

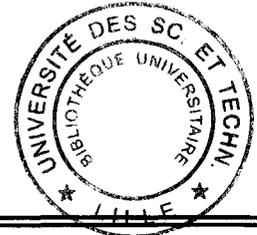
Jan 2000 (359)

UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES
DE LILLE
U.F.R. DE GEOGRAPHIE ET D'AMENAGEMENT

GEOGRAPHIE DES
MILIEUX ANTHROPISES
CNRS URA 1688

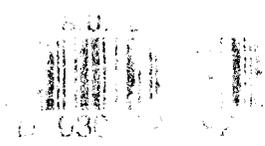
Thèse de Doctorat en Géographie
"Analyse géographique du milieu physique, Ressources et Risques naturels"

présentée par
Jenny DUPUY



**ETUDE SPATIO-TEMPORELLE DES
CHAMPS PLUVIOMETRIQUES EN
MILIEU URBAIN
EXEMPLE DE L'AGGLOMERATION
LILLOISE**

Michel ERPICUM	Professeur à l'Université de Liège	Rapporteur
Patrice PAUL	Professeur à l'Université Louis Pasteur de Strasbourg	Rapporteur
Claude KERGOMARD	Professeur à l'Université des Sciences et Technologies de Lille	Examineur
Isabelle ROUSSEL	Professeur à l'Université des Sciences et Technologies de Lille	Directrice de Thèse



ERRATUM

Quelques erreurs ont été relevées dans le texte :

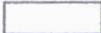
- page 164, les paragraphes suivants ont été répétés :

"Cette carte permet d'avoir une vision globaledans les stations françaises (Voir chapitre 4)."

"La répartition moyenne présentée ci-dessous.....entre 5 et 10 % selon les années."

"Afin de regrouper les stations.....annuelles de la période 1982-1991."

- pages 262 à 270, la légende des images radar n'est pas précisée, les couleurs des niveaux de réflectivités correspondent aux intensités suivantes :

	mm/H
	0 <0.1
	1 [0.1-0.4[
	2 [0.4-0.7[
	3 [0.7-1.2[
	4 [1.2-2.1[
	5 [2.1-3.7[
	6 [3.7-6.5[
	7 [6.5-11.5[
	8 [11.5-20.5[
	9 [20.5-36.5[

REMERCIEMENTS

Cette thèse a été réalisée au sein du Laboratoire des milieux fortement anthropisés (URA CNRS 1688), dirigé par Isabelle ROUSSEL, Professeur de Climatologie à l'Université des Sciences et Technologies de Lille, à qui j'adresse en premier lieu ma reconnaissance pour avoir assuré la direction de ma thèse. En deuxième lieu, je tiens à remercier Claude KERGOMARD pour son aide efficace, ses conseils appropriés et son soutien, ainsi que pour avoir été l'un des instigateurs de la poursuite de mes études en 3^{ème} cycle. Enfin, je remercie Monique BECU, pour sa disponibilité et ses multiples services.

Cette thèse a aussi pour cadre l'U.F.R. de Géographie et d'Aménagement de l'Université des Sciences et Technologies de Lille, dont je tiens à remercier l'ensemble du personnel, et tout particulièrement Béatrice DHEYGERE, qui pendant toutes ces années passées à l'U.F.R. m'a toujours témoigné son amitié et accordé son soutien dans les difficultés que comptent tout parcours d'étudiant, Olivier BERTHE et Brigitte COISNE pour leur soutien, et enfin, les Maîtres de Conférences avec lesquels j'ai été amené à travailler à des tâches d'enseignement et qui m'ont toujours encouragé et incité à poursuivre mes efforts, en particulier Maïté GREGORIS, Pierre-Gil SALVADORE, Richard LAGAGNIER, Alain BARRE.

Par ailleurs, je tiens à remercier la Communauté Urbaine de Lille, qui m'a fourni les données du réseau de pluviographes communautaire et qui est à l'origine du sujet de cette thèse, en la personne de Réjane BEURRIER.

Au cours de cette thèse, j'ai été amené à rencontrer, pour diverses raisons, telles l'acquisition des données du pluviographe ou leur saisie, ou encore l'obtention de renseignements divers concernant la mesure radar et le réseau pluviométrique régional, certaines personnes du Centre Régional de Météo-France auxquelles je tiens à adresser de vifs remerciements : tout d'abord Philippe CHAPELET avec qui les entretiens furent toujours constructifs, et pour m'avoir fourni les adresses des observateurs bénévoles appartenant au réseau pluviométrique régional, puis à Isabelle KLISS pour avoir tout mis en oeuvre pour me faciliter la saisie des données manquantes du pluviographe de Lesquin, à Denis DENNETIERES pour avoir honoré dans de brefs délais les diverses commandes de données et les demandes de renseignements les concernant, et enfin, à Renaud PAYEN pour ses promptes réponses aux problèmes concernant la mesure radar et les images du radar d'Abbeville.

REMERCIEMENTS

Mes remerciements vont aussi à M. TRICOT de l'Institut Royal Météorologique de Belgique pour son accueil chaleureux, et son enthousiasme quant à une utilisation transfrontalière de données pluviométriques, et pour m'avoir fourni divers documents concernant les données du réseau pluviométrique belge et les photos des stations que je n'ai pas eu l'opportunité de visiter.

Ces remerciements sont aussi l'occasion de saluer les personnes qui relèvent les pluviomètres du réseau régional pour leur travail de collecte et pour m'avoir toutes gentiment permis de visiter les sites d'implantation et d'en prendre des clichés : M. BAUDRY, station de Lesquin, M. DESOBRY, Ets Florimond Desprez, station de Cappelle-en-Pévèle, M. GESUPRET, station de Mons-en-Pévèle, M. LEGRAND, Serres Municipales de Roubaix, station de Roubaix, M. COCKENPOT, Société des Eaux du Nord, station de Wavrin, M. DECHERF, Ecluse d'Armentières, station d'Armentières et M. BONNAFE, D.I.R.E.N., station de Lambersart.

Je voudrais aussi remercier, Ali HAMMOUDA et Dominique FAURE du District Urbain de Nancy, pour leur écoute et leur réponse à diverses questions.

Enfin, je tiens à saluer les personnes qui ont bien voulu évaluer mon travail et en être les rapporteurs : Michel ERPICUM de l'Université de Liège et Patrice PAUL de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg.

Cette thèse est dédiée à mes parents qui ont su me donner le goût de l'effort et à qui je dois d'avoir atteint le terme de mes études, à mes amis et camarades qui m'ont témoigné leur soutien moral et parfois aidé à résoudre des problèmes pratiques, ainsi qu'à Samuel, qui par sa présence à mes côtés, a contribué à la rédaction de cette thèse.

TABLE DES MATIERES

TABLE DES TABLEAUX.....	8
TABLE DES GRAPHIQUES.....	12
TABLES DES FIGURES.....	15
TABLE DES CARTES.....	16
TABLE DES ANNEXES.....	17
RESUME.....	18
INTRODUCTION.....	19
PREMIERE PARTIE : APPROCHE STATIONNELLE DE LA PLUVIOMETRIE DE L'AGGLOMERATION LILLOISE PAR L'ANALYSE DES DONNEES DU PLUVIOGRAPHE DE LESQUIN	24
CHAPITRE 1 : L'HOMOGENEISATION DES DONNEES DU PLUVIOGRAPHE DE LA STATION METEOROLOGIQUE DE LILLE- LESQUIN.....	27
1.1. PRESENTATION DES DONNEES.	28
1.1.1. Le format initial.	28
1.1.2. Pourquoi l'homogénéisation des formats ?	29
1.2. HOMOGENEISATION DES DONNEES.....	30
1.2.1. Les contraintes de la méthode d'homogénéisation.....	30
1.2.2. Définition de la méthode.	31
1.2.3. Les conséquences de l'homogénéisation.....	34
1.3. BILAN DE L'HOMOGENEISATION ET VERIFICATION DES DONNEES DU PLUVIOGRAPHE DE LESQUIN.	35
1.3.1. Bilan au pas de temps décennal.....	36
1.3.2. Bilan au pas de temps annuel.	36
1.3.3. Bilan au pas de temps mensuel.....	38
1.3.4. Bilan au pas de temps journalier.....	40
CHAPITRE 2 : LA PLUVIOMETRIE LILLOISE : DES PRECIPITATIONS ANNUELLES AUX PRECIPITATIONS JOURNALIERES	43
2.1. DES PRECIPITATIONS ANNUELLES GLOBALEMENT PLUS ABONDANTES QUE LA NORMALE.....	47

TABLE DES MATIERES

2.1.1. Volumes, durées et types de précipitations.	47
2.1.2. La décennie 1982-1991 vis-à-vis de la normale climatologique : comparaison des caractéristiques des précipitations annuelles.....	50
2.2. LES PRECIPITATIONS MENSUELLES.....	63
2.2.1. Les totaux pluviométriques mensuels.....	64
2.2.2. Les durées mensuelles de précipitations.....	70
2.2.3. Répartition mensuelle des différents types de précipitations.	72
2.3. LES PRECIPITATIONS JOURNALIERES.....	75
2.3.1. Première approche des précipitations journalières par le nombre de jours de précipitations.	75
2.3.2. Les hauteurs et durées journalières.....	82
2.3.3. Les types de précipitations.....	87
CHAPITRE 3 : LES SEQUENCES PLUVIEUSES : ANALYSE FINE DES PRECIPITATIONS.....	93
3.1. DEFINITION DES SEQUENCES DE PRECIPITATIONS ET ANALYSE STATISTIQUE.....	95
3.1.1. Définition de la séquence de précipitations.....	95
3.1.2. Analyse statistique des populations de séquences pluvieuses.	98
3.2. PROPOSITION D'UNE TYPOLOGIE.....	101
3.2.1. Pourquoi une typologie ?.....	101
3.2.2. Quelle population exploiter pour la typologie ?.....	102
3.2.3. Présentation détaillée de la population utilisée pour la typologie.....	106
3.2.4. La grille de classification.....	111
3.2.5. Présentation des différents types définis.....	114
3.3. COURBES INTENSITE - DUREE - FREQUENCE POUR L'AGGLOMERATION LILLOISE.....	123
3.3.1. Calcul des intensités maximales des séquences pluvieuses.	123
3.3.2. Calcul des courbes IDF.....	128
DEUXIEME PARTIE : ANALYSE SPATIALE DE LA PLUVIOMETRIE DE L'AGGLOMERATION LILLOISE	135
CHAPITRE 4 : LA VALIDATION DES DONNEES, UNE ETAPE PRELIMINAIRE.....	138
4.1. PRESENTATION DES STATIONS DE MESURE.....	139
4.1.1. Localisation des stations.....	139
4.1.2. Sites des stations.....	140
4.1.3. L'équipement des stations.....	143
4.2. LE REMPLACEMENT DES DONNEES MANQUANTES.....	144
4.2.1. Le choix de la méthode.....	144
4.2.2. La méthode de la régression linéaire.....	145

TABLE DES MATIERES

4.3. TESTS SUR LA VALIDITE DES DONNEES.	149
4.3.1. Premier test : la méthode du double-cumul.	149
4.3.2. Second test : la méthode du cumul des résidus.	153
CHAPITRE 5 : LA REPARTITION SPATIALE DES PRECIPITATIONS AU SEIN DE LA REGION LILLOISE.	159
5.1. PRECIPITATIONS ANNUELLES ET MENSUELLES.	161
5.1.1. L'analyse de la pluviométrie annuelle pour la définition de zones pluviométriques homogènes.	161
5.2.1. définition du régime pluviométrique mensuel de la région lilloise.	167
5.2. PRECIPITATIONS JOURNALIERES ET DUREE DES SEQUENCES PLUVIEUSES ET SECHES.	170
5.2.1. Hauteurs journalières.	170
5.2.2. Les jours de précipitations, et séquences pluvieuses et sèches.	173
5.2.3. Typologie des séquences pluvieuses.	176
5.3. LE RESEAU DE PLUVIOMETRES, UN OUTIL INSUFFISANT POUR L'HYDROLOGIE URBAINE.	182
5.3.1. Présentation de l'épisode du 24 août 1987.	182
5.3.2. Analyse de l'épisode.	183
TROISIEME PARTIE : ETUDE DE FAISABILITE DE L'UTILISATION DES IMAGES DU RADAR D'ABBEVILLE POUR L'HYDROLOGIE URBAINE	190
CHAPITRE 6 : LA MESURE RADAR, COMPLEMENT D'UNE MESURE AU SOL.	193
6.1. LA MESURE DES PRECIPITATIONS PAR UN RESEAU DE PLUVIOGRAPHES.	194
6.1.1. Intérêts d'un réseau de pluviographes.	194
6.1.2. Présentation du réseau de la C.U.D.L.	196
6.1.3. Méthode de validation des données.	201
6.1.4. Les taux de fonctionnement des pluviographes.	203
6.2. LA MESURE RADAR.	205
6.2.1. Principes généraux et équation du radar.	205
6.2.2. Les limites de la mesure radar.	211
6.2.3. Les atouts de la mesure radar.	217
6.3. LE RADAR D'ABBEVILLE.	219
6.3.1. Caractéristiques du radar d'Abbeville.	219
6.3.2. Les sources d'erreurs potentielles pour le radar d'Abbeville.	220
6.3.3. Caractéristiques des images du radar d'Abbeville.	222

CHAPITRE 7 : MESURE RADAR ET MESURE AU SOL, QUELLE ADEQUATION ?	226
7.1. CHOIX DES EVENEMENTS.....	228
7.2. QUALITE GLOBALE DES DONNEES FOURNIES PAR LES PLUVIOGRAPHES ET LE RADAR.....	231
7.2.1. Recherche de potentiels échos fixes et de l'effet d'atténuation.....	231
7.2.2. Test de la qualité globale.....	234
7.3. LE TEST DU KHI-CARRE POUR L'ETUDE DE LA RELATION ENTRE MESURE RADAR ET MESURE AU SOL.....	236
7.3.1. Données des tableaux de contingence et mise en place du test.....	236
7.3.2. Résultats du test.....	238
7.3.3. Les contributions au X^2	240
7.3.4. Intensité de la relation entre mesure au sol et mesure radar.....	243
CHAPITRE 8 : LE RADAR D'ABBEVILLE POUR L'ETUDE DES SEQUENCES PLUVIEUSES DE L'AGGLOMERATION LILLOISE, ATOUTS ET FAIBLESSES.....	246
8.1. L'EVENEMENT DU 14 MAI 1994, TEMOIN DE L'INTERET DE L'IMAGERIE DU RADAR D'ABBEVILLE.....	248
8.1.1. Contexte météorologique.....	248
8.1.2. La mesure au sol des précipitations du 14 mai 1994.....	250
8.1.3. L'apport de l'imagerie radar.....	259
8.2. L'EVENEMENT DU 8 DECEMBRE 1994, TEMOIN DE POTENTIELLES FAIBLESSES DU RADAR D'ABBEVILLE.....	272
8.2.1. Contexte météorologique.....	272
8.2.2. La mesure au sol des précipitations du 8 décembre 1994.....	274
8.2.3. Les faiblesses du radar dans la détection des précipitations du 8 décembre 1994.....	280
CONCLUSION	286
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	290
BIBLIOGRAPHIE.....	293
ANNEXES.....	303

TABLE DES TABLEAUX

Tableau n°1 : Comparaison des cumuls (en mm) des données du pluviographe et des données du pluviomètre indiquées sur le T.C.M. de Lille-Lesquin.	29
Tableau n°2 : Retranscription du dépouillement de l'événement pluvieux présenté en exemple.	31
Tableau n°3 : Application de la méthode de comptage des basculements à la séquence S3 de l'événement pluvieux présenté en exemple.	33
Tableau n°4 : Nouveau format des données.	34
Tableau n°5 : Ecart annuel avant et après vérification - Bilan des gains et pertes.	37
Tableau n°6 : Ecart absolu et écart relatif.	38
Tableau n°7 : Ecart mensuel (en mm) entre les données homogénéisées et le T.C.M.	39
Tableau n°8 : Moyenne des écarts mensuels.	39
Tableau n°9 : Ecart exprimé en pourcentage du total mensuel.	39
Tableau n°10 : Nombre moyen et nombre maximum de jours avec orage, avec chute de grêle, avec chute de neige, ou avec chute de bruine ou pluie, pour la normale (1951-1980) et la période 1982-1991, à Lesquin.	49
Tableau n°11 : Paramètres de dispersion des distributions des hauteurs annuelles de la normale 1951-1980 et de la période 1982-1991, à Lesquin.	51
Tableau n°12 : Définition des classes qualitatives pour les hauteurs.	53
Tableau n°13 : Valeurs du rapport R et qualificatifs des totaux annuels de 1982 à 1991 vis-à-vis de la normale (1951-1980), à Lesquin.	53
Tableau n°14 : Paramètres de dispersion des distributions des durées annuelles de la normale 1955-1980 et de la période 1982-1991, à Lesquin.	54
Tableau n°15 : Définition des classes qualitatives pour les durées de précipitations.	55
Tableau n°16 : Valeurs du rapport R et qualificatifs des durées annuelles de 1982 à 1991 vis-à-vis de la normale (1955-1980), à Lesquin.	56
Tableau n°17 : Hauteurs mensuelles (en mm) et coefficient de pluviosité (Cp), à Lesquin, normale 1951-1980.	64
Tableau n°18 : Coefficients de variation des hauteurs mensuelles de la normale 1951-1980, à Lesquin, (en %).	65
Tableau n°19 : Cumuls des valeurs mensuelles par périodes de 6 mois consécutifs pour la médiane, le quartile supérieur et le 9ème décile, pour la normale 1951-1980 à Lesquin, (en mm).	65
Tableau n°20 : Hauteurs mensuelles moyennes de la période 1982-1991 (en mm).	67
Tableau n°21 : Valeurs des quintiles mensuels de la normale 1951-1980 à Lesquin.	70
Tableau n°22 : Les excès et les déficits mensuels de durée vis-à-vis de la moyenne mensuelle de la normale (1955-1980) pour l'ensemble de la période 1982-1991, à Lesquin.	71
Tableau n°23 : Intensité moyenne mensuelle (IMM) pour la normale 1951-1980 et la période 1982-1991, à Lesquin.	72
Tableau n°24 : Nombre moyen et maximum de jours avec chute de neige, chute de grêle, ou orage par mois, pour la normale 1951-1980, à Lesquin.	73

TABLE DES TABLEAUX

Tableau n°25 : Nombre de jours pluvieux à Lesquin, comparaison des valeurs de la normale avec celle de la période 1982-1991.	76
Tableau n°26 : Nombre de jours avec précipitations supérieures ou égales à 1, 5 et 10 mm, pour la normale (1951-1980) et la période 1982-1991, à Lesquin.	76
Tableau n°27 : Fréquences des séquences pluvieuses selon leur durée, pour la normale (1951-1980) et la période 1982-1991, à Lesquin.	79
Tableau n°28 : Fréquence des séquences sèches selon leur durée, pour la normale (1951-1980) et la période 1982-1991, à Lesquin.	80
Tableau n°29 : Paramètres statistiques descriptifs des hauteurs quotidiennes pour la normale (1951-1980) et la période 1982-1991, à Lesquin.	82
Tableau n°30 : Répartition des jours pluvieux selon 3 classes de hauteur, période 1982-1991 à Lesquin (en pourcentages).	84
Tableau n°31 : Paramètres statistiques descriptifs des durées quotidiennes pour la normale (1955-1980) et la période 1982-1991, à Lesquin.	85
Tableau n°32 : Valeurs des quantiles des distributions selon la hauteur des jours avec chute neige, chute de grêle ou précipitations orageuses, période 1982-1991, à Lesquin.	89
Tableau n°33 : Caractères des séquences pluvieuses selon les seuils de durée de temps sec.	97
Tableau n°34 : Effectif des différentes populations de séquences pluvieuses Sdts.	97
Tableau n°35 : Caractéristiques statistiques des caractères hauteur, durée, intensité moyenne et intensité maximale sur 6 minutes, pour les 7 populations Sdts.	99
Tableau n°36 : Caractéristiques principales des durées de précipitations observées à Lesquin, 1982-1991.	103
Tableau n°37 : Somme des écarts absolus entre les fréquences relatives des populations Sdts et celles de la population des séquences observées.	106
Tableau n°38 : Paramètres statistiques pour 4 caractères des séquences pluvieuses de la population S'60.	108
Tableau n°39 : Effectif des 18 types déterminés par la répartition des séquences pluvieuses dans la grille de classification à deux critères.	112
Tableau n°40 : Fréquence et part de chaque type dans la hauteur et la durée totale des séquences.	115
Tableau n°41 : Valeurs caractéristiques de la durée des séquences pluvieuses pour les types de pluies courantes, (en heures).	121
Tableau n°42 : Valeurs caractéristiques de la durée de temps sec précédant les séquences pluvieuses pour les types de pluies courantes, (en heures).	122
Tableau n°43 : Exemple de calcul des hauteurs cumulées sur des pas de temps glissant (de 12 à 60 minutes) pour une séquence.	124
Tableau n°44 : Intensités maximales sur les différents pas de temps pour la séquence fictive précédente.	124
Tableau n°45 : Intensités maximales (en mm.H-1) calculées sur différents pas de temps glissant, et classées par ordre décroissant (10 premiers rangs), à Lesquin, 1982-1991.	125
Tableau n°46 : Répartition selon la grille de classification des séquences constituant les 10 premiers rangs des intensités maximales et part dans l'effectif total de chaque type.	125
Tableau n°47 : Eléments essentiels sur la répartition des durées des 160 séquences représentées dans les 10 premiers rangs selon le pas de temps.	126
Tableau n°48 : Courbes IDF calculées selon la formule de Talbot-Grisollet et la formule de Montana pour la période 1982-1991, à Lesquin.	129
Tableaux n°49 : Définition des 9 seuils retenus par Météo-France.	130

TABLE DES TABLEAUX

Tableau n°50 : Courbes IDF calculées selon la formule de Montana pour la période 1955-1988, à Lesquin.....	130
Tableau n°51 : Site des pluviomètres du réseau franco-belge.....	142
Tableau n°52 : Description technique des 2 types de pluviomètres constituant le réseau. ...	143
Tableau n°53 : Matrice des coefficients de corrélation.....	146
Tableau n°54 : Paramètre "a" des droites de régression de X en Y.....	146
Tableau n°55 : Paramètre "b" des droites de régression de X en Y.....	147
Tableau n°56 : Droites de régression utilisées pour le remplacement des valeurs manquantes.....	147
Tableau n°57 : Valeurs nécessaires au calcul de I et valeurs de I pour chaque station.....	148
Tableau n°58 : Précipitations moyennes annuelles, hauteurs annuelles minima et maxima des stations de la région lilloise (1982-1991), en millimètres.....	161
Tableau n°59 : Groupes de stations définis par les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales.....	165
Tableau n°60 : Hauteurs moyennes mensuelles, moyenne spatiale et coefficient de variation spatiale (1982-1991).....	168
Tableau n°61 : Ecart absolu par rapport à Lesquin des valeurs moyennes mensuelles, écarts absolus moyens par station et par mois, en millimètres (1982-1991).....	169
Tableau n°62 : Paramètres statistiques des précipitations journalières pour les stations de la région lilloise.....	171
Tableau n°63 : Classification selon 3 critères des jours pluvieux (1982-1991).....	174
Tableau n°64 : Répartition des séquences pluvieuses selon leur durée (en jours) pour les différentes stations de la région lilloise (1982-1991), en %.....	176
Tableau n°65 : Répartition des séquences sèches selon leur durée (en jours) pour les différentes stations de la région lilloise (1982-1991), en %.....	176
Tableau n°66 : Distribution des séquences pluvieuses spatiales selon différents caractères (1982-1991).....	177
Tableau n°67 : Classification des séquences pluvieuses spatiales selon 4 critères (1982-1991).....	180
Tableau n°68 : Date de mise en fonctionnement des pluviographes.....	197
Tableau n°69 : Taux de fonctionnement global pour les deux années (1993 et 1994) des pluviographes de la C.U.D.L.....	203
Tableau n°70 : Répartition des sources d'erreurs selon leurs causes et effets.....	217
Tableau n°71 : Niveaux de réflectivité et intensités correspondantes selon la relation de Marshall-Palmer.....	223
Tableau n°72 : Fréquence d'apparition des jours de pluie selon la hauteur précipitée en 1993 et 1994.....	229
Tableau n°73 : Liste des journées correspondant aux 2 critères, en 1993 et 1994, Réseau C.U.D.L.....	230
Tableau n°74 : Possibilités de réponse du radar ou du réseau de pluviographe vis-à-vis des précipitations.....	235
Tableau n°75 : Résultats du test qualitatif pour les 11 événements choisis, en % du nombre total d'images.....	235
Tableau n°76 : Pourcentage des stations pour lesquelles Ho est rejetée, pour un pixel et la moyenne des 9 pixels.....	239
Tableau n°77 : Définition des 4 catégories d'associations selon le degré d'adéquation entre mesure au sol et mesure radar.....	241

