	206

I - 3 - 3 - 3 - Préparation des échantillons pour analyses.....	206
I - 3 - 3 - 4 - Détermination de la charge solide et de la teneur en matières organiques.....	206
I - 4 - Méthodologie de sélection des substances en vue du suivi analytique à l'échelle du bassin versant.....	210
I - 4 - 1 - L'enquête auprès des exploitations agricoles.....	210
I - 4 - 2 - Les matières fertilisantes.....	210
I - 4 - 2 - 1 - Amendements.....	210
* La fumure de fond organique.....	210
* La fumure de fond minérale.....	213
I - 4 - 2 - 2 - Fertilisants "printaniers".....	214
I - 4 - 3 - Le cas plus délicat des produits phytosanitaires.....	215
I - 5 - Suivi des parcelles.....	216
I - 5 - 1 - Occupation du sol.....	217
I - 5 - 2 - Etats de surface des parcelles : rugosité et battance.....	217
I - 5 - 3 - Végétation : stade de développement et taux de couverture.....	218
I - 5 - 4 - Traces de roue et d'érosion.....	219
I - 5 - 5 - Combinaison des facteurs.....	219
II - TROIS ANNÉES DE MESURE : DU RUISSELLEMENT, QUAND, COMMENT, POURQUOI ?.....	222
II - 1 - Fréquence des ruissellements et facteurs déclenchants.....	222
II - 1 - 1 - Des ruissellements plus fréquents à Erlon qu'à Vierzy.....	222
II - 1 - 1 - 1 - Répartition saisonnière des ruissellements.....	222
II - 1 - 1 - 2 - Hétérogénéité spatio-temporelle des pluies entre Erlon et Vierzy.....	223
* Comparaison des pluies à Erlon et à Vierzy.....	224
* Comparaison des pluies à Parcy-et-Tigny et à Pouilly-sur-Serre.....	226
* Comparaison des pluies à la station d'Erlon et au château d'eau d'Erlon.....	228
* Comparaison des pluies à la station de Vierzy et à Paroy-et-Tigny.....	231
II - 1 - 2 - Des seuils de pluie nécessaires au déclenchement du ruissellement.....	232
II - 1 - 2 - 1 - Une lame d'eau journalière supérieure pour le ruissellement, Vierzy.....	232
II - 1 - 2 - 2 - Un cumul des pluies antérieures indispensable ou une forte lame d'eau, Vierzy.....	236
II - 1 - 2 - 3 - Continuité et intensité des pluies.....	239
II - 1 - 2 - 4 - Influence du gel et de la neige.....	240
II - 1 - 2 - 5 - Modulation des seuils en fonction de l'occupation et de l'état de surface du sol.....	244
* Quelques exemples à Vierzy.....	244
* Quelques exemples à Erlon.....	245
II - 1 - 3 - Une différence qui peut aussi s'expliquer par les superficies et les pentes des BVEC.....	254
II - 1 - 3 - 1 - Une grande différence de forme et de superficie.....	254
II - 1 - 3 - 2 - Des pentes très contrastées.....	256
II - 2 - Amplitude et forme des ruissellements.....	260
II - 2 - 1 - Ordre de grandeur varié des ruissellements et des coefficients de ruissellement.....	264
II - 2 - 1 - 1 - Ordre de grandeur et fréquence des ruissellements.....	264
II - 2 - 1 - 2 - Les coefficients de ruissellement.....	269
II - 2 - 1 - 3 - Caractéristiques pédologiques voisines mais nuancées.....	274
II - 2 - 1 - 4 - Influence des pratiques agraires sur le volume du ruissellement.....	275

II - 2 - 2 - Formes du ruissellement : les hydrogrammes	277
II - 2 - 2 - 1 - Classification des hydrogrammes.....	277
II - 2 - 2 - 2 - Description des réponses aux pluies	279
* Temps de réponse et temps de concentration.....	279
* Lames d'eau d'imbibition, durée des averses et des ruissellements.....	281
* Durée des phases de régime permanent et de vidange	284
II - 2 - 2 - 3 - Rôle des caractéristiques géomorphologiques : comparaison des ruissellements des 20-21 décembre 1993 à Erlon et à Vierzy.....	286
II - 2 - 2 - 4 - Le système agraire : un élément de déconnexion des flux d'eau	291
* Les éléments de déconnexion géomorphologiques et anthropiques.....	291
* Le travail du sol : un élément de déconnexion.....	297
II - 3 - Conclusion	304

TROISIEME PARTIE : EROSION ET DÉGRADATION

DES SOLS ET DES EAUX DE SURFACE

Modalité de transferts et exportations de matériaux solides

et solubles sur les bassins versants et propositions de gestion

I - LE RUISSELLEMENT ET L'ÉROSION, DES PERTES SOLIDES VARIABLES	310
I - 1 - MES dans les eaux de ruissellement.....	310
I - 1 - 1 - Ordre de grandeur des concentrations en MES.....	310
I - 1 - 2 - "Crue liquide" ou "crue boueuse" : vers une typologie basée sur la charge en MES.....	312
I - 2 - Variations temporelles des concentrations en MES : les turbidigrammes	315
I - 2 - 1 - Comportement de la charge en MES.....	315
I - 2 - 1 - 1 - Evolution des concentrations	315
* les ruissellements courts.....	315
* Les ruissellements longs et de période hivernale	315
* Les ruissellements de printemps et d'été.....	319
I - 2 - 1 - 2 - Les reprises de dépôts.....	324
I - 2 - 2 - Relation avec les débits et l'intensité des pluies	324
I - 2 - 2 - 1 - Relation MES et Qi pour les ruissellements courts	324
I - 2 - 2 - 2 - Une relation MES et Qi qui varie pendant le ruissellement.....	329
I - 2 - 2 - 3 - Vitesses de déplacement des MES	331
I - 2 - 2 - 4 - L'influence des intensités pluviales.....	334
I - 3 - Origine des MES : versants ou talwegs	335
I - 3 - 1 - Description du système érosif d'Erlon et de Vierzy.....	335
I - 3 - 2 - Comparaison des flux et du volume des rigoles.....	338
I - 3 - 3 - Déplacements sur les versants : des quantités considérables.....	342
I - 3 - 4 - Surfaces d'alimentation en eau et surfaces d'érosion	348
I - 3 - 4 - 1 - Le découpage des BVEC.....	348
I - 3 - 4 - 2 - Répartition des textures de surface dans les SUM.....	354
I - 3 - 4 - 3 - SUM et occupation du sol.....	356