TABLE DES TABLEAUX

Tableau n°78 : Contributions au X^2 (en %) des 4 catégories d'adéquation entre mesure au sol et mesure radar, et cumuls en 2 groupes.....	242
Tableau n°79 : Valeurs moyennes du coefficient de contingence pour les 5 épisodes retenus.....	243
Tableau n°80 : Durée (en heures) de la deuxième séquence pluvieuse du 14 mai 1994 aux différents pluviographes du réseau C.U.D.L.....	252
Tableau n°81 : Intensité moyenne (en mm.H-1) de la deuxième séquence pluvieuse du 14 mai 1994 aux différents pluviographes du réseau C.U.D.L.....	253
Tableau n°82 : Intensité maximale sur 5 minutes (en mm.H-1) de la deuxième séquence pluvieuse du 14 mai 1994 aux différents pluviographes du réseau C.U.D.L.....	253
Tableau n°83 : Place de la deuxième séquence du 14 mai 1994 dans la grille de classification des séquences pluvieuses, selon les stations du réseau C.U.D.L.....	254
Tableau n°84 : Nombre de séquences, intervalles de durée, durée moyenne et durée totale des précipitations du 8 décembre 1994, aux différents pluviographes du réseau C.U.D.L.....	276
Tableau n°85 : Intensités maximales sur 5 minutes (mm.H-1) des précipitations du 8 décembre 1994, aux différents pluviographes du réseau C.U.D.L.....	276
Tableau n°86 : Place de la séquence du 08 décembre 1994 dans la grille de classification des séquences pluvieuses, selon les stations du réseau C.U.D.L.....	277

TABLE DES GRAPHIQUES

Graphique n°1 : Comparaison du total annuel des valeurs du T.C.M. et des valeurs homogénéisées de 1982 à 1991 à Lille-Lesquin.	36
Graphique n°2 : Ecart annuel entre les valeurs du T.C.M. et les valeurs homogénéisées de 1982 à 1991 à Lille-Lesquin.	37
Graphique n°3 : Histogramme des écarts entre valeurs du T.C.M. et valeurs des fichiers homogénéisés, à Lesquin (1982-1991).	41
Graphique n°4 : Pluviométrie annuelle (1982-91) et écart à la précipitation moyenne annuelle de la normale 1951-1980, à Lesquin.	47
Graphique n°5 : Durée annuelle des précipitations (1982-91) et écart à la durée annuelle moyenne de la normale 1951-1980, à Lesquin.	48
Graphique n°6 : Fréquence des rapports R de la hauteur annuelle de la pluie à la moyenne de la normale (Lesquin, 1951-1980).	52
Graphique n°7 : Fréquence des rapports R de la durée annuelle des précipitations à la moyenne de la normale (Lesquin, 1955-1980).	55
Graphique n°8 : Graphe de dispersion des années 1982 à 1991 selon la hauteur et la durée annuelle des précipitations, à Lesquin.	56
Graphique n°9 : Nombre de jours avec chute de neige de 1982 à 1991 et écart à la moyenne de la normale (1951-1980), à Lesquin.	58
Graphique n°10 : Nombre de jours avec chute de grêle de 1982 à 1991 et écart à la moyenne de la normale (1951-1980), à Lesquin.	59
Graphique n°11 : Nombre de jours avec orage de 1982 à 1991 et écart à la moyenne de la normale (1951-1980), à Lesquin.	60
Graphique n°12 : Variations des précipitations annuelles (Lesquin, 1946-1994) et droite de tendance.	61
Graphique n°13 : Droites de tendance des précipitations à Lesquin, Dunkerque, Cambrai.	62
Graphique n°14 : Le régime pluviométrique moyen (Lesquin, 1951-1980).	66
Graphique n°15 : Pluviométrie mensuelle moyenne (1982-91) et écart à la précipitation moyenne mensuelle de la normale 1951-1980, à Lesquin.	68
Graphique n°16 : Comparaison des hauteurs mensuelles moyennes, minimales et maximales de la période 1982-1991 avec celles de la normale 1951-1980, à Lesquin.	69
Graphique n°17 : Comparaison des durées moyennes mensuelles de précipitations pour la décennie 1982-1991 et la normale 1951-1980, à Lesquin.	71
Graphique n°18 : Nombre moyen de jours avec chute de neige pour la période 1982-1991 et la normale 1951-1980, à Lesquin.	73
Graphique n°19 : Nombre moyen de jours avec chute de grêle pour la période 1982-1991 et la normale 1951-1980, à Lesquin.	74
Graphique n°20 : Nombre moyen de jours avec orage pour la période 1982-1991 et la normale 1951-1980, à Lesquin.	74
Graphique n°21 : Répartition moyenne mensuelle des jours pluvieux à Lesquin pour la période 1982-1991 comparée à la normale (1951-1980).	77

TABLE DES GRAPHIQUES

Graphique n°22 : Histogramme des fréquences des hauteurs journalières à Lesquin, normale climatologique (1951-1980).	83
Graphique n°23 : Histogramme des fréquences des hauteurs journalières à Lesquin, période 1982-1991.	84
Graphique n°24 : Histogramme des fréquences des durées journalières de la normale (1955-1980), à Lesquin.	86
Graphique n°25 : Histogramme des fréquences des durées journalières de la période 1982-1991, à Lesquin.	86
Graphique n°26 : Histogramme des fréquences des hauteurs des jours avec chute de neige de la période 1982-1991, à Lesquin.	90
Graphique n°27 : Histogramme des fréquences des hauteurs des jours avec chute de grêle de la période 1982-1991, à Lesquin.	90
Graphique n°28 : Histogramme des fréquences des hauteurs des jours avec orage de la période 1982-1991, à Lesquin.	90
Graphique n°29 : Distribution des durées des séquences pluvieuses (de 0 à 24 heures) pour les populations Sdts et celle des séquences de précipitations observées à Lesquin, 1982-1991.	105
Graphique n°30 : Répartition interannuelle des séquences de précipitations de la population S'60.	107
Graphique n°31 : Répartition mensuelle et saisonnière des séquences de précipitations de la population S'60.	107
Graphique n°32 : Polygone des fréquences et courbe des fréquences cumulées ascendantes pour 4 caractères de la population des séquences de précipitations S'60.	109
Graphique n° 33 : Histogramme des durées de précipitations des pluies courantes et des pluies exceptionnelles.	116
Graphique n°34 : Histogramme des durées de temps sec précédant les séquences pour les pluies courantes et les pluies exceptionnelles, Lesquin (1982-1991).	117
Graphique n°35 : Histogramme des durées de temps sec de moins de 24 heures pour les pluies courantes et les pluies exceptionnelles, Lesquin (1982-1991).	117
Graphique n°36 : Répartition saisonnière moyenne des deux grandes catégories de types (pluies courantes et pluies exceptionnelles).	118
Graphique n°37 : Répartition selon les types de temps pour les pluies courants et les pluies exceptionnelles.	119
Graphique n°38 : Rose des vents simplifiée, direction du vent à midi, Lesquin, 1982-1991.	120
Graphique n°39 : Répartition saisonnière des séquences des types de la catégorie des pluies courantes.	121
Graphique n°40 : Répartition mensuelle des 160 séquences pluvieuses représentées dans les 10 premiers rangs.	125
Graphique n°41 : Répartition des 160 séquences selon la durée de temps sec précédent. ...	127
Graphique n°42 : Tracé des courbes IDF calculées avec la formule de Montana pour la période 1982-1991 à Lesquin.	130
Graphique n°43 : Résultats du test du double cumul : présentation graphique.	150
Graphique n°44 : Méthode du cumul des résidus, ellipse critique du cumul calculée pour une probabilité de 99 % avec 3 degrés de liberté.	154
Graphique n°45 : Régime pluviométrique mensuel moyen pour la région lilloise (1982-1991), et la station de Lesquin (1982-1991 et normale climatologique 1951-1980), en millimètres.	167

TABLE DES GRAPHIQUES

Graphique n°46 : Répartition mensuelle des séquences pluvieuses de la décennie 1982-1991 dans la région lilloise.	178
Graphique n°47 : Variation de l'intensité moyenne sur 6 minutes pour l'épisode du 24 août 1987, à Lesquin.	185
Graphique n°48 : Taux de fonctionnement des pluviographes de la C.U.D.L. en 1993 et 1994.	204
Graphique n°49 : Hyétoigrammes pour les différentes stations, 14 mai 1994.	255
Graphique n°50 : Déroulement simplifié de la séquence selon les stations.	258
Graphique n°51 : Hyétoigrammes pour les différentes stations, 08 décembre 1994.	277

TABLES DES FIGURES

Figure n°1 : Schéma du cycle urbain de l'eau et impact des eaux pluviales.	22
Figure n°2 : Variation de l'intensité au cours d'une séquence pluvieuse et présentation des deux découpages (A et B).	30
Figure n°3 : Exemple de dépouillement par la "méthode des cerises".	32
Figure n°4 : L'augmentation de la durée d'un événement pluvieux.	34
Figure n°5 : Définition des séquences pluvieuses selon un seuil de durée de temps sec de 18 minutes.	96
Figure n°6 : Principe de la mesure radar.	208
Figure n°7 : Les échos fixes et l'effet de masque.	212
Figure n°8 : Incidence de la courbure de la terre sur la limite de portée du radar.	214
Figure n°9 : Distance du radar à la région lilloise.	221
Figure n°10 : Taille de l'image du radar d'Abbeville.	223
Figure n°11 : Image moyenne de l'événement du 8 décembre 1994 (1 : 2 200 000).	233
Figure n°12 : Image moyenne de l'événement du 27 septembre 1993 (1 : 2 200 000)	233
Figure n°13 : Situation météorologique du 14 mai 1994, surface et surface 500 hPa (Météo-France).	249
Figure n°14 : Images radar de l'événement du 14 mai 1994, de 19H à 2 H.	262
Figure n°15 : Situation météorologique du 8 décembre 1994, surface et surface 500 hPa (Météo-France).	273

TABLE DES CARTES

Carte n°1 : Contexte géographique de l'agglomération lilloise.	23
Carte n°2 : Précipitations annuelles dans le Nord-Pas-de-Calais.	45
Carte n°3 : Caractères généraux et nuances du climat du Nord-Pas-de-Calais.	46
Carte n°4 : Carte de localisation des stations.	141
Carte n°5 : Précipitations moyennes annuelles (1982-1991) pour les stations de la région lilloise.	162
Carte n°6 : Répartition spatiale des précipitations du 24 août 1987 dans la région lilloise.	184
Carte n°7 : Localisation des pluviographes de la C.U.D.L.	199
Carte n°8 : Les bassins versants de la Communauté Urbaine de Lille.	200
Carte n°9 : Le réseau ARAMIS, portée utile environ 200 kilomètres, (1 : 7 150 000).	206
Carte n°10 : Localisation du radar.	219
Carte n°11 : Précipitations mesurées aux différentes stations de la région lilloise au cours de la journée du 14 mai 1994.	251
Carte n°12 : Précipitations mesurées aux différentes stations de la région lilloise au cours de la journée du 8 décembre 1994.	275

T A B L E D E S A N N E X E S

Annexe n°1 : Présentation du pluviographe à augets basculeurs.....	304
Annexe n°2 : Journées avec écart supérieur ou égal à 1 mm en valeur absolue.....	306
Annexe n°3 : Distribution des séquences selon la durée pour les pluies courantes.....	310
Annexe n°4 : Distribution des séquences selon la durée de temps sec pour les pluies courantes.....	312
Annexe n°5 : Intensités maximales classées par ordre décroissant pour différents pas de temps.....	314
Annexe n°6 : Instruction technique 1977.....	316
Annexe n°7 : Présentation du pluviomètre français SPIEA modifié MN et du pluviomètre belge IRM P50.....	317
Annexe n°8 : Intensité de l'évaporation de différents modèles de pluviomètres.....	320
Annexe n°9 : Valeurs du test du double-cumul, période 1982-1991 (en mm).....	321
Annexe n°10 : Régime pluviométrique moyen (1982-1991) des stations de la région lilloise.....	321
Annexe n°11 : Histogramme des hauteurs journalières des stations de la région lilloise.....	324
Annexe n°12 : Cartes du Météo-Hebdo du 24.08.87.....	329
Annexe n°13 : Délimitation sur l'image radar de la zone "agglomération lilloise" et "région lilloise".....	330
Annexe n°14 : Résultats du Khi-carré pour les 11 événements.....	331
Annexe n°15 : Intensités sur 15 minutes et intensités instantanées aux pixels surplombant les pluviographes, le 14 mai 1994.....	335
Annexe n°16 : Intensités sur 15 minutes et intensités instantanées aux pixels surplombant les pluviographes, le 12 décembre 1994.....	346

R E S U M E

La connaissance fine de la pluie se révèle être une condition préliminaire à l'optimisation de la gestion des eaux pluviales urbaines aussi bien quantitative que qualitative. Cette étude s'intéresse à l'agglomération lilloise et les données proviennent de Météo-France, l'IRM de Belgique et la CUDL.

La pluviométrie locale est abordée par une approche stationnelle à l'aide des données d'un pluviographe à des échelles temporelles courantes qui sont insuffisantes pour répondre aux objectifs, et il est donc nécessaire d'étudier la séquence pluvieuse, définie par un seuil de durée de temps sec allant de quelques minutes à quelques heures. Une typologie a été mise en place en fonction de critères significatifs vis-à-vis des objectifs poursuivis par les gestionnaires de réseaux d'assainissement.

L'approche spatiale, basée sur un réseau pluviométrique comprend une ACP et une CAH des précipitations annuelles permettant de définir des zones de pluviosité homogène, une définition du régime pluviométrique mensuel moyen de la région lilloise, et une analyse intégrant la dimension spatiale des jours pluvieux et des séquences pluvieuses par un classement multicritères selon leur impact sur les réseaux d'assainissement, qui souligne l'inadaptation des données de pluviomètres aux besoins des hydrologues urbains.

De nouveaux outils plus adéquats et complémentaires sont présentés : réseau de pluviographes et radar. Il s'agit de vérifier si l'utilisation de l'imagerie du radar d'Abbeville, associée à un réseau pluviographique pour l'étude d'épisodes pluvieux est envisageable. L'analyse qualitative des données radar pour quelques épisodes est basée sur un test d'indépendance statistique dont les résultats sont nuancés : d'une très mauvaise adéquation à une adéquation correcte. Ces réponses différenciées sont détaillées à l'aide de deux exemples montrant que l'agglomération lilloise se situe en limite de portée du radar.

Mots-clés : Climatologie appliquée, hydrologie urbaine, assainissement pluvial, agglomération lilloise, répartition spatiale des précipitations, séquence pluvieuse, classification, radar météorologique.

INTRODUCTION

"*L'eau dans la ville*" (1990) ou "*La ville et l'eau*"(1992), "*Re-découvrir l'eau : une priorité*"(1992), "*Pollution par les eaux pluviales, collecte, traitement et solutions d'avenir*" (1992) ou encore "*La pluie, source de vie, choc de pollution*" (1993), tels sont les thèmes de colloques organisés ces dernières années et qui témoignent de l'intérêt que suscite l'hydrosystème urbain, et en particulier la gestion des eaux pluviales urbaines.

Cet intérêt récent pour les eaux pluviales urbaines s'inscrit dans un contexte législatif, et s'est concrétisé dans la rédaction par les pays membres de l'Union Européenne, de la Directive relative à la collecte et au traitement des eaux urbaines résiduaires¹, adoptée en mai 1991, et transposée en France dans la Loi sur l'Eau de 1992 et ses décrets d'application, en 1994. En adoptant cette directive, les pays européens ont manifesté leur intention d'améliorer l'assainissement des agglomérations et la protection des milieux récepteurs. L'impact de cette directive en matière de travaux est estimé à 100 milliards d'écus (700 millions de francs) pour l'ensemble de la communauté, dont 75 milliards pour la France. En d'autres termes, comme la Directive rend obligatoire la collecte et le traitement des eaux usées et des eaux pluviales des agglomérations de plus de 2 000 habitants, il reste bon nombre de réseaux et d'ouvrages d'épuration, à achever, à améliorer ou à concevoir, pour répondre aux objectifs de cette directive visant la protection des milieux aquatiques. Ainsi, pour satisfaire au mieux les prérogatives de cette nouvelle législation, les efforts devront se concentrer d'une part, sur l'amélioration de l'efficacité des systèmes d'assainissement par temps de pluie, de la collecte à l'épuration, en passant par le stockage et le transport, et d'autre part, sur l'amélioration de la fiabilité des stations d'épuration. Si pour la gestion des volumes d'eaux pluviales à évacuer, les hydrologues urbains se sont

¹ "Eaux urbaines résiduaires : eaux ménagères usées ou le mélange des eaux ménagères avec des eaux industrielles et/ou des eaux de ruissellement" ou eaux pluviales (Article 2 de la Directive 91-271-CEE).

largement basés sur la pluie décennale, la prise en compte de la charge polluante que transportent les eaux pluviales urbaines, longtemps considérées comme propres, ne peut se traduire par ce même concept. L'hydrologie urbaine doit donc d'une part, prendre en compte les débordements liés à des volumes ruisselés d'autant plus importants que l'imperméabilisation des sols, liée à l'urbanisation, est forte, d'autre part, être repensée en fonction des charges polluantes et des volumes qu'il convient de traiter, et enfin, dépasser la vision hygiéniste du siècle dernier qui consistait à évacuer au plus vite les eaux hors de la ville par une nouvelle conception basée sur la rétention des eaux pluviales et les solutions compensatoires. Le schéma du cycle de l'eau en milieu urbain (Figure n°1) résume bien la complexité de la gestion des eaux pluviales urbaines et souligne l'impact de celles-ci sur le milieu récepteur, il paraît donc primordial pour assurer une bonne gestion des eaux pluviales d'aboutir à une connaissance fine de la pluie en milieu urbain.

Pour répondre à ces nouvelles préoccupations, l'hydrologie urbaine s'est tournée vers la climatologie, capable d'apporter les éléments nécessaires à une meilleure connaissance de la pluie, tels que la durée, la hauteur et l'intensité des précipitations, et les périodes de temps sec auxquelles elles sont associées.

Cette thèse se place tout d'abord dans le cadre de la climatologie appliquée, dont l'émergence est assez récente, et succède à la climatologie synoptique, largement développée par P. PEDELABORDE, et à la climatologie statistique, qui doit son existence à l'arrivée, dans les années 1970, d'outils informatiques puissants, et qui s'intéresse à l'analyse des chroniques, des rythmes et des tendances, et au calcul de normales climatologiques. Mais cette thèse utilisera aussi les concepts et les techniques de la climatologie statistique lors de l'analyse de la pluviométrie au sein de l'agglomération lilloise.

L'étude menée ici a en effet pour contexte géographique la région lilloise (Carte n°1) dans laquelle s'inscrit une grande métropole, l'agglomération tripolaire de Lille-Roubaix-Tourcoing, rassemblant près d'un million d'habitants.

Malgré la présence de reliefs tels que l'extrémité Est des Monts de Flandres au Nord-Ouest de la région, les terrasses du Weppes à l'Ouest, la plateforme du Ferrain à l'Est,

et les reliefs du Dôme du Mélandois au Sud, la topographie est globalement peu marquée et ne constitue pas à proprement parler un facteur influençant le climat local. Dans cette topographie s'inscrit une partie du bassin versant de l'Escaut, et un de ses affluents, la Lys, dans laquelle se jettent la Deûle et la Marque. Ces quatre cours d'eau présentent des vallées assez larges et marécageuses. Cependant, ce n'est ni la topographie, ni le réseau hydrographique qui retiendra notre attention, mais bien le caractère urbain de cette région.

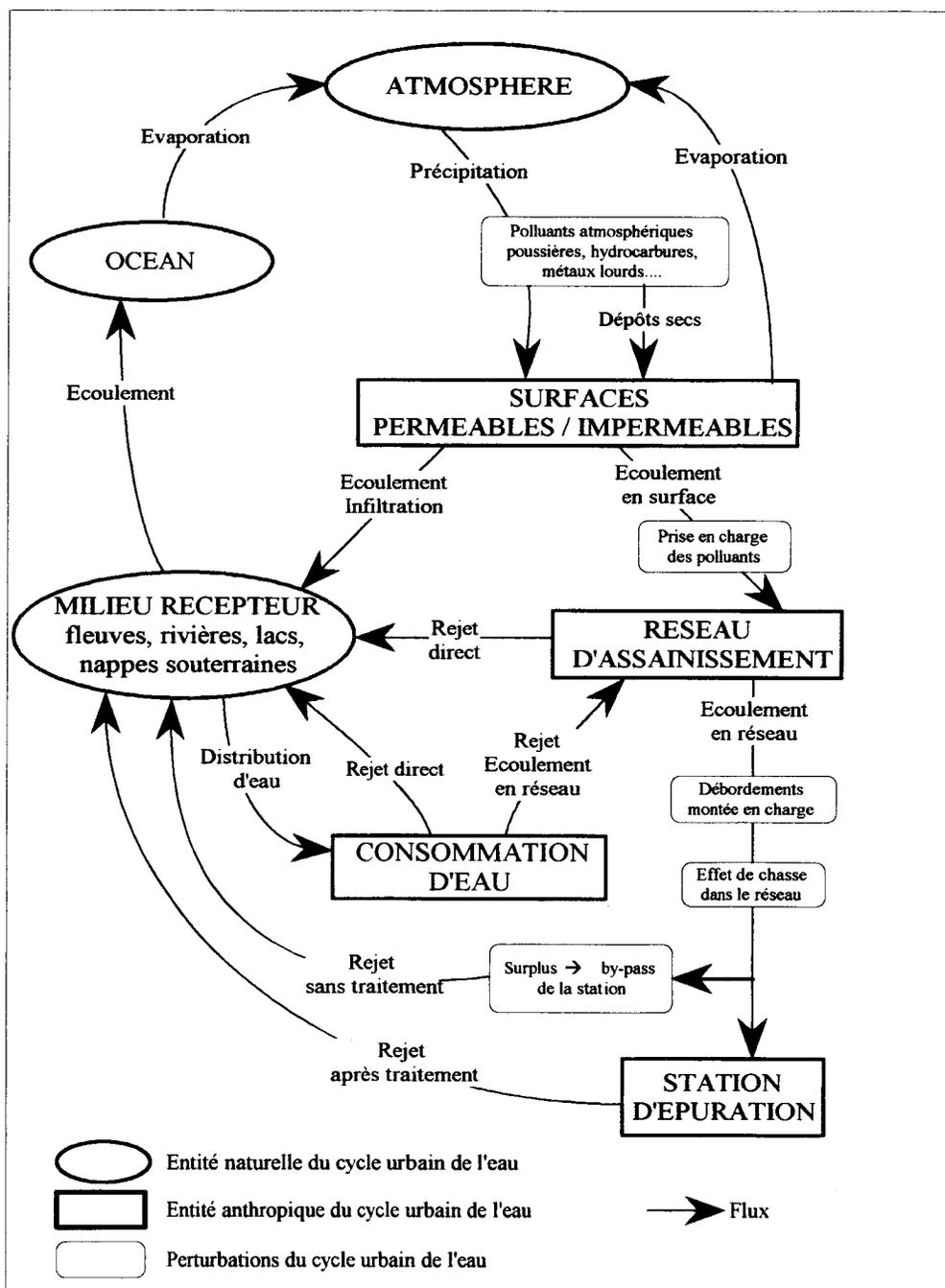
L'objectif de cette thèse est d'apporter des éléments sur la pluviométrie locale utiles aux gestionnaires des réseaux d'assainissement et des stations d'épuration, qui ont pour mission d'optimiser la gestion des eaux pluviales en tenant compte des nouvelles réglementations. La connaissance fine des champs pluviométriques affectant cette région urbanisée s'appuiera sur les différents outils disponibles et permettra de mettre en évidence leurs aptitudes respectives à répondre aux besoins de l'hydrologie urbaine.

La première partie constitue une approche stationnelle de la pluviométrie locale, basée sur l'analyse des données du pluviographe de Lesquin. Elle cherchera à en définir les principaux caractères à différentes échelles temporelles, de l'année à la journée, en passant par l'échelle mensuelle. L'analyse de la pluie à ces échelles temporelles étant insuffisante en regard de l'objectif fixé, il nous faudra approcher la pluie dans sa réalité physique, c'est-à-dire définir la séquence pluvieuse ou épisode pluvieux, puis en étudier les caractères dans l'objectif de distinguer les différents types de séquences ayant ou non des conséquences néfastes sur la gestion des eaux pluviales.

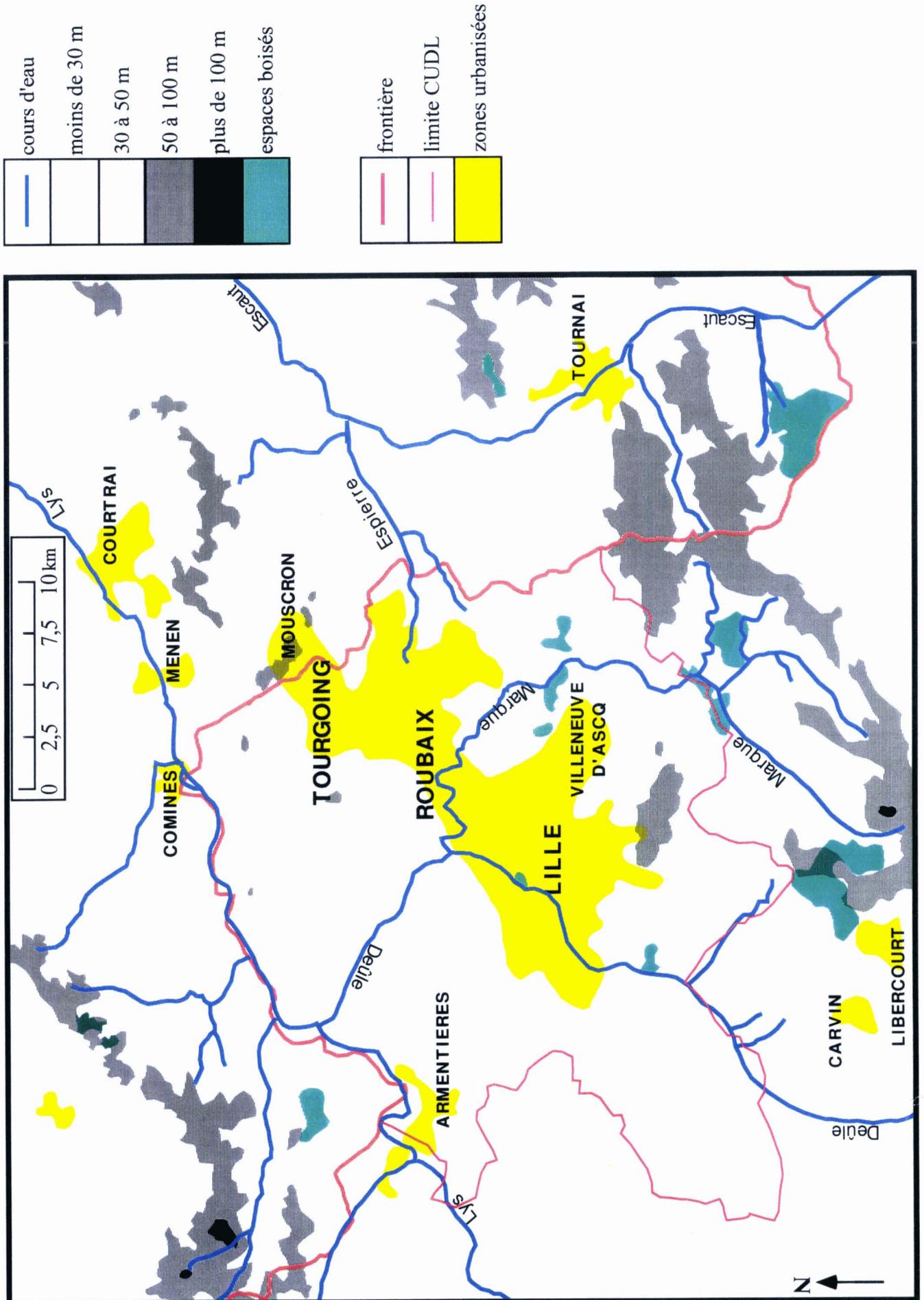
Cette vision stationnelle, justifiable dans une première approche, est complétée, dans la deuxième partie, par une approche spatiale. Celle-ci est basée sur un réseau pluviométrique franco-belge permettant d'obtenir une vision de la répartition spatiale des précipitations à diverses échelles temporelles (annuelle, mensuelle et quotidienne). Mais cette vision des répartitions spatiales de la pluie s'effectue à des échelles temporelles beaucoup trop imprécises pour répondre de manière satisfaisante aux objectifs de l'hydrologie urbaine.

C'est pourquoi, l'association de deux nouveaux outils, beaucoup plus performants, sera abordée dans la troisième partie. Il s'agit du réseau de pluviographes de la Communauté Urbaine de Lille, équipée depuis 1992, et du radar d'Abbeville. Le but de cette troisième partie est de vérifier s'il est possible d'utiliser le radar d'Abbeville pour l'étude d'épisodes pluvieux affectant l'agglomération lilloise, ce qui revient à tester la qualité des données fournies par le radar à l'aide des données du réseau de pluviographes.

Figure n°1 : Schéma du cycle urbain de l'eau et impact des eaux pluviales.



Carte n°1 : Contexte géographique de l'agglomération lilloise.



PREMIERE PARTIE

APPROCHE STATIONNELLE DE LA PLUVIOMETRIE DE L'AGGLOMERATION LILLOISE PAR L'ANALYSE DES DONNEES DU PLUVIOGRAPHE DE LESQUIN

CHAPITRE 1

L'homogénéisation des données du pluviographe de la station météorologique de Lille-Lesquin.

CHAPITRE 2

La pluviométrie lilloise : des précipitations annuelles aux précipitations journalières.

CHAPITRE 3

Les séquences pluvieuses : analyse fine des précipitations.

Dans cette première partie, la pluviométrie de l'agglomération lilloise est abordée à l'aide des données de la station météorologique de Lesquin. Cette station, localisée aux abords immédiats de l'aéroport régional de Lille-Lesquin, est gérée par Météo-France et appartient au réseau des stations synoptiques. Cette station est située au Sud de l'agglomération lilloise à environ 8 km du centre-ville de Lille, c'est-à-dire dans la frange périurbaine qui borde l'agglomération.

Les mesures sont disponibles sur une longue période puisque la station a été installée en 1946, et couvrent de nombreux paramètres climatologiques. L'opportunité d'avoir à proximité de l'agglomération lilloise une station synoptique ne pouvait être délaissée et c'est pourquoi l'analyse des mesures effectuées à cette station constitue le premier axe de recherche.

En outre, comme toute station synoptique, la station de Lesquin est équipée d'un pluviographe, appareil de mesure qui permet non seulement une mesure plus fine des précipitations en comparaison de celle réalisée à l'aide d'un pluviomètre, mais aussi une mesure moins contraignante puisque bien souvent automatisée. Cette finesse de la mesure constitue un atout supplémentaire pour atteindre l'objectif fixé : connaître le plus précisément possible les précipitations pour répondre aux besoins de l'hydrologie urbaine, à savoir l'optimisation de la gestion des eaux pluviales urbaines.

Il n'a pas paru nécessaire, pour répondre aux objectifs de l'étude, d'avoir recours à une période très longue, aussi seule une décennie a été prise comme échantillon d'étude. Cette décennie a été choisie sur des critères simples, décennie précédent l'année de début de la recherche et surtout pour laquelle les données du pluviographe étaient dépouillées de manière précise. Les critères de choix de cette décennie confèrent finalement aux données un caractère aléatoire, puisque les critères de sélection ne sont en aucun cas des critères objectifs, ou des critères statistiques mais plutôt des considérations techniques.

Le premier chapitre s'attache à faire le point sur la qualité des données du pluviographe de Lesquin et propose une méthode "d'homogénéisation" adaptée à celles-ci, et permet de décider de l'utilisation ultérieure des données.

Le second chapitre entre dans le vif du sujet puisqu'il essaie de définir les divers caractères de la pluviométrie lilloise à différents pas de temps (des précipitations

annuelles aux précipitations journalières) à l'aide des données d'une seule station, Lesquin. Mais, il est clair que l'échelle journalière ne permet pas d'approcher la réalité physique de la pluie, c'est pourquoi il faut parvenir à la définition de séquences pluvieuses à des pas de temps inférieurs à la journée.

Enfin, le troisième chapitre affine l'analyse des précipitations lilloises en travaillant à l'échelle de la séquence de précipitations et propose une classification de ces séquences, conçue comme un outil d'aide à la gestion des eaux pluviales urbaines.

CHAPITRE 1

L'HOMOGENEISATION DES DONNEES DU PLUVIOGRAPHE DE LA STATION METEOROLOGIQUE DE LILLE- LESQUIN.

1.1. PRESENTATION DES DONNEES.....	28
1.1.1. LE FORMAT INITIAL.....	28
1.1.2. POURQUOI L'HOMOGENEISATION DES FORMATS ?.....	29
1.2. HOMOGENEISATION DES DONNEES.....	30
1.2.1. LES CONTRAINTES DE LA METHODE D'HOMOGENEISATION.....	30
1.2.2. DEFINITION DE LA METHODE.....	31
1.2.3. LES CONSEQUENCES DE L'HOMOGENEISATION.....	34
1.3. BILAN DE L'HOMOGENEISATION ET VERIFICATION DES DONNEES DU PLUVIOGRAPHE DE LESQUIN.....	35
1.3.1. BILAN AU PAS DE TEMPS DECENNAL.....	36
1.3.2. BILAN AU PAS DE TEMPS ANNUEL.....	36
1.3.3. BILAN AU PAS DE TEMPS MENSUEL.....	38
1.3.4. BILAN AU PAS DE TEMPS JOURNALIER.....	40

L'utilisation de données météorologiques, quelles qu'elles soient, nécessite classiquement l'étape préliminaire qui consiste à vérifier leur validité.

Les données exploitées dans cette étude proviennent d'un seul appareil de mesure dont la précision d'enregistrement est de 0.2 mm, mais il existe deux sous-périodes correspondant à deux manières d'archiver les enregistrements, le premier correspond à un dépouillement selon la "méthode des cerises", et le second à un archivage des données par périodes de 6 minutes. Ces deux types d'archivage n'ont pas le même format, et la volonté d'homogénéisation concerne donc ces derniers, afin d'obtenir un seul format pour l'ensemble de la période. Lorsque le terme "homogénéisation" est employé, il remplace en fait le terme plus précis "d'homogénéisation des formats".

Suite à l'homogénéisation des formats, une vérification des hauteurs journalières est effectuée à l'aide des données publiées dans le Tableau Climatologique Mensuel de la station de Lille-Lesquin; elle constitue la procédure de validation des données.

La comparaison des hauteurs de pluie est réalisée à plusieurs pas de temps : de la décennie à la journée, ce qui permet d'estimer l'importance des erreurs.

Cette vérification doit permettre de corriger les erreurs si elles existent et d'établir les possibilités d'exploitation des données du pluviographe de Lesquin.

1.1. PRESENTATION DES DONNEES.

1.1.1. LE FORMAT INITIAL.

Pendant la période 1982-1991, la mesure de la pluie à la station de Lille-Lesquin est effectuée à l'aide d'un pluviographe à transducteurs dont la hauteur de surface de réception (2000 cm²) est à 1 mètre du sol (Annexe n°1) La précision des enregistrements est de 0.2 mm. Ce pluviographe à transducteurs a été installé en mars 1979.

Jusqu'en 1988, les données du pluviographe étaient dépouillées puis réajustées en fonction des cumuls mesurés par le pluviomètre, et ce, toutes les 6 heures, d'où l'existence de valeurs n'étant pas forcément multiple de 0.2 mm, mais aussi de 0.1 mm.

A partir de 1988, une station automatique a été installée, la mesure de la pluie s'effectue donc toutes les 6 minutes par une "interrogation" du pluviographe et par un comptage des basculements ayant eu lieu pendant les 6 minutes précédentes.

L'ensemble de ces données forme un fichier (Precip.dta) couvrant la période janvier 1982 à mars 1991, dans lequel sont reportées la date, l'heure, la durée en minutes, et la hauteur précipitée en millimètres, et ce, quelque soit le mode originel de dépouillement des données, c'est-à-dire aussi bien lorsque le dépouillement correspond à la "méthode des cerises" que lorsqu'il s'agit d'une "interrogation" toutes les 6 minutes du pluviographe.

1.1.2. POURQUOI L'HOMOGENEISATION DES FORMATS ?

Un simple cumul annuel des hauteurs précipitées a permis de détecter certaines erreurs, en particulier pour 1988, 1989 et 1990 (Tableau n°1).

Ces erreurs semblent être corrélées avec le passage à l'informatisation des stations qui a induit une mauvaise retransmission des données à Toulouse (centre d'archivage français), ce problème s'est d'ailleurs rencontré pour d'autres pluviographes des stations synoptiques.

Tableau n°1 : Comparaison des cumuls (en mm) des données du pluviographe et des données du pluviomètre indiquées sur le T.C.M. de Lille-Lesquin.

	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Precip.dta	734.6	647.5	820.2	599.3	729.6	686.8	495.2	124.8	614.6
T.C.M.	736.0	648.0	830.5	643.8	779.7	826.2	735.4	669.6	724.3
Ecart	- 1.4	- 0.5	- 10.3	- 44.5	- 50.1	- 139.4	- 240.2	- 544.8	- 109.7

Comme il était possible d'obtenir les données sur support papier pour 1988, 1989, 1990 et 1991, au pas de temps de 6 minutes, une bonne partie des erreurs a pu être rectifiée par la saisie de ces données, qui permet ainsi d'éviter les problèmes de retransmission informatique des données.

Il est donc préférable pour les années 1988-1991 d'utiliser ces données archivées sur papier plutôt que celles disponibles à l'origine (contenues dans le fichier Precip.dta).

En définitive, les données se présentent de deux manières :

- de 1982 à 1987 : les données correspondent à un dépouillement selon la "méthode des cerises", avec des intervalles de temps variables, (cette méthode est expliquée au paragraphe suivant);

- de 1988 à 1991 : les données correspondent au résultat d'une "interrogation" du pluviographe toutes les 6 minutes.

Afin de pouvoir analyser, de manière identique, ces données sur une période de 10 ans, période d'une durée intéressante d'un point de vue statistique, il faut aboutir à une présentation homogène.

C'est pourquoi il a fallu mettre en place une procédure permettant l'homogénéisation des formats; cette procédure décrite dans le paragraphe suivant connaît quelques contraintes mais reste facilement réalisable.

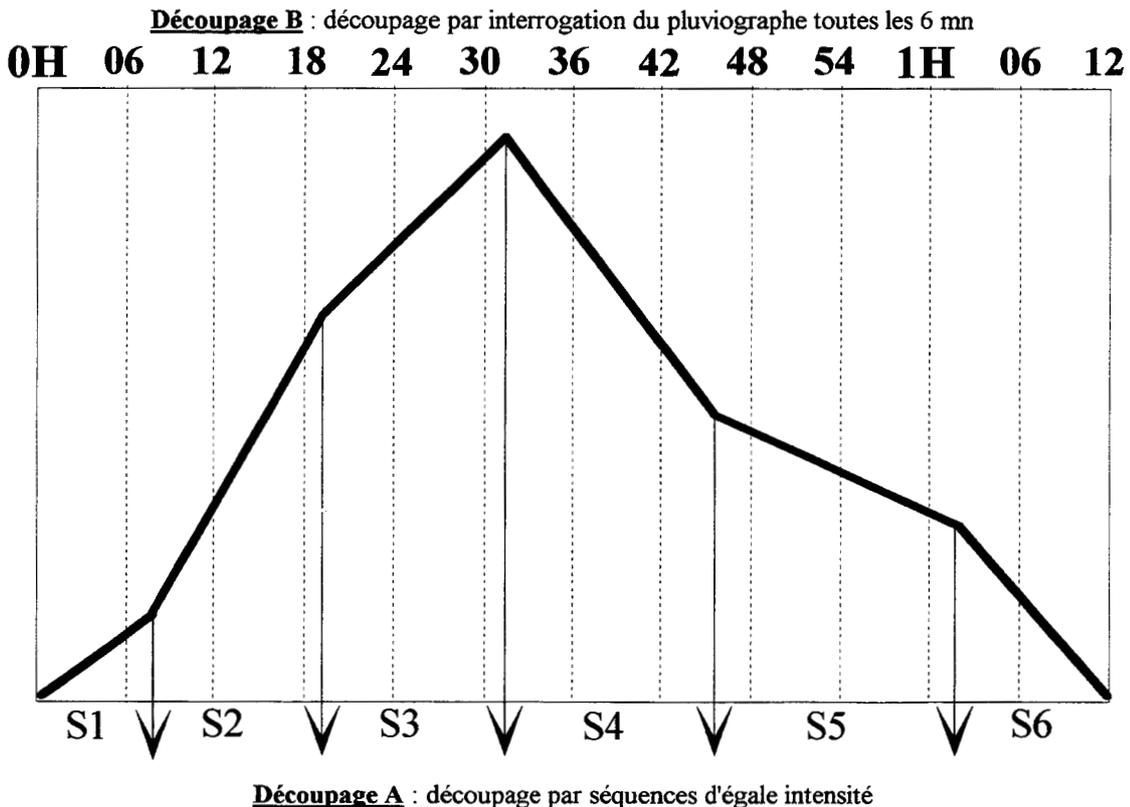
1.2. HOMOGENEISATION DES DONNEES.

1.2.1. LES CONTRAINTES DE LA METHODE D'HOMOGENEISATION.

Rappel de la présentation des données du pluviographe de Lesquin :

- tout d'abord, pour la période 1982-1987, les données correspondent à un découpage en séquences d'égale intensité (A);
- à partir de 1988 les données correspondent à une interrogation du pluviographe toutes les 6 minutes (B).

Figure n°2 : Variation de l'intensité au cours d'une séquence pluvieuse et présentation des deux découpages (A et B).



Le schéma (Figure n°2) montre qu'un découpage de l'événement pluvieux selon un critère d'égale intensité (A) donnera (S1 NS) séquences de durée variable, alors qu'un découpage selon un pas de temps de 6 minutes (B) donnera S.P. séquences de durée 6 minutes et d'inégale intensité, avec parfois une intensité qui sera une association de deux intensités différentes.

Le découpage selon un pas de temps de 6 minutes ne permet pas de retracer la courbe de la variation de l'intensité. En effet, seul le nombre de basculements est à disposition et non leur répartition au sein des séquences de 6 minutes, répartition qui peut prendre de multiples formes.

Cette perte d'information ne peut malheureusement être comblée, et c'est pourquoi pour aboutir à une homogénéisation des formats des données du pluviographe de Lesquin, il faut mettre les données de la première période (1982-87) sous la forme de la seconde (1988-91).

Le choix du sens de l'homogénéisation étant imposé, il reste à trouver une méthode permettant la transformation des données de la première période (1982-1987).

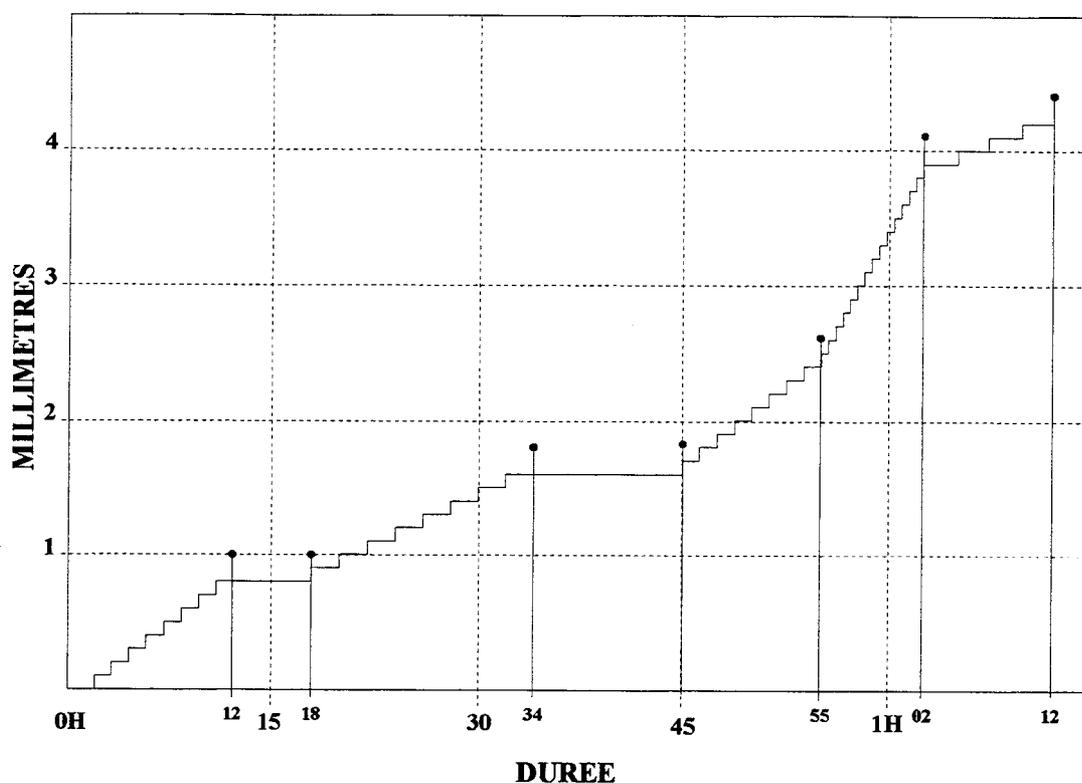
1.2.2. DEFINITION DE LA METHODE.

Les données de la première période (1982-87) sont issues d'un dépouillement de pluviogrammes selon la méthode dite "méthode des cerises", c'est-à-dire un dépouillement qui prend en compte des séquences d'égale intensité, ainsi dans le fichier l'heure des ruptures de pente et la hauteur précipitée entre ces deux ruptures de pente sont indiquées.

Un exemple permet de présenter le dépouillement d'un pluviogramme selon la "méthode des cerises" (Figure n°3). Dépouillement retranscrit de la manière suivante dans le fichier fourni par Météo-France : Année - Mois - Jour - Durée - Hauteur (Tableau n°2).

Tableau n°2 : Retranscription du dépouillement de l'événement pluvieux présenté en exemple.

Année	Mois	Jour	Heure	Durée	Hauteur	Séquences
1982	01	01	00H02	10	0.8	S1
1982	01	01	00H12	6	0.0	S2
1982	01	01	00H18	16	0.8	S3
1982	01	01	00H34	11	0.0	S4
1982	01	01	00H45	10	0.8	S5
1982	01	01	00H55	7	1.4	S6
1982	01	01	01H02	10	0.4	S7

Figure n°3 : Exemple de dépouillement par la "méthode des cerises".

A partir de ce postulat (intensité égale entre deux points de rupture de pente), il est possible de dire que les X_i basculements qui ont lieu entre t et $(t + Y)$ sont répartis régulièrement dans la séquence de durée Y_i . Il y a donc eu $E_i = (X_i / Y_i)$ basculements par minute pendant la séquence de durée Y_i .

Exemple : séquence S3 pour laquelle la hauteur précipitée est de 0.8 mm répartis sur 16 minutes, le calcul de E est le suivant : $E = 0.8 / 16 = 0.05$ mm/minute ou 0.5 basculement par minute ou encore 1 basculement toutes les 2 minutes. Si l'on procède à ce calcul sur l'ensemble de l'événement, on obtient (E_1, E_2, \dots, E_n) respectivement (Y_1, Y_2, \dots, Y_n) fois.

Le principe d'enregistrement de la station automatique est le suivant : toutes les 6 minutes de 00H00 à 23H54 la station "interroge" le pluviographe et compte le nombre de basculements ayant eu lieu pendant les 6 minutes précédentes. Ainsi, même si la hauteur précipitée est supérieure à un nombre entier de basculements, seul ce nombre entier est comptabilisé; par exemple, si pendant une période de 6 minutes la hauteur précipitée est de 0.45 mm, la donnée enregistrée sera 0.4 mm (soit 2 ou 4 basculements) et les 0.05 mm restants seront associés à la prochaine donnée enregistrée puisqu'en réalité ces 0.05 mm d'eau sont encore dans le premier auget, et n'ont fait l'objet d'aucun basculement.

Pour respecter ce principe d'enregistrement, il faut :

- mettre en place un découpage toutes les 6 minutes débutant à 00H00 et non à l'heure indiquée dans le découpage selon la "méthode des cerises" comme heure de début de séquence pluvieuse;

- cumuler les E_i et placer le basculement à la minute où l'on atteint au moins 0.1 mm (les données résultant du dépouillement des pluviogrammes étant multiples selon les séquences pluvieuses de 0.1 ou de 0.2 mm, le choix d'un basculement à 0.1 mm s'impose afin de ne pas omettre pour certaines séquences une partie de la hauteur précipitée);

- additionner ces basculements par période de 6 minutes, pour les 6 minutes précédentes.