I - 4 - Sorties du bassin : les flux solides annuels.....	358
I - 4 - 1 - Un bilan sur trois ans.....	358
I - 4 - 2 - Nature des MES : des pertes en matières organiques et en éléments très fins	359
I - 4 - 2 - 1 - Les matières organiques.....	359
10-Nov-93 à Erlon.....	360
I - 4 - 2 - 2 - Les éléments fins.....	362
I - 4 - 3 - Conséquences des pertes solides.....	363
I - 4 - 3 - 1 - A terme une baisse de la fertilité ?	363
I - 4 - 3 - 2 - Un amincissement de la couche de terre arable.....	363
I - 5 - Conclusion.....	364
II - LE RUISSELLEMENT ET L'ÉROSION, UNE MENACE POUR LA QUALITÉ DES EAUX DE SURFACE	368
II - 1 - Nature et concentrations des polluants dans les eaux de ruissellement.....	368
II - 1 - 1 - Nature des polluants recherchés, rappels.....	368
II - 1 - 2 - Apports négligeables en N et P des eaux de pluie.....	369
II - 1 - 3 - Ordre de grandeur des concentrations.....	371
II - 1 - 3 - 1 - MES et transport fixé	374
II - 1 - 3 - 2 - Une différence saisonnière pour les formes solubles.....	375
II - 1 - 4 - Les produits phytosanitaires.....	377
II - 1 - 4 - 1 - Des concentrations très élevées au printemps.....	377
II - 1 - 4 - 2 - Un transport essentiellement sous forme fixée.....	379
II - 1 - 4 - 3 - L'origine des polluants	381
II - 2 - Variations temporelles des concentrations en polluants : les chimiogrammes	384
II - 2 - 1 - Les ruissellements courts : des évolutions simples	384
II - 2 - 1 - 1 - Une évolution parallèle des MES et du phosphore fixé.....	384
II - 2 - 1 - 2 - Une minéralisation assez élevée et indépendante des débits	386
II - 2 - 2 - Un ruissellement complexe : les 06-07 août 1995 à Erlon	389
II - 2 - 2 - 1 - Relation entre les pertes en MES, MO et phosphore particulière	389
II - 2 - 2 - 2 - Un appauvrissement en nitrates mais pas en ammonium et en ortho-phosphates au cours du ruissellement	393
II - 3 - Flux à l'exutoire et conséquences.....	396
II - 3 - 1 - Les sorties : des pertes spécifiques faibles.....	396
II - 3 - 2 - Entrées agricoles et sorties par ruissellement/érosion : une faible proportion.....	397
II - 4 - Pertes solubles par percolation.....	398
II - 4 - 1 - Perte d'azote par lessivage : exemple de l'hiver 1993	398
II - 4 - 1 - 1 - Une méthode d'évaluation simplifiée	398
II - 4 - 1 - 2 - Estimation du lessivage.....	400
II - 4 - 1 - 3 - Comparaison des concentrations et des sorties en azote par lessivage et par ruissellement.....	404
II - 4 - 2 - Les écoulements subsuperficiels	408
II - 6 - Conclusion	413

III - QUELLES MESURES POUR UNE AGRICULTURE DURABLE?	418
III - 1 - Les moyens disponibles pour limiter le ruissellement et l'érosion sur les BVEC : aménagements et pratiques plus favorables.....	418
III - 1 - 1 - Trois situations à gérer : les coulées de boue, les coulées liquides et l'érosion chronique.....	418
* Coulées de boue et orages.....	421
* Ruissellement et formation des crues	421
* L'érosion chronique.....	424
III - 1 - 2 - Des aménagements : nature, localisation et financement.....	428
* Limites des propositions traditionnelles.....	428
* Les intérêts et les limites d'un aménagement : l'exemple d'Erlon.....	429
* Les mares tampons.....	429
* Le projet d'aménagement de Vierzy	432
* Le problème du financement.....	434
* Le rôle de l'agriculteur dans la gestion des risques.....	435
III - 2 - Utilisation des résultats de terrain pour l'évaluation et la gestion des risques d'érosion et de dégradation des eaux sur des BVEC de la région	436
III - 2 - 1 - Classification des BVEC en fonction des caractéristiques morphopédologiques et agraires des sites	436
III - 2 - 2 - Classification des risques en fonction de la vulnérabilité des milieux récepteurs et des caractéristiques des coulées.....	440
CONCLUSION	444
BIBLIOGRAPHIE	452
CARTES	467
GLOSSAIRE.....	468
ABREVIATIONS.....	469
TABLE DES TABLEAUX	470
TABLE DES FIGURES.....	474
TABLES DES PHOTOS.....	479
TABLE GENERALE	480

Une table des noms de personnes et un index des lieux seront ajoutés dans la version définitive.