Pour illustrer le propos, voici l'application de la méthode à la même séquence S3 de l'événement pluvieux qui sert d'exemple (Tableau n°3). Pendant cette séquence S3 qui a duré 16 minutes, la hauteur d'eau précipitée est de 0.8 mm, E_1 est donc égal à 0.05 mm/minute.

Tableau n°3 : Application de la méthode de comptage des basculements à la séquence S3 de l'événement pluvieux présenté en exemple.

Heure	E_1	Cumul des E_1	Nb. bascul.	Cumul / 6 mn
00H12	0	0	0	0
00H13	0	0	0	
00H14	0	0	0	
00H15	0	0	0	
00H16	0	0	0	
00H17	0	0	0	
00H18	0.05	0.05	0	0
00H19	0.05	0.1	1	
00H20	0.05	0.15	0	
00H21	0.05	0.2	1	
00H22	0.05	0.25	0	
00H23	0.05	0.3	1	
00H24	0.05	0.35	0	3
00H25	0.05	0.4	1	
00H26	0.05	0.45	0	
00H27	0.05	0.5	1	
00H28	0.05	0.55	0	
00H29	0.05	0.6	1	
00H30	0.05	0.65	0	3
00H31	0.05	0.7	1	
00H32	0.05	0.75	0	
00H33	0.05	0.8	1	
00H34	0	0.8	0	
00H35	0	0.8	0	
00H36	0	0.8	0	2

Finalement, la séquence S3 se présente comme suit dans les fichiers au nouveau format (Cf. Tableau n°4), qui seront utilisés par la suite (Chapitre 3).

Tableau n°4 : Nouveau format des données.

Heure	Hauteur précipitée
de 00H06 à 00H12	0
de 00H12 à 00H18	0
de 00H18 à 00H24	0.3
de 00H24 à 00H30	0.3
de 00H30 à 00H36	0.2

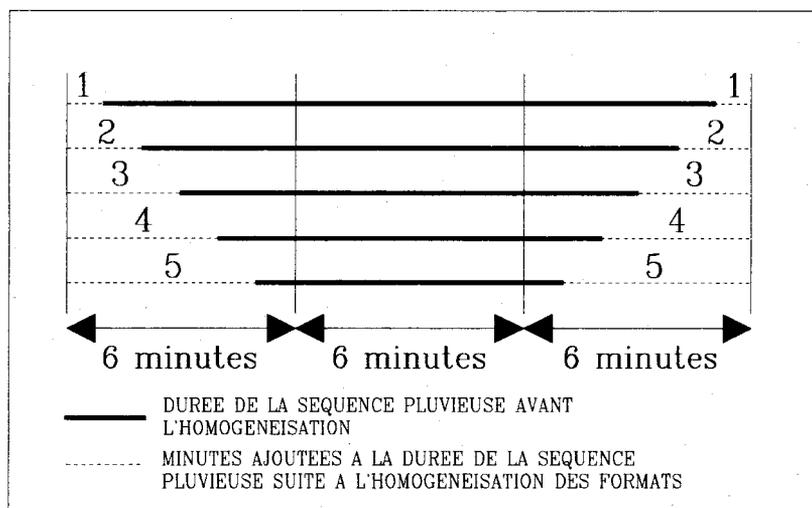
1.2.3. LES CONSEQUENCES DE L'HOMOGENEISATION.

La mise en conformité des données de la première période (1982-87) avec celles de la seconde période (1988-91) n'est pas sans conséquence.

Il paraît assez évident que par cette homogénéisation s'opèrent des modifications et une perte d'information, puisque la formulation des données est beaucoup moins fine.

En fait, c'est essentiellement la durée qui est affectée. En effet, avec cette mise en conformité des formats, la durée est potentiellement augmentée, et cette augmentation sera au maximum de 10 minutes, (Figure n°4). Pour l'exemple de la séquence S3 ci-dessus, la durée n'est plus 16 mais 24 minutes.

Figure n°4 : L'augmentation de la durée d'un événement pluvieux.



En deuxième lieu, ce sont les hauteurs et donc les intensités qui risquent d'être modifiées si l'on arrondit les valeurs des E_i . Aussi, il faudra garder les valeurs sans faire

d'approximation, ce qui permettra de ne pas modifier les hauteurs totales des événements pluvieux (Cf. exemple de la séquence S3 ci-dessus).

En troisième lieu, comme il est déjà dit plus haut, la répartition dans le temps des basculements à l'intérieur des séquences de 6 minutes n'est plus connue.

Aussi, la mise au format "nombre de basculement par périodes de 6 minutes" ne permet plus d'utiliser un pas de temps plus fin (inférieur à 6 minutes) alors que cela était envisageable en exploitant les données sous leur forme initiale.

L'intensité maximale instantanée ne pourra donc plus être aussi bien approchée.

En définitive, grâce à cette homogénéisation des données, il sera possible de comparer les données, et de réaliser des analyses statistiques concernant les événements pluvieux, et ce sur une période de 10 ans.

1.3. BILAN DE L'HOMOGENEISATION ET VERIFICATION DES DONNEES DU PLUVIOGRAPHE DE LESQUIN.

Après avoir réalisé la mise au format 6 minutes des données de la période 1982-1987 et après saisie des données 6 minutes de 1988, 1989, 1990 et 1991, une vérification des hauteurs s'imposait, afin de voir dans quelle mesure les données sont exploitables.

Cette vérification a été effectuée au pas de temps journalier en comparant les cumuls 6H du jour à 6H du lendemain des données homogénéisées aux données journalières du T.C.M..

Le Tableau Climatologique Mensuel est une source facilement consultable mais qui surtout présente l'intérêt de fournir les hauteurs mesurées par le même appareil sous un format différent. En effet, les données du T.C.M. correspondent au cumul sur 24 heures des basculements enregistrés par le pluviographe.

Cette vérification ne permet que très rarement le réajustement des données, mais présente par contre l'avantage de répertorier les jours affectés par des erreurs (manques ou surplus).

Avant de dresser un bilan à l'échelle journalière des écarts, aussi bien positifs que négatifs, par rapport aux données du T.C.M., et même si c'est ce bilan qui est le plus utile vis-à-vis de l'utilisation ultérieure des données, il paraît intéressant d'effectuer un bilan à différents pas de temps : décennie, année, mois.

Ces différents pas de temps permettent de présenter, à une échelle de plus en plus fine, les éventuelles erreurs et d'estimer, selon le pas de temps, la part d'erreur et ce qu'elle représente en volume.

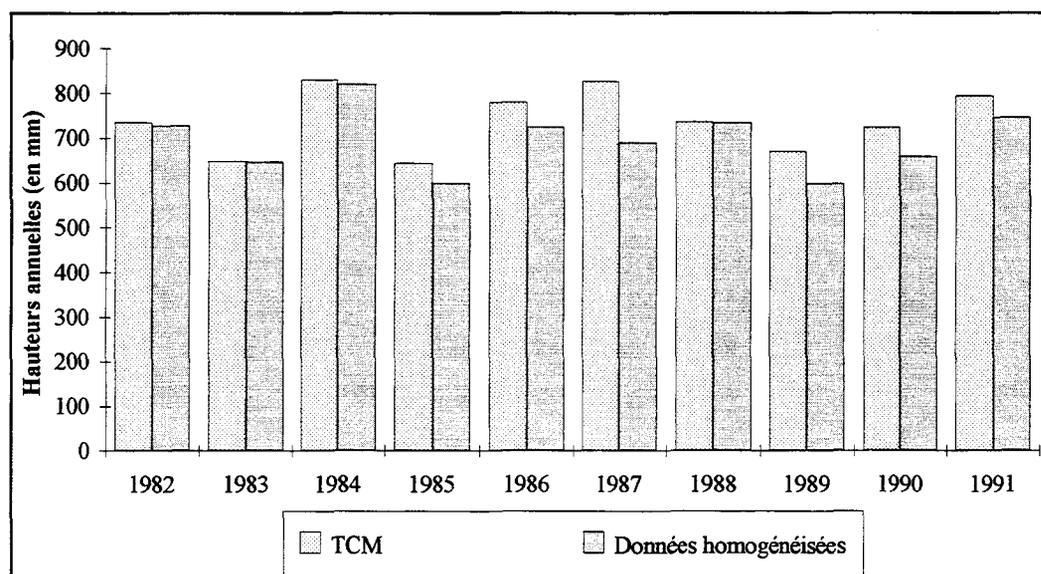
1.3.1. BILAN AU PAS DE TEMPS DECENNAL.

A l'échelle de la décennie 1982-1991, après l'homogénéisation et la vérification des données, les précipitations manquantes correspondent à 438.6 mm soit 6 % de la pluviométrie de la décennie, et donc une très faible part des volumes précipités.

1.3.2. BILAN AU PAS DE TEMPS ANNUEL.

Le Graphique n°1 compare les données du TCM à celles obtenues après homogénéisation (mise au format 6 minutes) et après saisie des données 6 minutes pour la période 1988-1991.

Graphique n°1 : Comparaison du total annuel des valeurs du T.C.M. et des valeurs homogénéisées de 1982 à 1991 à Lille-Lesquin.



Il apparaît que 6 années sur 10 sont affectées par des manques de données importants (1985, 1986, 1987, 1989, 1990 et 1991). A contrario 4 années semblent peu affectées par des manques (1982, 1983, 1984, 1988). Ces manques peuvent être attribués soit à un mauvais report des données ou à un dépouillement défectueux des pluviogrammes pour 1985, 1986 et 1987. Par contre, après 1988, les erreurs sont le plus souvent le fait de "listings" manquants, de pannes d'électricité ou de pannes du pluviographe.

Le Tableau n°5 donne les valeurs des écarts entre valeurs homogénéisées puis vérifiées et celles du T.C.M.

Il est clair, à la lecture de ce tableau, qu'il existe des écarts importants. Néanmoins, il apparaît nettement que la saisie des données de 1988 à 1991 a permis de substantiels gains (+ 35 % pour 1988-1990).

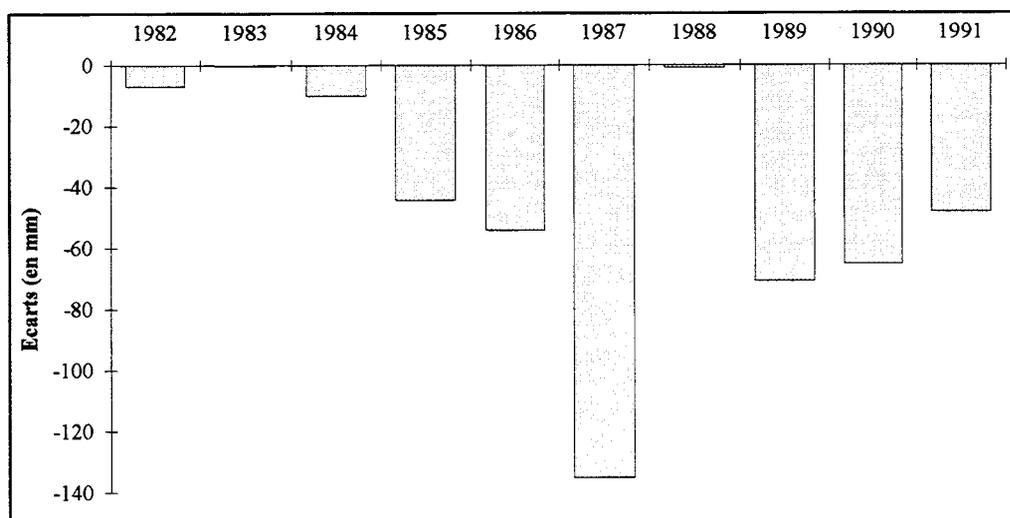
Tableau n°5 : Ecarts annuels avant et après vérification - Bilan des gains et pertes.

Année	T.C.M.	Données homogénéisées	Ecart avant homogénéisation et saisie 1988-91	Ecart après homogénéisation et vérification	Gain ou perte
1982	736	728.9	-1.4	-7.1	-5.7
1983	648	647.5	-0.5	-0.5	0
1984	830.5	820.3	-10.3	-10.2	+0.1
1985	643.8	599.2	-44.5	-44.6	-0.1
1986	779.7	725.3	-50.1	-54.4	-4.3
1987	826.2	690.7	-139.4	-135.5	+3.9
1988	735.4	734.3	-240.2	-1.1	+239.1
1989	669.6	598.2	-544.8	-71.4	+473.4
1990	724.3	658.8	-109.7	-65.5	+44.2
1991	794.3	745.8	-	-48.5	-

Au total, après homogénéisation et vérification, les gains sont nettement plus importants en valeur absolue que les pertes, toujours inférieures à 10 mm, alors que les gains atteignent jusqu'à 474 mm.

Outre ce gain d'information, il reste néanmoins des écarts négatifs pouvant atteindre au maximum 136 mm. Le Graphique n°2 est très explicite, et met en évidence l'année 1987 comme étant celle qui pose le plus de problèmes.

Graphique n°2 : Ecarts annuels entre les valeurs du T.C.M. et les valeurs homogénéisées de 1982 à 1991 à Lille-Lesquin.



Ce graphique présente des écarts absolus, aussi pour le compléter, il est utile de calculer ces écarts en pourcentage du total annuel du T.C.M. (Tableau n°6).

Tableau n°6 : Ecart absolu et écart relatif.

	Ecart en valeur absolue	Ecart en valeur relative
1982	-7.1	-1.0 %
1983	-0.5	-0.1 %
1984	-10.2	-1.2 %
1985	-44.6	-6.9 %
1986	-54.4	-7.0 %
1987	-135.5	-16.4 %
1988	-1.1	-0.1 %
1989	-71.4	-10.7 %
1990	-65.5	-9.0 %
1991	-48.5	-6.1 %

Après calcul de ces écarts en valeurs relatives, l'année 1987 est l'année posant le plus de problèmes, avec près d'un cinquième (16.4 %) de la hauteur annuelle manquante, suivie par 1989 et 1990 où il manque environ un dixième de la hauteur annuelle (respectivement 10.7 % et 9 %).

Ensuite, les années 1985, 1986 et 1991 présentent des manques de l'ordre de 6 ou 7 %.

Enfin, les années 1982, 1983, 1984 et 1988 sont en bonne position puisqu'elles affichent des manques compris entre 0.1 % et 1.2 %.

1.3.3. BILAN AU PAS DE TEMPS MENSUEL.

Le Tableau n°7 montre que les écarts négatifs s'échelonnent entre -28.6 mm (02/1990) et -0.1 mm (08/1984), et les écarts positifs entre +0.1 mm (07/1984) et +3.8 mm (09/1982).

Les écarts nuls sont peu nombreux : 5 cas (06/1984, 12/1988, 05/1989, 07/1990 et 06/1991).

Au total on dénombre 83 mois ayant un écart négatif, 32 mois avec un écart positif et 5 mois avec un écart nul. En d'autres termes, près de 70 % des mois comportent des manques, près de 25 % présentent des surplus et enfin, environ 5 % des mois sont corrects.

Tableau n°7 : Ecart mensuels (en mm) entre les données homogénéisées et le T.C.M.

	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
Janvier	-4.7	-2.0	-0.6	-6.3	-6.0	-0.2	-4.1	-0.9	-4.8	-0.6
Février	0.2	0.2	-0.6	-3.1	-4.4	-8.3	-0.2	-0.2	-28.6	-10.5
Mars	-0.4	-1.1	-0.9	-0.4	-6.9	-22.7	1.6	-5.5	1.0	-5.0
Avril	1.1	0.8	0.2	-2.2	-7.8	-4.1	0.4	-14.4	-1.4	-2.4
Mai	1.2	-0.8	0.8	-1.4	-1.2	-7.9	-0.4	0.0	-0.2	0.2
Juin	-15.7	0.3	0.0	-5.8	-5.0	-9.2	-0.4	-4.2	-10.8	0.0
Juillet	2.7	2.0	0.1	-3.7	-2.2	-16.3	1.2	0.4	0.0	-2.5
Août	1.5	-4.9	-0.1	-2.2	-1.8	-5.4	1.0	-1.2	0.3	0.6
Septembre	3.8	-0.6	-2.0	-1.7	-3.9	-18.1	1.0	-19.8	-6.6	0.2
Octobre	0.4	1.7	-2.4	-2.2	-3.5	-14.9	1.2	-5.1	0.4	-3.4
Novembre	2.1	3.4	-4.0	-13.3	-3.9	-26.7	-2.4	-5.5	-6.0	-2.0
Décembre	0.7	0.5	-0.7	-2.3	-7.8	-1.7	0.0	-14.8	-8.8	-0.6

La moyenne des écarts mensuels est de -3.7 mm, sachant que les écarts sont compris entre -28.6 mm et +3.8 mm. Le Tableau n°8 présente la moyenne des écarts pour chaque année.

Tableau n°8 : Moyenne des écarts mensuels.

Année	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
Ecart mensuel moyen	-0.6	0.0	-0.9	-3.7	-4.5	-11.3	-0.1	-5.9	-5.5	-4.0

Il ressort, une fois de plus, que c'est l'année 1987 qui présente le plus de manques, avec, en moyenne, près de 10 mm par mois. D'autres années, au contraire, présentent une moyenne plus qu'honorable : 1982, 1984 et 1988, voire même une moyenne parfaite : 1983.

Tableau n°9 : Ecart exprimés en pourcentage du total mensuel.

	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
Janvier	-10.9	-3.7	-0.5	-11.0	-6.1	-0.7	-3.6	-2.8	-7.0	-0.9
Février	1.0	0.4	-1.1	-18.1	-73.3	-14.7	-0.3	-0.4	-35.8	-37.9
Mars	-0.8	-1.7	-1.4	-0.6	-6.5	-25.5	1.7	-8.1	8.5	-13.5
Avril	3.5	0.8	0.5	-3.1	-8.3	-11.8	4.4	-14.1	-1.9	-3.6
Mai	1.8	-0.8	0.9	-1.8	-3.8	-10.1	-0.8	0.0	-1.8	0.5
Juin	-15.8	0.5	0.0	-7.2	-10.0	-7.4	-3.2	-6.4	-15.8	0.0
Juillet	6.3	4.8	0.2	-6.5	-7.7	-13.0	1.0	1.0	0.0	-16.7
Août	2.2	-18.5	-0.3	-3.2	-4.2	-6.8	1.9	-4.1	0.5	9.1
Septembre	7.1	-1.4	-1.5	-5.9	-7.2	-67.3	1.4	-29.7	-9.9	0.3
Octobre	0.4	5.1	-2.1	-7.2	-3.4	-16.7	2.6	-7.4	0.4	-5.8
Novembre	3.3	9.5	-5.0	-27.4	-6.9	-34.5	-5.5	-24.0	-6.9	-1.7
Décembre	0.7	1.2	-1.9	-5.1	-7.2	-9.6	0.0	-14.9	-10.8	-1.2

Les écarts exprimés en pourcentages du total mensuel (Cf. Tableau n°9) enrichissent l'information. En effet, ce tableau montre qu'une grande majorité de mois sont affectés par de faibles écarts puisque 80 % des mois ont un écart (en valeur absolue) inférieur à 10 % du total mensuel.

Pour les écarts (en valeur absolue) compris entre 10 et 30 %, on dénombre 20 mois sur 120 soit environ 17 % des mois.

Pour les 3 % restants, ils se partagent entre les écarts (en valeur absolue) compris entre 30 et 60 % (3 mois) et ceux supérieurs à 60 % (2 mois).

Ces 5 mois posant de réels problèmes sont février 1986 et septembre 1987, suivis par février 1991 et 1990, et novembre 1987.

1.3.4. BILAN AU PAS DE TEMPS JOURNALIER.

Sur l'ensemble de la période, on dénombre 695 jours où l'écart est négatif (soit 19 % des jours de la période), 2539 jours où l'écart est nul (soit 69 %) et 418 jours où l'écart est positif (soit 12 %).

Vu le caractère aléatoire des erreurs, il ne s'agit pas d'erreurs liés à l'étalonnage du pluviographe, ni de problème d'horloge puisqu'aucun décalage temporel n'a été détecté.

Ainsi, de 1982 à 1987, les écarts négatifs ou positifs correspondent le plus souvent à un mauvais dépouillement des pluviogrammes, alors qu'à partir de 1988, il s'agit pour les écarts négatifs, probablement de données qui ont été reportées dans le T.C.M. et dont les "listings" ont été perdus par la suite, et pour les écarts positifs, il s'agit probablement d'oublis de report dans le T.C.M.

Les écarts journaliers sont compris entre - 24.6 et + 7.2 mm, et présentent une moyenne de - 0.4 mm, et un écart-type de 1.4 mm. Là encore la variabilité est forte, le coefficient de variation le prouve puisqu'il est de l'ordre de 350 %. En fait, il s'agit ici d'un phénomène de concentration des écarts dans les faibles valeurs positives ou négatives, concentration qui explique la forte variabilité (Graphique n°3).

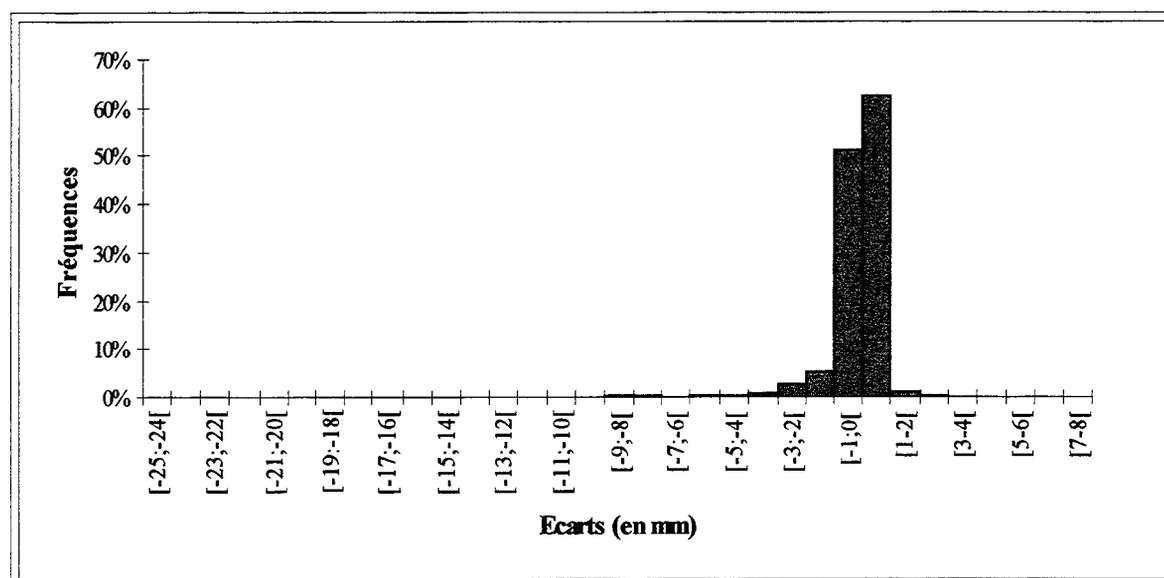
En effet, pour les écarts positifs, 95 % d'entre eux sont inférieurs à 1 mm, et parmi les écarts négatifs, 80 % sont compris entre 0 et -1 mm (c'est-à-dire ayant une valeur absolue comprise entre 0.1 et 0.9 inclus).

En d'autres termes, 85 % des écarts sont compris dans l'intervalle [-0.9 ; +0.9], qui peut être considéré, pour certaines journées où la hauteur précipitée est importante, comme

une erreur acceptable. En bref, ce sont des écarts correspondant aux erreurs classiques de métrologie.

Enfin, les 15 % restants se partagent de manière très inégale puisqu' une majorité des écarts sont négatifs (près des 9/10). Parmi ces écarts supérieurs ou égaux à 1 mm en valeur absolue, 85 % sont inférieurs à 5 mm. Les écarts ayant une valeur absolue élevée offrent donc une très faible représentativité : 15 % d'entre eux sont supérieurs à 5 mm, et seulement 2% sont supérieurs à 10 mm. Ces jours pour lesquels l'écart, positif ou négatif, est supérieur ou égal à 1 mm sont répertoriés à l'Annexe n°2.

Graphique n°3 : Histogramme des écarts entre valeurs du T.C.M. et valeurs des fichiers homogénéisés, à Lesquin (1982-1991).



En définitive, l'étude des écarts à différents pas de temps permet de cerner les problèmes.

Au pas de temps décennal, il apparaît un manque global de 440 mm ce qui fait en moyenne - 44 mm par an. Cette moyenne se montre, comme c'est souvent le cas, assez peu révélatrice de la réalité puisque les écarts annuels (tous négatifs) sont compris dans l'intervalle [-135.5 ; -0.5], ce qui implique une grande variabilité interannuelle des manques. La comparaison avec l'écart existant préalablement à la saisie des données 6 minutes de la période 1988-1990 et à l'homogénéisation, montre un réel gain d'information, puisque l'écart décennal s'est amoindri de 750.6 mm (tout en sachant qu'il est impossible d'estimer le gain pour 1991 puisque n'était disponible au préalable qu'un seul trimestre de 1991).

L'étude au pas de temps annuel montre 1987 comme une "année noire", suivie par 1989, 1990, 1986, 1991 et 1985. Quant à l'étude au pas de temps mensuel, elle confirme le fait que 1987 connaît de réels problèmes.

Enfin, l'étude au pas de temps journalier modère le propos puisque 85 % des écarts ont une valeur absolue inférieure ou égale à 0.9 mm, ce qui implique que seule une minorité de jours sont concernés par d'importants écarts. C'est cette minorité de jours qu'il va falloir connaître afin d'ôter, dans les fichiers de séquences pluvieuses (sélectionnées selon un seuil de durée de temps sec), celles qui seront concernées par des écarts importants. Ainsi, même si les populations de séquences pluvieuses ne sont pas exhaustives, les séquences pluvieuses étudiées seront au moins correctes en matière de hauteurs précipitées;

Il est donc clair, que pour travailler sur la pluie annuelle, la pluie mensuelle et sur la pluie journalière à la station de Lille-Lesquin, il sera préférable d'utiliser les données du T.C.M. plutôt que celles du fichier homogénéisé. L'analyse de ces données sera l'objet du Chapitre 2.

Les données du fichier homogénéisé ne seront donc utilisées que pour l'étude des séquences pluvieuses définies par un seuil de durée de temps sec (Chapitre 3) pour lesquelles il n'existe en fait aucune autre source, en tenant compte du fait que l'étude ne pourra être totalement exhaustive en matière de hauteur de pluie et de durée des événements, et du nombre de séquences pluvieuses.

Enfin, il faut souligner que les erreurs relevées ici ont un caractère totalement aléatoire, il ne s'agit ni d'erreur d'étalonnage du pluviographe, les hauteurs manquantes n'ayant pas de caractère systématique, ni de problème d'horloge, aucun décalage temporel n'a été détecté, ni d'erreur à caractère périodique (c'est-à-dire se produisant toujours au même moment). Les données manquantes sont soit attribuées à des coupures d'électricité, à la perte de pages composant le "listing", ou encore aux problèmes de transmission des données au centre météorologique de Toulouse.

CHAPITRE 2

LA PLUVIOMETRIE LILLOISE : DES PRECIPITATIONS ANNUELLES AUX PRECIPITATIONS JOURNALIERES

2.1. DES PRECIPITATIONS ANNUELLES GLOBALEMENT PLUS ABONDANTES QUE LA NORMALE.....	47
2.1.1. VOLUMES, DUREES ET TYPES DE PRECIPITATIONS.	47
2.1.2. LA DECENNIE 1982-1991 VIS-A-VIS DE LA NORMALE CLIMATOLOGIQUE : COMPARAISON DES CARACTERISTIQUES DES PRECIPITATIONS ANNUELLES.	50
2.2. LES PRECIPITATIONS MENSUELLES.	63
2.2.1. LES TOTAUX PLUVIOMETRIQUES MENSUELS.	64
2.2.2. LES DUREES MENSUELLES DE PRECIPITATIONS.	70
2.2.3. REPARTITION MENSUELLE DES DIFFERENTS TYPES DE PRECIPITATIONS.	72
2.3. LES PRECIPITATIONS JOURNALIERES.	75
2.3.1. PREMIERE APPROCHE DES PRECIPITATIONS JOURNALIERES PAR LE NOMBRE DE JOURS DE PRECIPITATIONS.	75
2.3.2. LES HAUTEURS ET DUREES JOURNALIERES.....	82
2.3.3. LES TYPES DE PRECIPITATIONS.....	87

Le but de ce chapitre est d'énoncer à la fois les caractères de la pluviométrie lilloise à différentes échelles temporelles pour la normale 1951-1980 et la période étudiée (1982-1991) en utilisant les données de la station météorologique de Lesquin.

Les caractères présentés ici concernent à la fois, la durée et la hauteur des précipitations, et le type de précipitations.

Dans un premier temps, le choix d'utiliser uniquement les données d'une seule station occulte les variations spatiales. Il est clair que cette position n'est justifiable que dans une première approche de la pluviométrie de l'agglomération lilloise et devra être complétée par une approche spatiale (Deuxième partie).

Les échelles temporelles choisies sont de plus en plus petites : de l'échelle annuelle à l'échelle journalière, en passant par l'échelle mensuelle. Elles permettent d'avoir une vision de la pluviométrie lilloise sous différents angles, et de s'approcher progressivement des échelles temporelles qui intéressent le plus l'hydrologie urbaine : l'échelle journalière et l'échelle de la séquence pluvieuse.

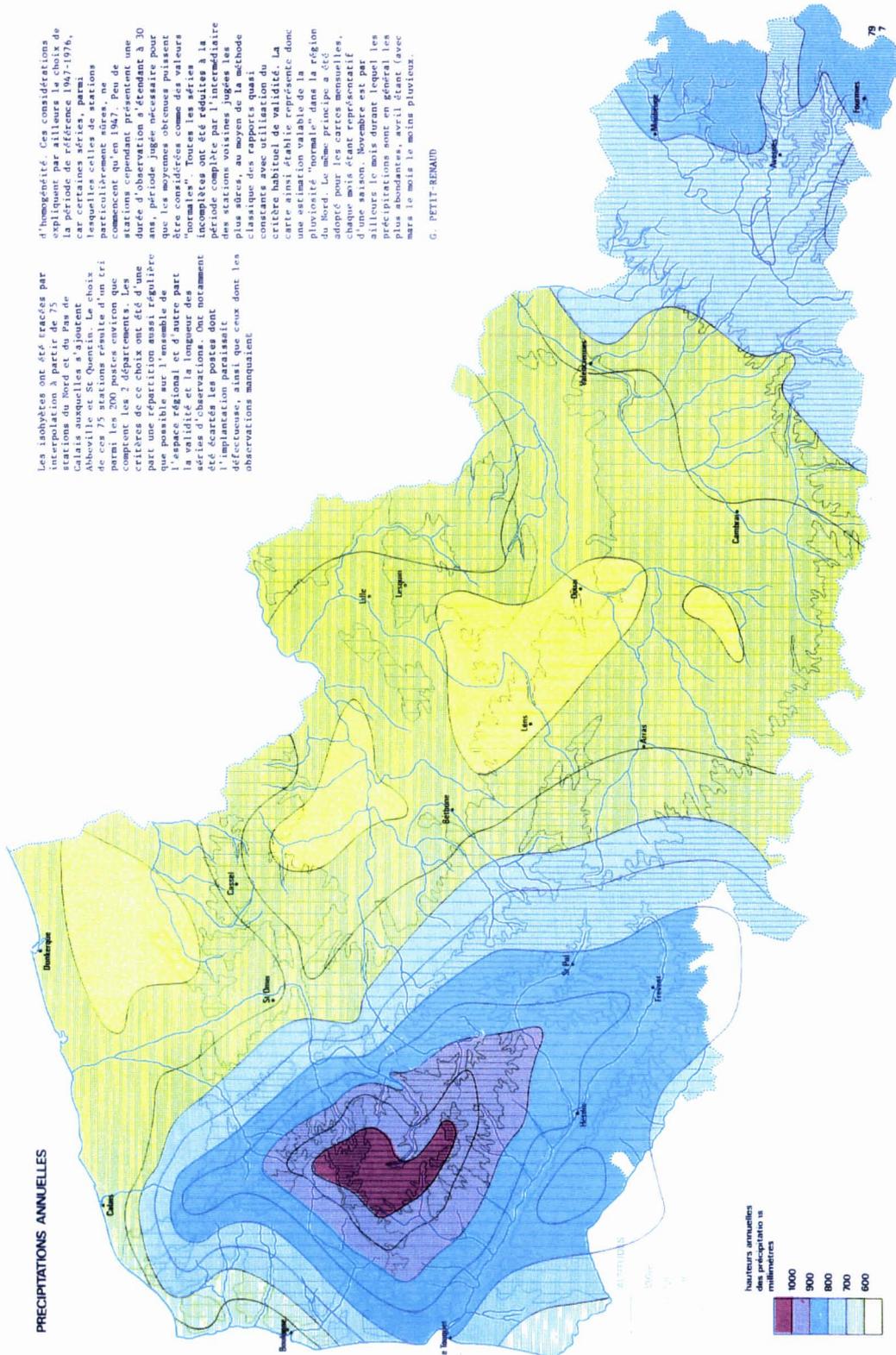
Mais avant toute analyse de la pluviométrie de la station de Lesquin, il semble utile de replacer cette station dans le contexte de la région Nord-Pas-de-Calais. La décroissance des précipitations du Boulonnais vers la frontière belge apparaît clairement sur la Carte n°2.

La station de Lesquin se situe donc dans une zone plus faiblement arrosée, sans toutefois présenter des hauteurs annuelles aussi faibles que les secteurs, du Bassin minier, de la Flandre maritime et d'une partie de la Flandre Intérieure qui semble protégée par les Monts de Flandre.

Par ailleurs, l'altération du climat océanique se manifeste dans les régimes pluviométriques (Carte n°3) : ainsi du littoral à la frontière belge, on passe d'un régime pluviométrique avec un maximum d'automne secondé par l'hiver, à un régime pluviométrique avec un maximum d'automne secondé par l'été.

C'est ce remplacement du maximum secondaire d'hiver par un maximum secondaire d'été qui souligne le plus le fait que le climat de la région lilloise est un climat de transition entre un climat océanique et un climat continental.

Carte n°2 : Précipitations annuelles, (Source : ADER - 1979 - Le pays Franc, Région Nord-Pas-de-Calais, Atlas Régional, Second fascicule).



2.1. DES PRECIPITATIONS ANNUELLES GLOBALEMENT PLUS ABONDANTES QUE LA NORMALE.

Premier échelon choisi ici, le pas de temps annuel permet d'aborder les précipitations d'une manière simple et de cerner rapidement les grandes caractéristiques de la pluviométrie de la décennie étudiée. Pour analyser pleinement la pluviométrie de cette période, les caractéristiques prises en compte concernent aussi bien les volumes et les durées, que les types de précipitations.

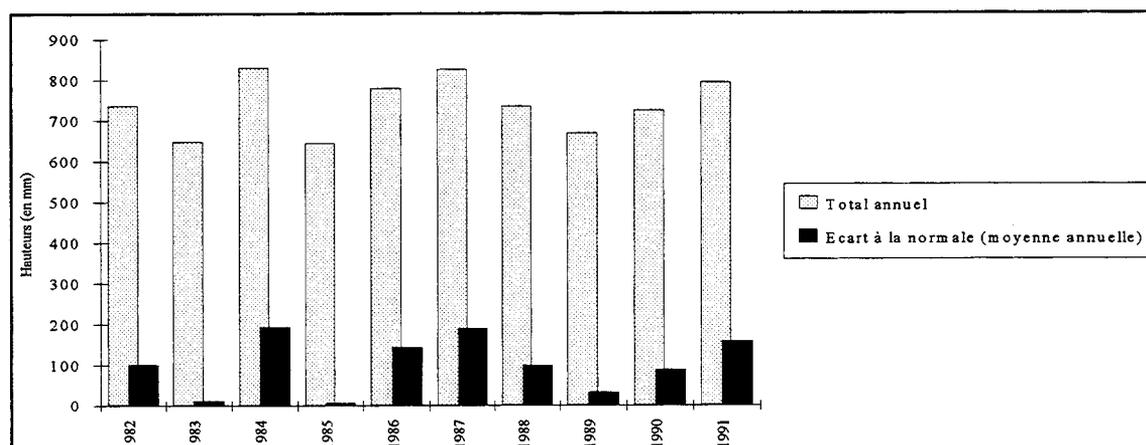
La présentation des précipitations annuelles, aussi bien en termes de volumes qu'en termes de durée ou de types de précipitations, est réalisée en deux temps : tout d'abord une présentation rapide afin de donner les grandes caractéristiques de la décennie 1982-1991, puis la présentation devient plus précise en comparant la décennie étudiée à la normale climatologique (1951-1980).

2.1.1. VOLUMES, DUREES ET TYPES DE PRECIPITATIONS.

La station de Lille-Lesquin présente une moyenne annuelle de 637 mm pour la normale 1951-1980, alors que la moyenne annuelle sur la période 1982-1991 est de 739 mm, la période étudiée présente donc en moyenne des années plus pluvieuses que la "normale".

Cette supériorité de la pluviométrie annuelle se démontre explicitement en traçant le graphe des précipitations annuelles et l'écart de cette précipitation annuelle à la moyenne annuelle de la normale (Graphique n°4).

Graphique n°4 : Pluviométrie annuelle (1982-91) et écart à la précipitation moyenne annuelle de la normale 1951-1980, à Lesquin.



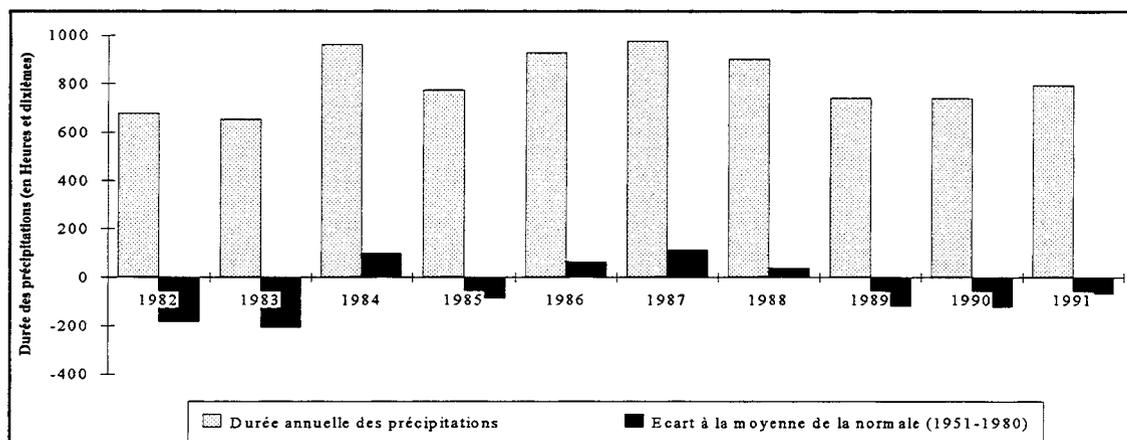
Il apparaît deux faits sur ce graphique :

- d'une part, l'écart positif entre la normale et la période étudiée est un fait constant,

- et d'autre part, cet écart positif est variable d'une année à l'autre, le plus petit étant de 6.8 mm (1985) et le plus grand de 193.5 mm (1984).

En termes de durée annuelle de précipitations, la période 1982-1991, qui compte en moyenne 815 heures (environ 34 jours) est très proche de la normale (1951-1980) puisque celle-ci présente une moyenne de 862.9 heures (soit environ 36 jours). L'écart entre la moyenne de la période 1982-1991 et celle de la normale est, en effet, très faible : -48 heures.

Graphique n°5 : Durée annuelle des précipitations (1982-91) et écart à la durée annuelle moyenne de la normale 1951-1980, à Lesquin.



Vis-à-vis de la normale, il n'existe pas, comme pour les hauteurs annuelles, de constante en matière d'écart, puisque ces derniers sont aussi bien positifs que négatifs (Graphique n°5).

En valeur absolue, ces écarts s'échelonnent de 4 à 25 % de la durée moyenne de la normale, ce qui reste relativement faible. Enfin, il apparaît une légère supériorité des années connaissant un écart négatif puisqu'elles représentent 60 % des années.

Pour compléter cette présentation globale de la pluviométrie annuelle, il est intéressant de connaître le nombre moyen des jours avec chute de neige ou chute de grêles, et des jours avec orage car ces trois types de précipitations occasionnent des problèmes particuliers au niveau des réseaux et des stations d'épuration, problèmes qui seront évoqués lors de l'analyse des précipitations journalières.

L'analyse du Tableau n°10 permet de conclure qu'en moyenne les jours orageux sont plus fréquents que les jours avec chute de neige, eux-mêmes plus fréquents que les jours avec chute de grêle, à la fois pour la normale et pour la période étudiée. Mais ces trois types de précipitations semblent être plutôt exceptionnels vis-à-vis du nombre de jours où les volumes d'eau sont précipités sous d'autres formes (bruine ou pluie).

Néanmoins, la période 1982-1991 se démarque vis-à-vis de la normale par un nombre moyen de jours avec chute de grêle supérieur à celui de la normale et par contre, un nombre moyen de jours avec orage ou avec chute de neige inférieur à celui de la normale.

En ce qui concerne les maxima, la période étudiée ressemble fortement à la normale puisque celle-ci offre un nombre maximum de jours avec chute de grêle égal à celui de la normale, et un nombre maximum de jours avec orage ou chute de neige peu dissemblable de celui de la normale tout en lui étant inférieur.

Tableau n°10 : Nombre moyen et nombre maximum de jours avec orage, avec chute de grêle, avec chute de neige, ou avec chute de bruine ou pluie, pour la normale (1951-1980) et la période 1982-1991, à Lesquin.

	Nombre de jours avec orage		Nombre de jours avec chute de grêle		Nombre de jours avec chute de neige		Nombre de jours avec chute de bruine ou pluie	
	Moyenne	Maximum	Moyenne	Maximum	Moyenne	Maximum	Moyenne	Maximum
Normale (1951-1980)	20	29	3.2	8	19.4	35	-	-
Période (1982-1991)	17.7	27	4.9	8	16.9	31	132.9	150

Il faut noter qu'un jour est répertorié comme jour avec orage, chute de grêle ou chute de neige, à partir du moment où le phénomène a lieu au moins une fois dans les 24 heures, ce qui induit d'une part, que ces phénomènes peuvent connaître potentiellement un nombre de réalisations plus important (si deux chutes de grêle ont lieu le même jour, un seul jour avec chute de grêle sera comptabilisé), et d'autre part, que si deux phénomènes météorologiques différents ont lieu le même jour, ce jour là est compté une fois par type de phénomène.

Il ne faut donc restreindre les chiffres ci-dessus au nombre réel d'orages, de chutes de grêle ou de neige, puisque, par exemple, sur la période 1982-1991, 237 orages ont eu lieu et se sont répartis sur 177 jours.

La part des jours orageux, ou avec chute de neige, ou encore avec chute de grêle vis-à-vis de la durée et de la hauteur totale des précipitations de la décennie 1982-1991 établit les faits suivants :

- les durées de précipitations des jours avec chute de grêle représentent une très faible part de la durée totale des précipitations (2 %), suivis par les jours avec orage et les jours avec chute de neige, respectivement 6.3 et 10 %.

- de même, les hauteurs journalières des précipitations de ces jours avec chute de grêle représentent la plus faible part du volume total de la décennie (4.8 %), quant aux jours avec orage, ils prennent le pas sur les jours avec chute de neige puisqu'ils représentent 16.8 % de la hauteur totale de la période contre 6 %.

Là encore, la comparaison avec les jours où les précipitations sont sous forme de bruine ou pluie, montre une nette prépondérance de ces types de précipitations : 71.5% de la durée totale des précipitations et 67 % de la hauteur totale de la décennie.

Les chiffres indiqués ci-dessus doivent être compris comme des ordres de grandeurs pour au moins deux raisons : d'une part, deux phénomènes sur trois voire les trois phénomènes peuvent se produire le même jour sans que l'on puisse répartir la durée et la hauteur des précipitations imputables aux différents phénomènes météorologiques, et d'autre part, la réalisation d'un de ces phénomènes n'exclue pas les précipitations sous forme de pluie ou de bruine dans le cours de la journée.

En bref, cette présentation globale de la pluviométrie dans la région lilloise pour la période 1982-1991 suggère l'existence de précipitations plus abondantes que la normale, alors que la durée annuelle moyenne des précipitations est du même ordre de grandeur.

Les phénomènes météorologiques, orages, chute de grêle, chute de neige, présentent des fréquences moyennes analogues à celles de la normale, et semblent avoir un caractère exceptionnel par rapport aux précipitations sous forme de bruine ou pluie, extrêmement fréquentes. Il faut aller plus avant dans l'analyse pour vérifier cette hypothèse d'une décennie dont le volume annuel semble supérieur au volume moyen de la normale, et pour cela étudier la variabilité de la pluviométrie annuelle, car il paraît presque certain que seules certaines années influencent ce caractère de "surpluviosité".

2.1.2. LA DECENNIE 1982-1991 VIS-A-VIS DE LA NORMALE CLIMATOLOGIQUE : COMPARAISON DES CARACTERISTIQUES DES PRECIPITATIONS ANNUELLES.

Avant de comparer les divers caractères des précipitations annuelles de la décennie étudiée (hauteur, durée, et types de précipitations) avec les valeurs de la normale, il est utile de préciser quelques caractéristiques de la variabilité de la pluviométrie annuelle à l'aide de

paramètres de dispersion calculés à la fois pour la période de la normale (1951-1980) et pour la période 1982-1991. Les paramètres statistiques calculés ici sont : l'étendue, l'écart absolu moyen, l'écart-type, le coefficient de variation (Tableau n°11).

Tableau n°11 : Paramètres de dispersion des distributions des hauteurs annuelles de la normale 1951-1980 et de la période 1982-1991, à Lesquin.

Paramètres de dispersion	Normale 1951-1980	Période 1982-1991
Etendue	482.4 mm [416.1 - 898.5]	186.7 mm [643.8 - 830.5]
Ecart absolu moyen	104.4 mm	55.1 mm
Ecart-type	122.4 mm	65.7 mm
Coefficient de variation	19 %	9 %

Ce tableau montre clairement une dispersion plus importante des volumes annuels de la normale, tous les paramètres étant supérieurs à ceux de la période 1982-1991. Cependant, il faut rappeler que l'étendue est dépendante de l'effectif pris en compte, ainsi des valeurs extrêmes apparaissent plus fréquemment dans un grand effectif que dans un nombre limité de cas, sans pour autant être forcément exclues des petits effectifs. Pour remédier à ce problème, recours est fait aux différences entre quantiles et le plus souvent à l'intervalle interquartile. Recours impossible ici, car si cet intervalle interquartile a une signification pour la normale regroupant 30 années, il n'en aurait que très peu pour les 10 années de la période étudiée.

Si la comparaison des étendues n'est pas très significative, car que dire de plus que celle de la normale est supérieure à celle de la décennie 1982-1991, les intervalles de variation renseignent toutefois sur la position de l'ensemble des années de la période étudiée vis-à-vis de la normale : les années 1982 à 1991 sont, en effet, situées dans la partie supérieure de l'intervalle total de variation de la normale.

Quant aux écarts absolus moyens et aux écarts-types, ils varient pratiquement du simple au double, ce qui, par contre, montre bien une variabilité moindre des hauteurs annuelles de la période 1982-1991. De plus, les valeurs des coefficients de variation, variant elles aussi du simple au double, corroborent cette dispersion moindre des volumes annuels de la période 1982-1991, ce qui donne à la moyenne annuelle de cette période une représentativité assez importante.

Mais, même si la moyenne annuelle de la normale (637 mm) peut paraître assez peu représentative des 30 années qu'elle synthétise, elle est néanmoins dépassée une année sur deux puisqu'elle est très proche de la médiane (622.5 mm). Elle constitue, par ailleurs, une "valeur référence" qu'il serait vain de vouloir remplacer. Aussi dans les paragraphes suivants, c'est bien à cette valeur moyenne de la normale qu'il sera fait référence.

En premier lieu, un classement simple des années selon leur écart à la précipitation annuelle moyenne de la normale montre que :

- les années 1985 et 1983 sont les moins pluvieuses et les moins éloignées de la "normale" (moins de 15 mm).

- l'année 1989 constitue un cas intermédiaire avec un écart à la "normale" de l'ordre de 30 mm.

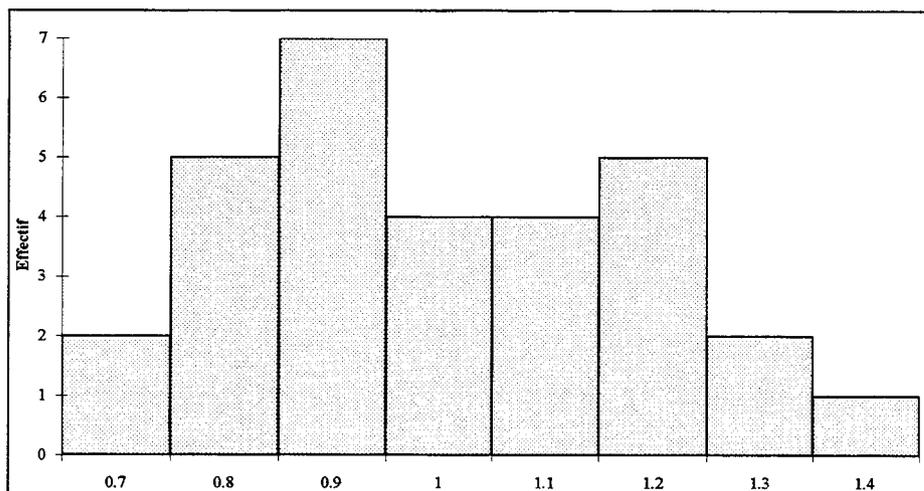
- les années 1990, 1988 et 1982 paraissent déjà plus pluvieuses et l'écart à la "normale" avoisine les 100 mm.

- les années 1986, 1991, 1987 et 1984 sont les plus pluvieuses et l'écart à la "normale" est de l'ordre de 150-200 mm.

Il existe un autre moyen d'exprimer les écarts à la normale de manière plus qualitative, en utilisant les quintiles de la normale. Cette méthode est présentée dans l'ouvrage collectif d'ARLERY R. et al., (1973).

Dans un premier temps, le calcul des rapports (R) de la hauteur annuelle à la moyenne de la normale puis la construction de l'histogramme de cette variable R (Graphique n°6) permettent de connaître la hauteur d'eau annuelle la plus probable, qui n'est pas ici la moyenne de la normale mais les 9/10 de celle-ci puisque c'est le rapport $R = 0.9$ qui est le plus fréquent.

Graphique n°6 : Fréquence des rapports R de la hauteur annuelle de la pluie à la moyenne de la normale (Lesquin, 1951-1980).



Dans un second temps, le classement par ordre croissant de cette variable R, puis la détermination des quintiles, divisant la série en 5 parties d'égal effectif, permettent de définir 5 classes qualitatives. La définition de ces classes qualitatives se rapporte bien évidemment aux 4 quintiles (Tableau n°12).

Tableau n°12: Définition des classes qualitatives pour les hauteurs.

	<Q'1	[Q'1-Q'2]	[Q'2-Q'3]	[Q'3-Q'4]	≥ Q'4
Fréquence	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %
Qualificatif (Q)	Très sec	Sec	Normal	Pluvieux	Très pluvieux

Il faut préciser que le terme "sec" n'est pas employé ici dans un sens hydrique, pour cela il faudrait prendre en compte d'autres paramètres climatiques comme la température, l'insolation et l'évaporation. Le sens attribué à ce terme est "relatif" c'est-à-dire qu'il est en fait utilisé comparativement au terme "pluvieux" qui ne comporte aucune ambiguïté puisque ce dernier n'est pas utilisé dans la terminologie des bilans hydriques.

Autrement dit, le terme "année sèche" doit se comprendre en "année moins arrosée" ou "moins pluvieuse" mais surtout pas dans un sens hydrique ou agrométéorologique puisque ici la sécheresse n'est en aucun cas mesurée ou estimée.

Pour la normale de Lesquin, le calcul des quintiles donne les résultats suivants :

- Q'1 = 0.82 (523.4 mm);
- Q'2 = 0.93 (593.5 mm);
- Q'3 = 1.07 (678.3 mm);
- Q'4 = 1.20 (764.3 mm).

Les années de la décennie étudiée ici (1982-1991) peuvent donc être classées selon la valeur de leur rapport R (de la hauteur annuelle à la moyenne de la normale) de manière qualitative (Tableau n°13). Les résultats exprimés dans ce tableau sont la confirmation des faits observés sur le Graphique n°4, et montrent eux-aussi l'inexistence d'années sèches ou très sèches ainsi qu'une fréquence importante d'années pluvieuses ou très pluvieuses (70 % dont 40 % sont pluvieuses et 60 % très pluvieuses).

Tableau n°13: Valeurs du rapport R et qualificatifs des totaux annuels de 1982 à 1991 vis-à-vis de la normale (1951-1980), à Lesquin.

	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
R	1.16	1.02	1.30	1.01	1.22	1.30	1.15	1.05	1.14	1.24
Q	P	N	TP	N	TP	TP	P	N	P	TP

N = normal, P = pluvieux, TP = très pluvieux.

L'étude de la variabilité annuelle des précipitations permet d'extraire un certain nombre d'enseignements, rappelés en conclusion. L'analyse de la variabilité des précipitations en matière de durée apporte elle-aussi quelques éléments de réflexion.

La durée annuelle des précipitations, pour la période 1982-1991, correspondant à la somme des durées journalières, varie entre 654.1 et 962.1 heures, ou encore d'environ 27 à 40 jours. L'intervalle de variation est donc assez conséquent puisque le maximum est environ 50% plus important que le minimum.

Les paramètres de dispersion, présentés au Tableau n°14, permettent de comparer la variabilité d'une année sur l'autre pour la décennie 1982-1991 avec celle de la normale (les valeurs qui suivent ont été calculées sur la période 1955-1980 car les durées des quatre premières années de la normale (1951-1954) ne sont pas disponibles).

Tableau n°14 : Paramètres de dispersion des distributions des durées annuelles de la normale 1955-1980 et de la période 1982-1991, à Lesquin.

Paramètres de dispersion	Normale 1955-1980	Période 1982-1991
Etendue	581.8 h [582 - 1163.8]	308 h [654.1 - 962.1]
Ecart absolu moyen	112.8 h	110.2 h
Ecart-type	140.1 h	111.4 h
Coefficient de variation	16.3 %	13 %

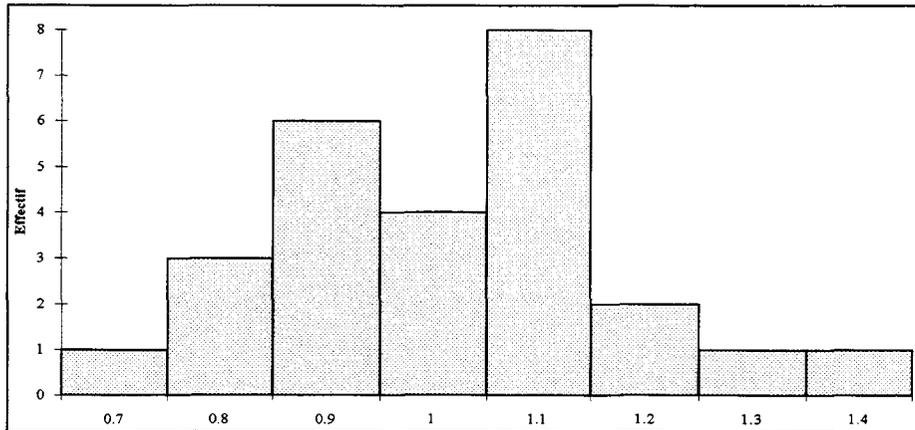
S'il est utile de noter que l'étendue de la normale est plus importante que celle de la décennie étudiée, il est beaucoup plus intéressant de savoir que l'intervalle de variation des années 1982 à 1991 est assez centré dans l'intervalle total de variation de la normale.

Les autres paramètres de dispersion montrent que la dispersion est plus élevée pour la normale que pour la période 1982-1991. Néanmoins, la faiblesse des écarts entre ces paramètres de dispersion souligne le fait que la dispersion des deux séries n'est pas foncièrement différente.

En bref, non seulement la durée moyenne annuelle des précipitations de la période 1982-1991 est très proche de celle de la normale, mais la variabilité interannuelle semble similaire pour les deux périodes.

Tout comme pour les hauteurs annuelles, une analyse plus qualitative peut être menée à l'aide des quintiles. Le calcul des rapports (R) de la durée annuelle à la durée annuelle moyenne de la normale puis la construction de l'histogramme de cette variable R (Graphique n°7) aboutissent au résultat suivant : la durée annuelle de précipitations la plus probable correspond aux 11/10 de la normale puisque c'est le rapport $R = 1.1$ qui est le plus fréquent.

Graphique n°7 : Fréquence des rapports R de la durée annuelle des précipitations à la moyenne de la normale (Lesquin, 1955-1980).



Après avoir classé par ordre croissant la variable R, et déterminé les 4 quintiles, les 5 classes qualitatives sont alors définies. Il est possible de reprendre le même type de dénomination que celui utilisé pour les hauteurs (Tableau n°15).

Tableau n°15: Définition des classes qualitatives pour les durées de précipitations.

	<Q'1	[Q'1-Q'2[	[Q'2-Q'3[	[Q'3-Q'4[	≥ Q'4
Fréquence	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %
Qualificatif (Q)	Durée annuelle très faible	Durée annuelle faible	Durée annuelle normale	Durée annuelle forte	Durée annuelle très forte

Tout comme pour les volumes, les qualificatifs employés ici correspondent à des nuances vis-à-vis de la normale, puisque les années pour lesquelles la durée annuelle est "très faible" ou "faible" affichent tout de même une durée équivalente à 70-80 % de la durée normale, et que les années où elle est "très forte" offrent une durée annuelle supérieure de 40% à la normale. Aussi, les années affichant des durées faibles ou très faibles ne sont pas des années où les durées sont exceptionnellement faibles, et a contrario celles qui affichent des durées annuelles très fortes ne constituent pas des années exceptionnelles.

Pour la période 1955-1980 (assimilée ici à la normale), les quintiles ont pour valeurs :

- Q'1 = 0.85 (733.2 h);
- Q'2 = 0.94 (809.7 h);
- Q'3 = 1.06 (911.6 h);
- Q'4 = 1.11 (954.1 h).

Le classement qualitatif des durées annuelles de la période 1982-1991 peut donc être réalisé, les résultats sont les suivants (Tableau n°16).

Tableau n°16 : Valeurs du rapport R et qualificatifs des durées annuelles de 1982 à 1991 vis-à-vis de la normale (1955-1980), à Lesquin.

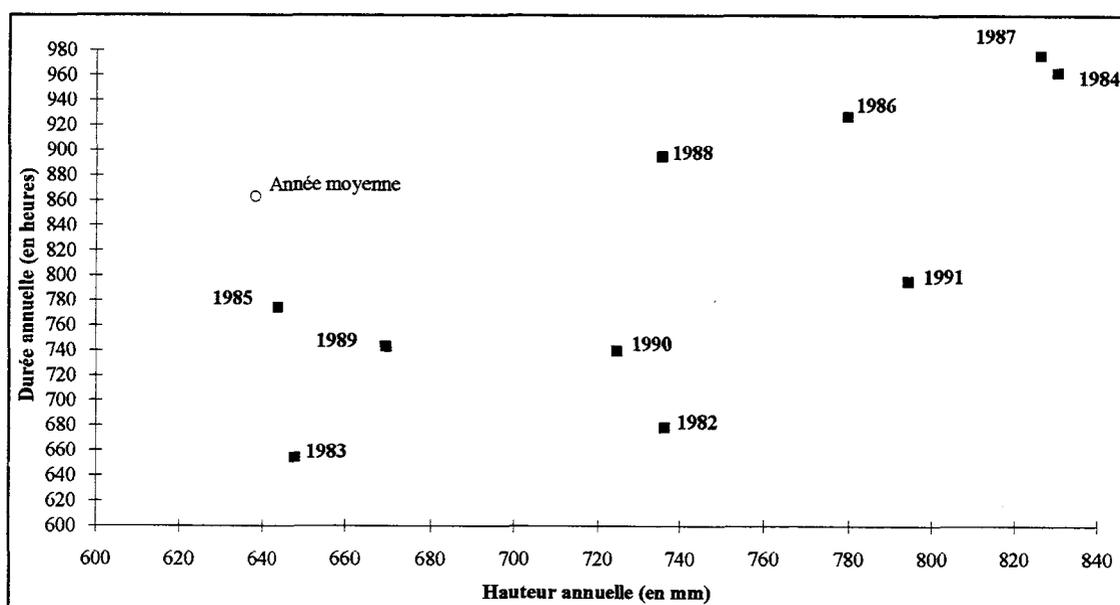
	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
R	0.79	0.76	1.12	0.90	1.08	1.14	1.04	0.87	0.86	0.93
Q	Très faible	Très faible	Très forte	Faible	Forte	Très forte	Normale	Faible	Faible	Faible

Le tableau qui précède montre la prédominance des années ayant une durée annuelle inférieure à la normale (2 très faibles, 4 faibles), comme le signalait déjà le Graphique n°5. Seule une année présente une durée annuelle normale. Enfin, 3 années ont des durées annuelles supérieures à la normale dont 2 sont très supérieures à la normale (1984 et 1987).

Finalement, si les durées annuelles moyennes des deux périodes (1982-1991 et 1951-1980) sont très proches, et leur variabilité interannuelle assimilable, l'analyse qualitative menée ci-dessus modère le propos dans la mesure où les années aux durées plus faibles qu'à la normale semblent prédominer.

Pour replacer chacune des années de la décennie étudiée vis-à-vis de l'année normale, un graphe de dispersion selon la hauteur et la durée annuelle des précipitations a été réalisé (Graphique n°8).

Graphique n°8 : Graphe de dispersion des années 1982 à 1991 selon la hauteur et la durée annuelle des précipitations, à Lesquin.



Ce graphique montre clairement la position des différentes années vis-à-vis de l'année moyenne de la normale.

Dans l'ensemble, les années étudiées sont assez éloignées de l'année moyenne, trois groupes se distinguent :

- le premier (1983, 1989 et 1985) où la hauteur annuelle est proche de la hauteur moyenne de la normale mais la durée annuelle bien en deçà (de 25 à 10 % de moins).

- le deuxième groupe (1990, 1982 et 1991) pour lequel la hauteur annuelle est supérieure à la hauteur moyenne de la normale (de 15 à 25 % de plus) et la durée annuelle là encore en deçà de la durée moyenne de la normale (de 20 à 8 % de moins).

- le troisième groupe (1988, 1986, 1984 et 1987) où, à la fois, hauteur et durée annuelles sont supérieures à la moyenne de la normale (respectivement, +15 à 30 % et +4 à 14 %).

A noter que les années ainsi groupées possèdent le même qualificatif de pluviosité c'est-à-dire que le premier groupe rassemble les années dites "normales", le second les années dites "pluvieuses" et le troisième les années dites "très pluvieuses".

Il existe donc apparemment une certaine adéquation entre total pluviométrique annuel et durée annuelle des précipitations, ces deux caractères variant plutôt dans le même sens.

La présentation de la variabilité des précipitations pour les hauteurs et les durées annuelles a montré des années globalement plus arrosées que la normale et des durées annuelles qui s'écartent faiblement de la durée moyenne annuelle de la normale. Qu'en est-il des types de précipitations ?

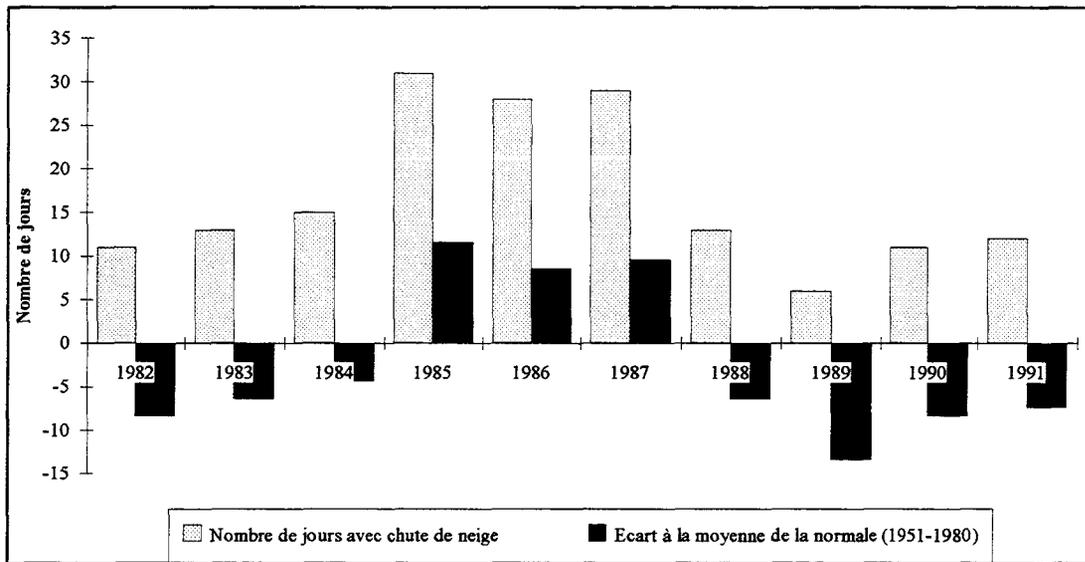
Les écarts à la moyenne de la normale ont été calculés pour chaque année et pour les 3 types de précipitations (neige, grêle et orage), et sont présentés par les Graphiques n°9, 10 et 11.

Le Graphique n°9 montre deux groupes distincts : celui des années "neigeuses" (1985, 1986 et 1987) et celui où les précipitations sous forme neigeuse semblent être déficitaires vis-à-vis de la normale, 19.4 jours, (1982, 1983, 1984, 1988, 1989, 1990, 1991).

A l'intérieur du second groupe se distinguent des sous-groupes, ce qui n'est pas le cas du groupe des années "neigeuses" qui est très homogène.

En effet, le second groupe rassemble des années où les précipitations neigeuses sont inférieures à la normale avec des écarts plus ou moins prononcés : ainsi 1989 montre un écart de -70 %, puis 1982, 1990, 1991, 1983, et 1988 se groupent autour d'un écart d'environ -40 %, enfin, 1984 connaît un écart de l'ordre de -25 %.

Graphique n°9 : Nombre de jours avec chute de neige de 1982 à 1991 et écart à la moyenne de la normale (1951-1980), à Lesquin.



Il faut noter que le graphique suggère quelque peu la présence d'un cycle avec des périodes où les précipitations neigeuses sont faibles et d'autres où elles sont très importantes, il n'y a pas ici de "variations en dents de scie". Mais pour juger de la pertinence de cette remarque, il faudrait bien évidemment étudier cette variable du nombre de jours avec chute de neige sur une période beaucoup plus importante.

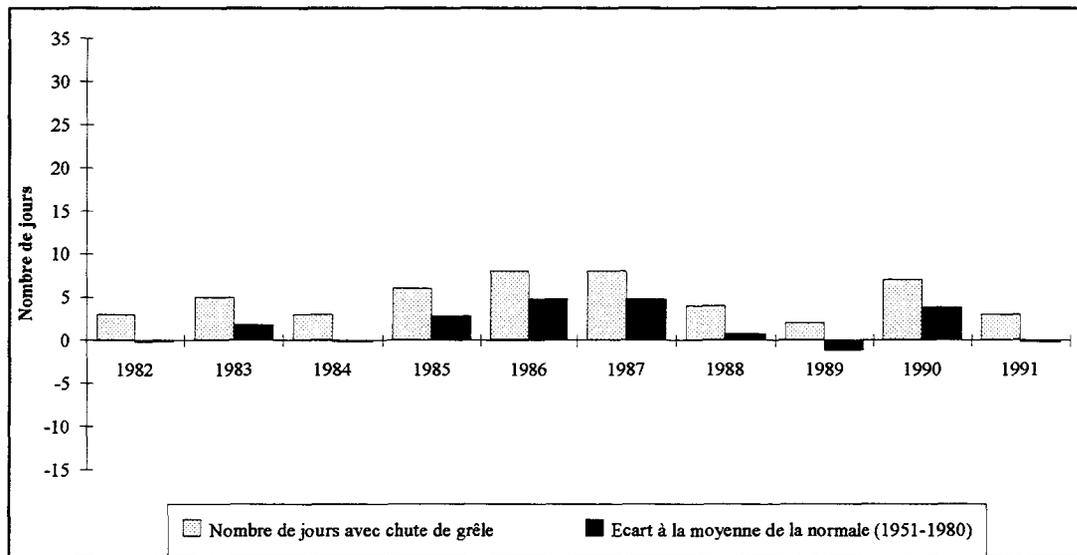
Le graphique ci-dessous met en évidence la faible représentativité des jours avec chute de grêle en comparaison du nombre de jours avec chute de neige largement plus fréquents. Ces chutes de grêle correspondent à deux types bien différenciés : les grêles d'hiver et printemps liées à des grains, et les grêles convectives d'été bien souvent liées une activité orageuse.

Il faut bien ici se rendre compte d'une différence majeure entre la neige et la grêle : l'une précipite généralement sur de grandes étendues et correspond à des individus synoptiques de grande ampleur spatiale alors que l'autre relève de phénomènes

météorologiques extrêmement localisés et liés à des mouvements ascendants et turbulents d'une énergie importante.

Il en découle que s'il neige sur l'agglomération lilloise, la station de Lesquin enregistre cette précipitation neigeuse, alors que s'il grêle à une distance importante de la station, cette précipitation de grêle n'est pas enregistrée à Lesquin.

Graphique n°10 : Nombre de jours avec chute de grêle de 1982 à 1991 et écart à la moyenne de la normale (1951-1980), à Lesquin.



Même si la grêle possède une fréquence moindre que celle de la neige, il faut souligner que la période 1982-1991 connaît dans l'ensemble une fréquence supérieure à la moyenne de la normale (3.2 jours) mais reste dans la limite maximum de celle-ci (8 jours).

Si 1985, 1986 et 1987 sont des années neigeuses, elles forment aussi le groupe des années "à grêle", auquel 1990 se rajoute. Les années 1982, 1984, 1988 et 1991 constituent le groupe des "années normales". L'année 1983 constitue un intermédiaire entre ces deux groupes.

Enfin, 1989 est la seule année où le nombre de jours avec chute de grêle est inférieur à la normale.

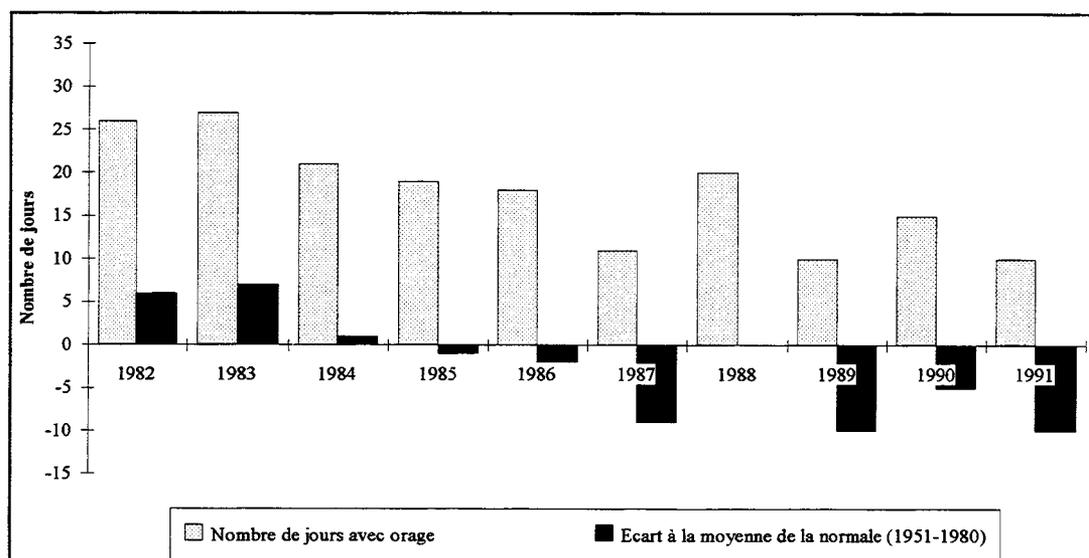
Le nombre de jours avec orage montre d'importantes variations d'une année à l'autre : de 10 à 27 jours orageux, la moyenne étant de 17.7 jours. Le Graphique n°11 permet de distinguer 3 groupes :

- celui des "années faiblement orageuses" présentant un nombre de jours avec orage inférieur à la moyenne de la normale, 20 jours, (1987, 1989, 1990 et 1991);

- celui des "années normales" (1984, 1985, 1986, 1988);

- celui des "années orageuses" avec un nombre de jours orageux supérieur à la moyenne de la normale (1982 et 1983), mais inférieur au maximum de la normale (29 jours).

Graphique n°11 : Nombre de jours avec orage de 1982 à 1991 et écart à la moyenne de la normale (1951-1980), à Lesquin.



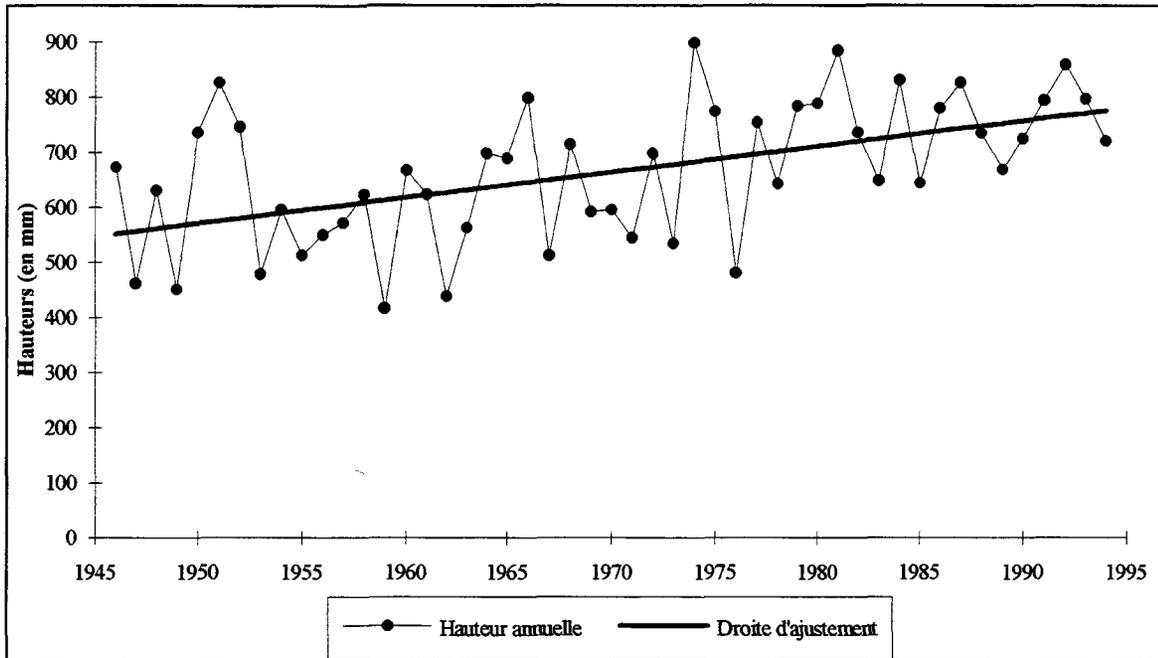
Comme pour la grêle, il se pose, ici aussi, le problème de la représentativité des données. En effet, ne sont notés que les orages affectant la station, c'est-à-dire pour lesquels se manifestent des coups de tonnerre et/ou des éclairs, audibles ou visibles de la station. Ainsi, la sous-estimation est probable voire certaine.

En définitive, la pluviométrie annuelle de la période est globalement plus élevée que la moyenne de la normale bien qu'il existe trois années (1985, 1983 et 1989) dont la précipitation annuelle peut être assimilée à la moyenne de la normale.

La décennie étudiée semble donc avoir un caractère de "surpluviosité" vis-à-vis de la normale, et ce d'autant plus que la hauteur annuelle la plus probable est plutôt de l'ordre des 9/10 de la normale (soit 575 mm). Mais le fait que les totaux annuels de la période 1982-1991 soient tous compris dans l'intervalle de variation de la normale, [416.1 - 898.5] mm, modère le propos. Néanmoins, le caractère de "surpluviosité" semble être effectif au regard de la droite de tendance calculée par rapport aux variations des totaux annuels de 1946 jusqu'en 1994

(Graphique n° 12). En effet, la tendance exprimée ici est bien à la croissance des précipitations.

Graphique n°12 : Variations des précipitations annuelles (Lesquin, 1946-1994) et droite de tendance.



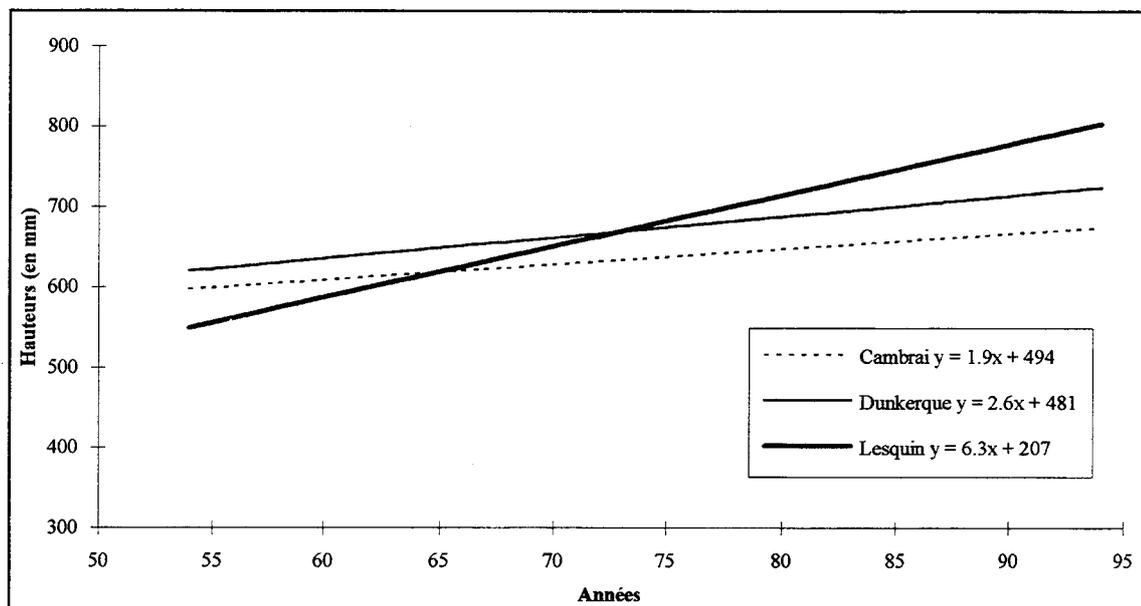
La droite de tendance ($y = 4.6 x + 346$) a été calculée selon la méthode des moindres carrés. Pour un niveau de signification de 95 %, l'intervalle de confiance de a est [0.9 - 8.3] et celui de b est [83 - 609].

Cette croissance des précipitations connaît-elle une dimension régionale ou au contraire revêt-elle un caractère local spécifique à Lesquin ?

Pour répondre à cette question, les droites de tendance des précipitations annuelles ont été calculées sur une longue période (1954-1994) pour d'autres stations, le choix s'est porté sur 2 stations (voir Cartes n°2 et 3 pour la localisation de ces stations) :

- la station de Dunkerque-Sémaphore pour s'affranchir de l'influence continentale que subit Lesquin;
- la station de Cambrai-Epinoy pour, au contraire, conserver l'influence continentale.

Sur le Graphique n° 13 seules ont été reportées les droites de tendance, et ce pour faciliter la lecture des faits.

Graphique n°13 : Droites de tendance des précipitations à Lesquin, Dunkerque, Cambrai.

Si la tendance à la croissance est un fait commun à ces 3 stations, celle-ci ne revêt pas tout à fait la même forme, puisque les droites sont toutes différentes. La croissance des précipitations observée à Lesquin n'est donc pas un fait local puisqu'elle apparaît pour d'autres stations de la région.

Si ces stations présentent toutes une croissance des précipitations, le Graphique n°12 montre clairement que seule la station de Lesquin se distingue vis-à-vis des autres stations. En effet, les droites de tendance de Cambrai et Dunkerque sont presque parallèles : les pentes sont assez proches, respectivement de 1.92 et 2.59, alors que celle de Lesquin est de 6.34.

En d'autres termes, la tendance observée à Lesquin est différente à la fois :

- de celle observée à une station littorale, mais cela était prévisible dans la mesure où la station de Dunkerque située dans le port (Sémaphore) est beaucoup plus soumise à l'influence maritime qu'à l'influence urbaine.

- et, de celle observée à une autre station qui subit l'influence continentale, ce qui est déjà plus délicat et amène à penser que l'influence urbaine prend le pas sur l'influence continentale.

En effet, si la station de Cambrai-Epinoy, tout comme celle de Lesquin, subit l'influence continentale, elle ne subit pas les effets d'une croissance urbaine importante, et

reste donc une station à caractère rural alors que dans la même période, Lesquin semble perdre son caractère rural au profit d'un caractère urbain.

En résumé, la station de Cambrai-Epinoy reste une station à caractère rural (non influencée par la croissance d'une agglomération urbaine, parce qu'elle est située à 8 km du centre de Cambrai et que la croissance urbaine de Cambrai est faible), alors que Lesquin est rejointe par le front d'urbanisation de l'agglomération de Lille-Roubaix-Tourcoing et semble donc posséder aujourd'hui plutôt des caractères urbains, ce qui renforce l'intérêt d'utiliser cette station dans une première approche de la pluviométrie de l'agglomération lilloise. Ainsi, la "surpluviosité" de la décennie 1982-1991 par rapport à la normale est peut être imputable à une modification de l'environnement de la station.

Il faut noter que cette influence urbaine de l'agglomération lilloise a été observée pour la température, paramètre pour lequel la station de Lesquin se différencie peu de celle de Roubaix (CHARABI Y. , 1997).

Quant à la durée annuelle des précipitations, cette dernière ne semble pas affectée par de forts écarts par rapport à la moyenne de la normale, et la majorité des années présente des durées annuelles qui lui sont inférieures.

Enfin, les types de précipitations offrent des situations différentes vis-à-vis des moyennes de la normale : le nombre de jours avec chute de neige ou avec orage est globalement déficitaire, à l'inverse, le nombre de jours avec chute de grêle est plus important.

Pour conclure, le caractère de "surpluviosité" est bien le fait le plus marquant de la période 1982-1991, d'autant plus que cette amplification des volumes précipités vis-à-vis de la normale s'inscrit dans la durée (Graphique n°12).

Pour suivre la logique d'emboîtement des échelles temporelles fixée au début, la présentation des précipitations annuelles étant achevée, il est normal de passer à un pas de temps inférieur à l'année : le mois.

2.2. LES PRECIPITATIONS MENSUELLES.

Si la connaissance des précipitations annuelles permet déjà d'énoncer des caractéristiques intéressantes de la pluviométrie lilloise, il faut bien évidemment analyser cette pluviométrie à des échelles temporelles plus fines, mensuelles et journalières, car c'est

au niveau de ces échelles temporelles plus fines que se placent les principaux enjeux de l'hydrologie urbaine.

Les paragraphes qui suivent permettront de mettre en place quelques remarques sur la répartition mensuelle des volumes d'eau précipités, sur les durées et les types de précipitations.

2.2.1. LES TOTAUX PLUVIOMETRIQUES MENSUELS.

Pour décrire les précipitations mensuelles de la décennie étudiée, il est nécessaire d'énoncer les caractéristiques principales des précipitations mensuelles pour la normale (1951-1980), le Tableau n°17 en présente à la fois la moyenne, les minima et maxima et les coefficients de pluviosité.

Tableau n°17 : Hauteurs mensuelles (en mm) et coefficient de pluviosité (Cp), à Lesquin, normale 1951-1980.

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
Moy.	46.0	42.6	44.4	39.2	51.2	60.0	60.8	61.1	55.1	55.1	64.8	56.7
Min.	7.6	1.9	3.6	9.2	14.4	3.9	15.2	13.3	3.1	4.1	17.9	9.9
Max.	122.3	95.0	103.7	77.3	102.2	121.7	180.4	105.0	137.4	166.1	139.4	124.9
Cp	0.87	0.80	0.84	0.74	0.96	1.13	1.15	1.15	1.04	1.04	1.22	1.07

Même si de prime abord, les totaux mensuels n'offrent pas de grandes variations d'un mois à l'autre, ils peuvent néanmoins être qualifiés de "nuancés". En effet, les hauteurs mensuelles moyennes s'échelonnent pour la normale 1951-1980 de 39.2 mm au mois d'avril à 64.8 mm en novembre.

Si le minimum moyen de la normale est situé en avril, il faut noter que le minimum absolu (1.9 mm) des 30 années de la normale est plus précoce puisqu'il a eu lieu au mois de février 1953, de même le maximum absolu (180.4 mm) n'est pas situé en automne, mais en plein coeur de l'été, en juillet 1968.

Aussi, même si seulement 25 mm séparent les totaux mensuels moyens minimum et maximum, les extrêmes présentés ci-dessus montrent combien les hauteurs mensuelles sont sujettes à des variations parfois importantes. Ainsi, le minimum absolu de la normale ne représente que 1/20 du total mensuel moyen de février, et le maximum absolu quant à lui multiplie par 3 le total moyen mensuel de juillet.

Le coefficient de pluviosité, qui rapporte la hauteur moyenne mensuelle à la hauteur mensuelle moyenne fictive égale au 1/12 de la hauteur annuelle, confirme bien que le mois le plus arrosé est le moins de novembre (1.22) et le mois le moins arrosé le mois d'avril (0.74).

Le calcul du coefficient de variation pour chaque mois sur les données de la normale 1951-1980 (Tableau n°18), confirme l'existence de la variabilité pressentie au paragraphe précédent et montre en fait qu'aucun mois n'est épargné par la variabilité, puisque les coefficients sont tous supérieurs à 40 %.

La variabilité semble être plus prononcée pour les mois d'octobre et septembre, et au contraire très faible pour les mois d'août et mai.

Tableau n°18 : Coefficients de variation des hauteurs mensuelles de la normale 1951-1980, à Lesquin, (en %).

Normale 1951-1980	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
Coeff. de variation	47.2	53.8	54.5	48.8	44.2	51.7	58.1	39.8	63.9	65.4	51.6	53.0

Outre l'analyse de la variabilité mensuelle des précipitations, les hauteurs mensuelles permettent de définir le régime pluviométrique saisonnier, qui est défini sous un angle climatique tendant à discerner une saison pluvieuse et une saison sèche.

Le régime pluviométrique saisonnier est défini à l'aide des valeurs mensuelles de la normale 1951-1980. Si le but est de trouver quelle est la période de 6 mois consécutifs qui donne la saison la plus arrosée, un moyen simple est de cumuler les valeurs mensuelles sur 6 mois en partant de janvier, et en décalant jusqu'en décembre.

Cette méthode définit donc 12 périodes de 6 mois consécutifs. Ces cumuls ont été réalisés pour différentes valeurs mensuelles de la normale : la médiane (une année sur deux), le quartile supérieur (75 %, 3 années sur 4), le 9ème décile (90 %, 9 années sur 10) et la moyenne (Tableau n°19).

Tableau n°19 : Cumuls des valeurs mensuelles par périodes de 6 mois consécutifs pour la médiane, le quartile supérieur et le 9ème décile, pour la normale 1951-1980 à Lesquin, (en mm).

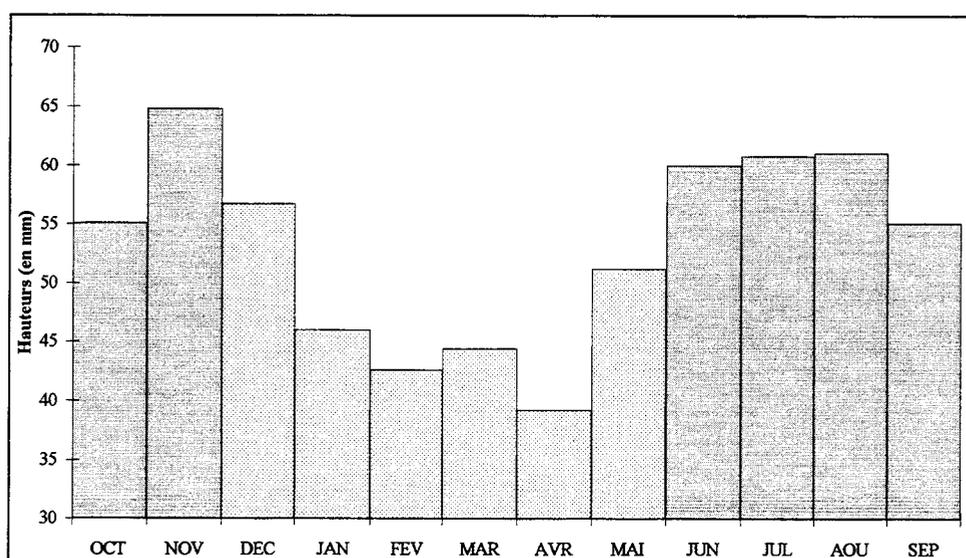
	50 %	75 %	90 %	Moyenne
JAN-JUN	273.8	368.5	449.8	283.5
FEV-JUL	282.0	377.3	475.6	298.2
MAR-AOU	299.2	393.8	500.7	316.7
AVR-SEP	311.7	420.5	532.8	327.4
MAI-OCT	324.4	444.6	575.1	343.3
JUN-NOV	350.3	468.0	601.2	356.8
JUL-DEC	346.5	459.3	590.5	353.6
AOU-JAN	338.3	450.5	564.7	338.8
SEP-FEV	321.1	434.0	539.6	320.3
OCT-MAR	308.6	407.3	507.5	309.7
NOV-AVR	295.9	383.2	465.2	293.8
DEC-MAI	270.0	359.8	439.1	280.2

Ce tableau indique clairement les périodes de 6 mois consécutifs les plus et les moins arrosées, celles-ci sont identiques que l'on prenne en compte les valeurs qui s'observent une année sur deux, 3 années sur 4 ou 9 années sur 10, ou encore en moyenne. Ainsi, la saison la plus arrosée est celle qui s'étend de juin à novembre, et la moins arrosée de décembre à mai.

Le régime pluviométrique saisonnier, défini avec les valeurs mensuelles de la normale 1951-1980, se caractérise par une saison pluvieuse qui recouvre la période de juin à novembre et une saison sèche qui s'étend de décembre à mai, (Graphique n°14).

Ce rythme saisonnier correspond en fait à celui du climat séquanien défini par SANSON J., (1945).

Graphique n°14: Le régime pluviométrique moyen (Lesquin, 1951-1980).



S'il existe une saison moins arrosée que l'autre, il n'est pas réellement possible d'utiliser le terme "*saison sèche*" pour faire référence à cette saison, dans la mesure où l'écart entre les deux saisons définies ci-dessus est très faible : environ 75 millimètres (soit 10 % du volume annuel moyen), ce qui est insuffisant pour distinguer une saison sèche d'une saison pluvieuse. La saison la moins arrosée regroupant l'hiver et le printemps sera nommée "*saison hivernale*", et la saison pluvieuse sera nommée "*saison estivale*". Ces deux dénominations remplaceront les termes quelque peu abusif de "*saison pluvieuse*" et surtout de "*saison sèche*".

Le maximum de la saison pluvieuse se place en novembre soit en automne, et la saison hivernale est à son minimum en avril. A l'intérieur de la saison estivale se place un maximum secondaire à peine marqué en août, de même, au cours de la saison hivernale, un

minimum secondaire se place en février. Le maximum secondaire de la saison estivale pourrait en fait tout aussi bien se situer en juillet, voire en juin dans la mesure où l'écart entre les valeurs mensuelles moyennes est de l'ordre du millimètre (60 mm en juin, 60.8 mm en juillet et 61.1 mm en août). Aussi, le maximum secondaire de la saison pluvieuse peut être qualifié d'estival, alors que le premier est sans conteste automnal.

L'influence continentale sur le climat lillois s'exprime ici puisque apparaît une saison pluvieuse recouvrant à la fois l'automne et l'été, alors que pour un climat océanique "pur", la saison pluvieuse s'étend sur l'automne et l'hiver. Les régimes pluviométriques saisonniers des régions soumises à une influence continentale plus prononcée présentent tous une saison pluvieuse située en été. Le régime pluviométrique du climat lillois conserve son maximum d'automne, caractéristique du régime océanique, mais connaît d'importantes précipitations pendant les mois d'été, caractéristique des régimes continentaux. Le régime pluviométrique saisonnier lillois est donc bien un régime océanique dégradé par l'influence continentale, et il constitue donc un régime de transition entre régime océanique et régime continental.

En termes de fréquence d'apparition des précipitations, ces deux saisons sont assez proches avec cependant une légère supériorité de la saison hivernale qui compte en moyenne 92 jours pluvieux contre 85 en saison estivale, et cet état de fait est vérifié pour 70 % des années de la normale 1951-1980.

En définitive, les précipitations de saison hivernale se caractérisent donc par une fréquence d'apparition un peu supérieure à celles de saison estivale tout en constituant un volume précipité un peu moins important.

Après ces rapides considérations sur les précipitations mensuelles de la normale climatologique 1951-1980, et la définition du régime pluviométrique saisonnier, les paragraphes qui suivent ont pour objectif de cerner la pluviométrie mensuelle de la décennie 1982-1991.

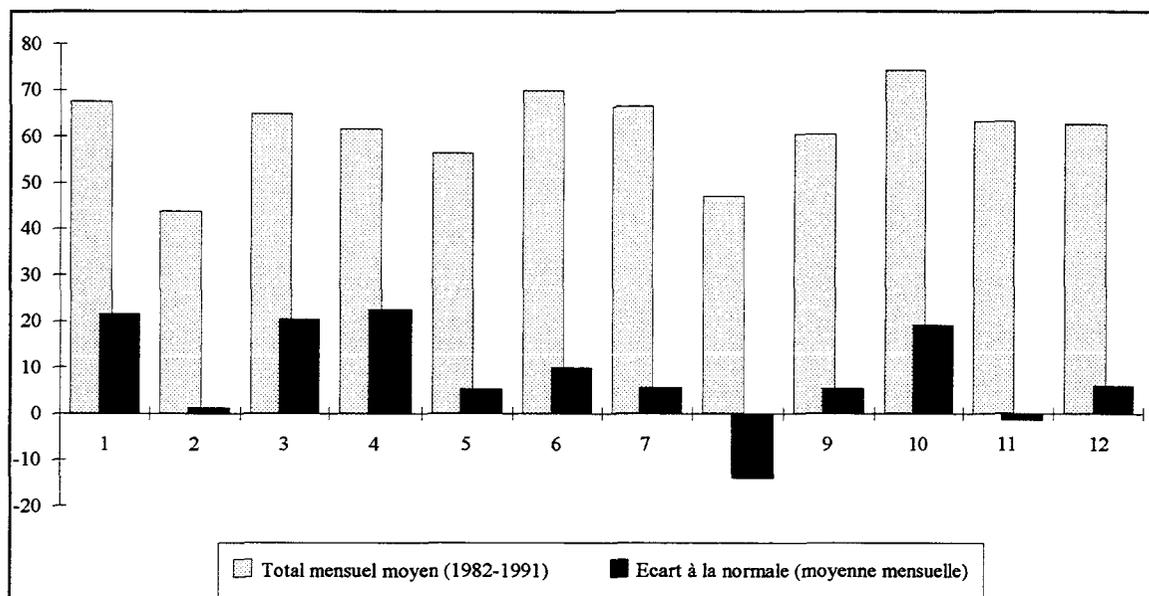
Comme le montre le Tableau n°20, les hauteurs moyennes mensuelles de la période 1982-1991 sont globalement plus élevées que les hauteurs moyennes de la normale 1951-1980.

Tableau n°20 : Hauteurs mensuelles moyennes de la période 1982-1991 (en mm).

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
Moy. 1982-91	67.6	43.8	64.9	61.7	56.5	70.0	66.5	47.1	60.5	74.3	63.3	62.7

Le Graphique n°15 présente à la fois les hauteurs mensuelles moyennes de la décennie 1982-1991 et l'écart à la précipitation moyenne mensuelle de la normale.

Graphique n°15 : Pluviométrie mensuelle moyenne (1982-91) et écart à la précipitation moyenne mensuelle de la normale 1951-1980, à Lesquin.

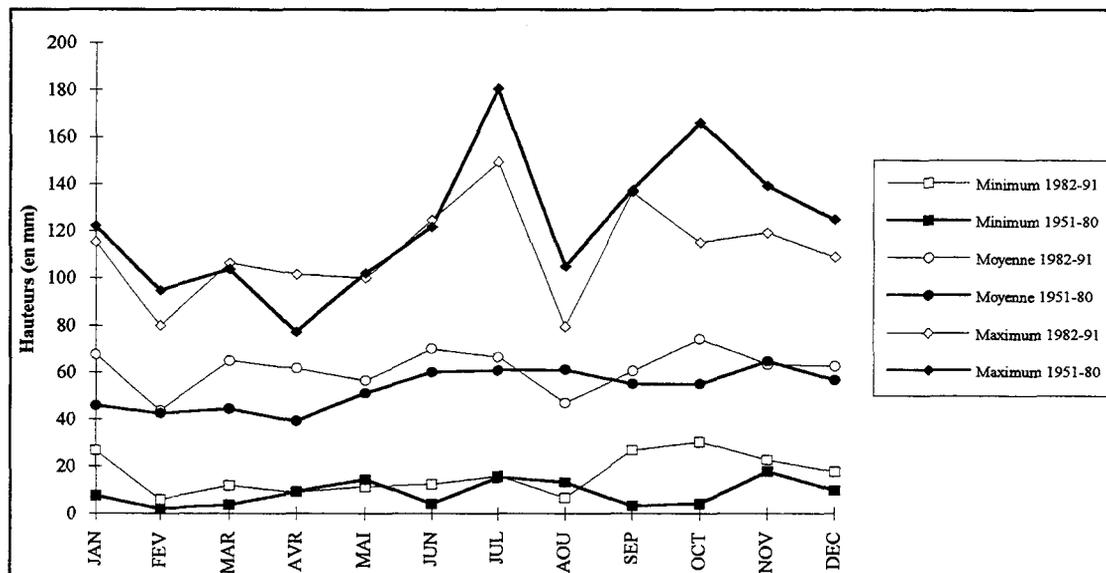


Le Graphique n°15 permet de classer les moyennes mensuelles selon leur écart à la normale :

- le seul mois déficitaire est le mois d'août (- 15 mm);
- les mois assimilables à la normale sont février et novembre (écart de l'ordre de 1 mm);
- les mois faiblement excédentaires : mai, juillet, septembre et décembre (écart de l'ordre de 5 mm);
- le mois de juin présente un excédent moyen (écart de l'ordre de 10 mm);
- les mois fortement excédentaires : janvier, mars, avril et octobre (écart de l'ordre de 20 mm).

La comparaison des hauteurs moyennes, maximales et minimales de la période 1982-1991 avec celles de la normale 1951-1980, présentée au Graphique n°16, permet d'affiner la présentation des caractéristiques de la pluviométrie mensuelle de la décennie étudiée.

Graphique n°16 : Comparaison des hauteurs mensuelles moyennes, minimales et maximales de la période 1982-1991 avec celles de la normale 1951-1980, à Lesquin.



Globalement, les valeurs minimales de la décennie 1982-1991 sont supérieures à celles de la normale, sauf pour deux mois : mai et août. Les écarts les plus importants entre valeurs minimales se situent en septembre et octobre pendant la saison estivale.

Pour les valeurs moyennes, là encore les courbes sont assez similaires mais il existe une supériorité relativement importante pour janvier, mars, avril et octobre, et au contraire une infériorité de la moyenne d'août. Quant aux mois de février, mai, juin, septembre, novembre et décembre, ils présentent des valeurs moyennes assimilables à celles de la normale. Enfin, les valeurs maximales de la décennie 1982-1991 sont en général inférieures à celles de la normale sauf pour le mois d'avril. Par ailleurs, les écarts les plus importants se situent en juillet et en octobre.

Cette comparaison simultanée des hauteurs moyennes, minimales et maximales de la période étudiée et de la normale, souligne la particularité du mois d'août et du mois d'avril: En effet, le mois d'août est le mois qui semble le plus déficitaire sur la période 1982-1991 (toutes les valeurs sont inférieures à la normale), *a contrario*, le mois d'avril semble être le mois le plus excédentaire (la valeur maximale et la moyenne sont supérieures à la normale, la valeur minimale est équivalente à la normale).

Comme pour les précipitations annuelles, il est possible de calculer pour chaque mois de la période 1951-1980, le rapport (R) de la hauteur mensuelle à la hauteur mensuelle

moyenne du mois considéré, puis de déterminer, les quintiles de cette variable R permettant une classification qualitative. Les résultats de ce calcul sont présentés au Tableau n°21.

Tableau n°21 : Valeurs des quintiles mensuels de la normale 1951-1980 à Lesquin.

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
Q'1	0.61	0.51	0.61	0.60	0.58	0.55	0.57	0.71	0.35	0.42	0.46	0.51
Q'2	0.90	0.70	0.85	0.84	0.77	0.95	0.85	0.92	0.80	0.75	0.66	0.85
Q'3	1.09	1.07	1.01	1.13	1.10	1.07	1.00	1.06	1.08	0.98	1.19	1.06
Q'4	1.33	1.53	1.26	1.46	1.43	1.29	1.34	1.37	1.57	1.59	1.46	1.43

Les mois de la décennie étudiée (1982-1991) peuvent donc être classés selon la valeur de leur rapport R (de la hauteur mensuelle à la moyenne de la normale) de manière qualitative.

Globalement, les rapports mensuels se répartissent de la manière suivante : 32 % des mois sont plus secs qu'à la normale ($R < Q'2$), 15 % des mois sont assimilables à la normale ($Q'2 < R < Q'3$) et 53 % des mois sont plus arrosés qu'à la normale ($R > Q'3$).

Finalement, toutes les analyses menées ci-dessus convergent vers une même conclusion : la pluviométrie mensuelle de la décennie étudiée est globalement plus importante et l'analyse qualitative du paragraphe précédent souligne bien la forte représentativité des mois plus arrosés qu'à la normale.

2.2.2. LES DUREES MENSUELLES DE PRECIPITATIONS.

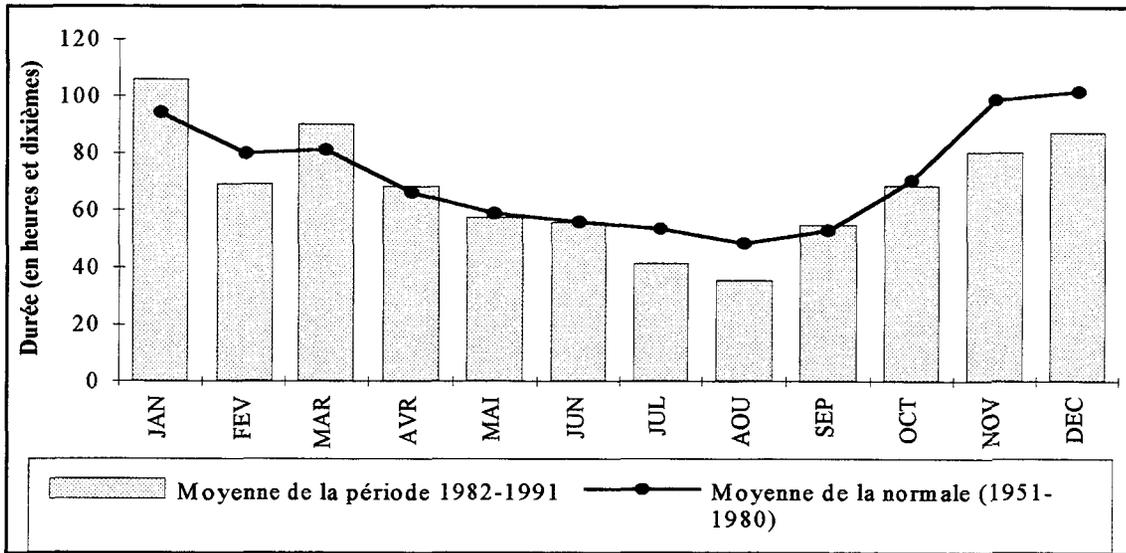
La présentation de la pluviométrie mensuelle serait incomplète si les durées de précipitations mensuelles n'étaient pas à leur tour abordées.

Le Graphique n°17 montre clairement l'hétérogénéité des durées moyennes mensuelles de précipitations.

Néanmoins, une organisation relativement régulière semble se profiler : aussi bien pour la normale 1951-1980 que pour la décennie 1982-1991, les mois qui connaissent des durées importantes de précipitations sont les mois d'hiver, de début de printemps et d'automne, alors que les mois d'été présentent des durées de précipitations beaucoup moins importantes.

Enfin, les durées moyennes de précipitations de la période 1982-1991 sont, pour la majorité des mois, inférieures ou très proches de la normale, excepté pour janvier et mars.

Graphique n°17 : Comparaison des durées moyennes mensuelles de précipitations pour la décennie 1982-1991 et la normale 1951-1980, à Lesquin.



Les déficits et les excès des durées par rapport à la moyenne de la normale ont été calculés pour chaque mois de la période 1982-1991 puis cumulés afin de connaître quels sont les mois en déficit ou en surplus sur l'ensemble de la période (Tableau n°22).

Tableau n°22 : Les excès et les déficits mensuels de durée vis-à-vis de la moyenne mensuelle de la normale (1955-1980) pour l'ensemble de la période 1982-1991, à Lesquin.

en heures	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
Excès cumulés	-65	-195	-103	-115	-131	-127	-198	-145	-54	-92	-205	-170
Déficits cumulés	181	88	192	136	115	125	75	16	73	76	21	25
Bilan	116	-107	89	21	-16	-3	-123	-129	18	-17	-184	-144

Le classement des mois selon leur bilan est le suivant :

- janvier et mars sont les seuls mois excédentaires;
- avril, mai, juin, septembre et octobre sont assez proches d'un bilan nul;
- février, juillet, août, novembre et décembre sont déficitaires.

Le classement des mois opéré ici est identique à celui effectué lors de la comparaison des moyennes des deux périodes, ce qui revient à dire que les moyennes mensuelles de la période 1982-91 retranscrivent assez fidèlement ce qui se passe globalement pour l'ensemble de la décennie.

Finalement, si les hauteurs de précipitations mensuelles sont plus élevées qu'à la normale, les durées mensuelles de précipitations sont quant à elles assez voisines des durées moyennes de la normale. Ce qui permet de formuler l'hypothèse d'une accentuation de "l'intensité moyenne mensuelle" des précipitations (rapport des hauteurs et des durées mensuelles).

Tableau n°23 : Intensité moyenne mensuelle (IMM) pour la normale 1951-1980 et la période 1982-1991, à Lesquin.

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
IMM 1951-1980	0.49	0.53	0.55	0.59	0.87	1.07	1.13	1.26	1.04	0.78	0.66	0.56
IMM 1982-1991	0.64	0.63	0.72	0.90	0.98	1.26	1.61	1.33	1.10	1.08	0.79	0.72
Ecart absolu	0.15	0.10	0.17	0.31	0.12	0.18	0.48	0.06	0.06	0.30	0.13	0.16

Le tableau précédent confirme l'hypothèse formulée plus haut : il y a bien amplification de l'intensité moyenne mensuelle, et ce pour l'ensemble des mois de l'année, cette amplification étant d'ailleurs plus ou moins prononcée selon les mois. Les précipitations de la décennie semblent donc être plus intenses que celles de la normale, à l'échelle mensuelle, ce qui ne signifie pas que l'intensité des précipitations soit systématiquement renforcée à l'échelle de l'épisode. Est-ce là encore un effet de l'urbanisation ou cette amplification des intensités est-elle plutôt liée au changement climatique global ?

2.2.3. REPARTITION MENSUELLE DES DIFFERENTS TYPES DE PRECIPITATIONS.

Pour achever la présentation de la pluviométrie mensuelle, il est intéressant de connaître comment se répartissent les types de précipitations (neige, grêle, orage) pour chaque mois.

Mais avant de comparer la répartition mensuelle des trois types de précipitations de la période 1982-1991 avec celle de la normale, il est utile de préciser quelques valeurs types de la normale 1951-1980 (Tableau n°24).

La répartition moyenne selon les mois des chutes de neige n'a rien de surprenant, les premières chutes apparaissent en novembre et les toutes dernières ont lieu en mai, avec une fréquence plus élevée au coeur de l'hiver : en février.

Les chutes de grêle sont assez peu représentées (de 0.1 à 0.8 jours en moyenne) et se répartissent de manière assez homogène sur l'ensemble des mois, avec toutefois une fréquence plus élevée au printemps : en mars et avril, (grains et giboulées de printemps).

Les orages se répartissent eux aussi sur toute l'année (de 0.1 à 4.3 jours en moyenne), mais cette répartition est loin d'être homogène puisqu'ils se concentrent pendant la saison estivale, avec un maximum en août.

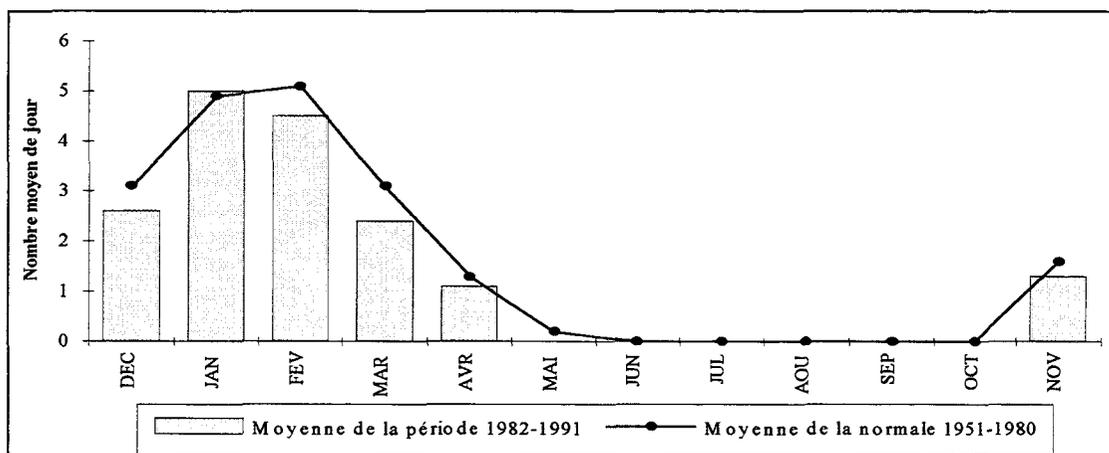
Tableau n°24 : Nombre moyen et maximum de jours avec chute de neige, chute de grêle, ou orage par mois, pour la normale 1951-1980, à Lesquin.

	Nombre de jours avec chute de neige		Nombre de jours avec chute de grêle		Nombre de jours avec orage	
	Moyenne	Maximum	Moyenne	Maximum	Moyenne	Maximum
JAN	4.9	14	0.2	2	0.2	1
FEV	5.1	15	0.2	2	0.1	2
MAR	3.1	11	0.8	3	0.6	2
AVR	1.3	6	0.7	5	1.1	6
MAI	0.2	2	0.1	2	3	6
JUN	0	0	0.2	2	3.5	8
JUL	0	0	0.1	1	3.7	8
AOU	0	0	0.2	1	4.3	10
SEP	0	0	0.1	1	2.3	5
OCT	0	0	0.1	1	0.8	3
NOV	1.6	8	0.3	2	0.4	2
DEC	3.1	10	0.2	1	0.1	1

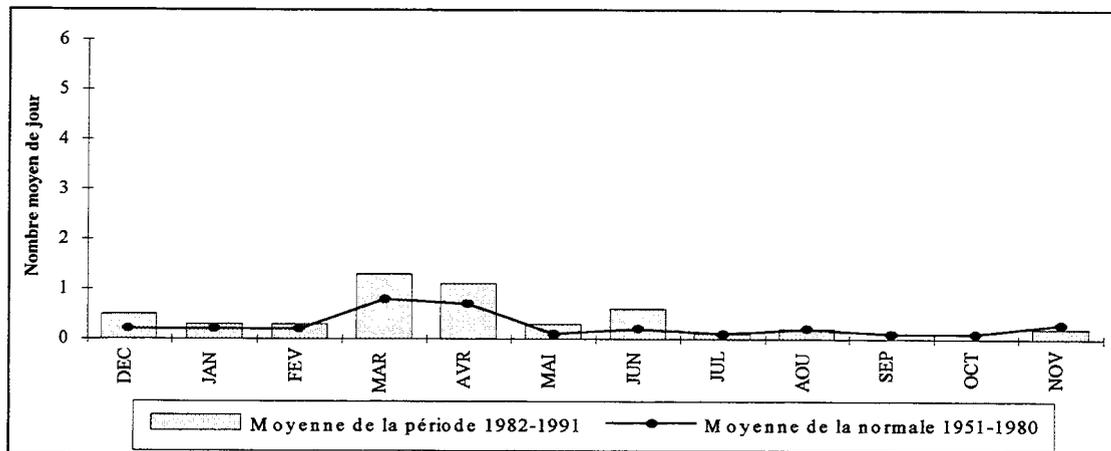
Les graphiques qui suivent permettent de comparer les valeurs mensuelles moyennes de la période 1982-1991 avec celles de la normale.

Le schéma normal de répartition mensuelle du nombre moyen de jours avec chute de neige est remarquablement reproduit pendant la décennie 1982-1991, avec des moyennes toujours inférieures à celles de la normale.

Graphique n°18 : Nombre moyen de jours avec chute de neige pour la période 1982-1991 et la normale 1951-1980, à Lesquin.



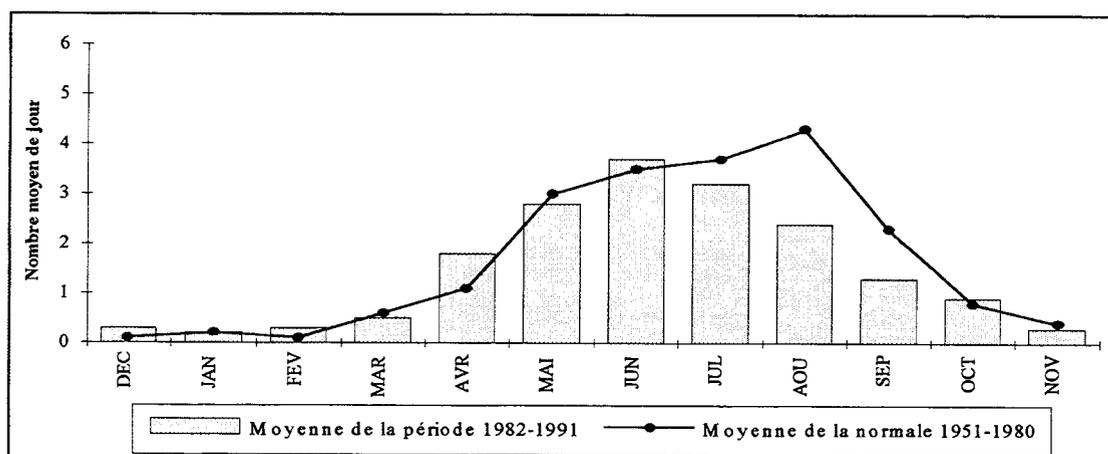
Graphique n°19 : Nombre moyen de jours avec chute de grêle pour la période 1982-1991 et la normale 1951-1980, à Lesquin.



Pour les chutes de grêle, le schéma normal est lui aussi assez bien reproduit, mais il faut noter des moyennes beaucoup plus élevées pour l'ensemble des mois (sauf septembre et octobre).

Les chutes de grêle des mois de mars et avril s'apparentent plus à du grésil qu'à de véritables chutes de grêle, ces chutes de grêle ne constituent donc pas de "grêle dommageable". Les chutes estivales sont quant à elles très souvent liées à la convection et à l'activité orageuse.

Graphique n°20 : Nombre moyen de jours avec orage pour la période 1982-1991 et la normale 1951-1980, à Lesquin.



Enfin, le schéma normal de répartition des jours avec orage est lui aussi reconduit pendant la décennie 1982-1991, avec néanmoins, un déficit assez prononcé pendant la saison estivale et en particulier en août (mois du maximum de la normale).

En résumé, les schémas normaux de répartition des jours avec chute de neige, de grêle ou avec orage sont répétés pendant la période étudiée, il faut néanmoins noter la fréquence plus élevée des jours avec chute de grêle, en particulier au printemps, et au contraire, la fréquence moins élevée des jours avec orage en période estivale.

Finalement, les précipitations moyennes mensuelles de la période 1982-1991 apparaissent globalement plus élevées qu'à la normale, et comptent 50 % de mois plus arrosés qu'à la normale.

Quant aux durées moyennes mensuelles elles sont proches de celles de la normale, tout en leur étant, dans la majorité des cas, inférieures. La combinaison de ces deux tendances (augmentation des hauteurs moyennes mensuelles et diminution des durées moyennes mensuelles) tend à montrer une accentuation de "l'intensité moyenne mensuelle".

Enfin, les schémas normaux de répartition mensuelle des jours avec chute de neige, de grêle ou avec orage sont globalement respectés, excepté une recrudescence des jours avec chute de grêle et au contraire, une diminution du nombre moyen de jours avec orage.

Après l'étude des précipitations observées à Lesquin au pas de temps annuel et mensuel, il est temps de s'attacher à l'analyse des précipitations au pas de temps journalier, puisque cette échelle temporelle tend à s'approcher de la réalité physique des précipitations et donc de l'impact de celles-ci dans l'hydrosystème urbain.

2.3. LES PRECIPITATIONS JOURNALIERES.

2.3.1. PREMIERE APPROCHE DES PRECIPITATIONS JOURNALIERES PAR LE NOMBRE DE JOURS DE PRECIPITATIONS.

Un jour est défini comme pluvieux lorsque la hauteur précipitée atteint 0.1 mm sur 24 heures¹ (de 6 h du jour à 6 h du lendemain). Le nombre de jours pluvieux, toutes formes de précipitations confondues, pluie, neige, grêle, et grésil, permet de connaître dans un premier temps la part de jours pluvieux dans une année (et donc aussi celle des jours secs) ou encore la probabilité qu'un jour soit pluvieux.

¹C'est la définition de la Météorologie Nationale française qui a été retenue ici, même si hauteurs inférieures à 1 millimètre représentent en grande partie des "précipitations occultes" (voir 2.3.2.)

La station de Lesquin compte en moyenne, pour la normale 1951-1980, un nombre de jours pluvieux s'élevant à 176.7, soit 48 % des jours de l'année, ce qui donne une probabilité qu'un jour soit pluvieux de 0.5, soit pratiquement un jour sur deux.

Bien évidemment, ceci n'est qu'une expression probabiliste, il est clair que les événements pluvieux ne se réalisent pas avec une telle régularité mathématique et que leur répartition dans l'année est très éloignée de cette répartition théorique. Néanmoins, un tel décompte nous montre combien le nombre de jours pluvieux est important, et souligne la fréquence élevée de ce phénomène physique qu'est la pluie dans l'agglomération lilloise.

La période 1982-1991 est très proche de la normale en ce qui concerne le nombre de jours pluvieux, puisqu'elle compte en moyenne 173.4 jours pluvieux. Le tableau qui suit replace ces valeurs moyennes dans un contexte plus vaste, et montre que si les deux moyennes peuvent être assimilées, l'étendue (différence maximum-minimum) n'est pas totalement comparable : 85 jours pour la normale et 45 jours pour la période 1982-1991 (Tableau n°25).

Tableau n°25 : Nombre de jours pluvieux à Lesquin, comparaison des valeurs de la normale avec celle de la période 1982-1991.

	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart-type	Coeff. var.
Normale (1951-1980)	132 jours	176.7 jours	217 jours	20 jours	11 %
Période 1982-1991	144 jours	173.4 jours	189 jours	15 jours	9 %

Les coefficients de variation montrent que, quelle que soit la période prise en compte, le nombre de jours pluvieux varie peu d'une année à l'autre, mais soulignent que la variabilité interannuelle est plus faible pour la période 1982-1991, la moyenne y est donc plus représentative que pour la période de la normale.

Si les jours pluvieux (cumul d'au moins 0.1 mm) sont en moyenne très nombreux, il n'en est pas de même lorsque le seuil de hauteur augmente. En effet, la décroissance du nombre de jours de précipitations avec au moins 1, 5 ou 10 mm, est très rapide, aussi bien pour la normale que pour la période 1982-1991 (Tableau n°26).

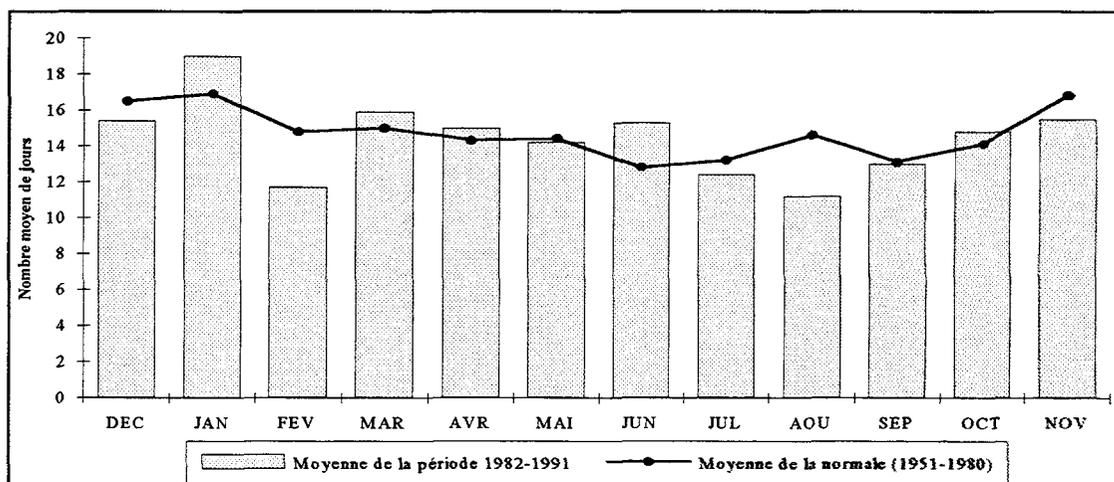
Tableau n°26 : Nombre de jours avec précipitations supérieures ou égales à 1, 5 et 10 mm, pour la normale (1951-1980) et la période 1982-1991, à Lesquin.

	P ≥ 1 mm				P ≥ 5 mm				P ≥ 10 mm			
	Min.	Moy.	Max.	Cv	Min.	Moy.	Max.	Cv	Min.	Moy.	Max.	Cv
Normale (1951-1980)	87	117.5	147	14 %	29	42.2	67	22 %	6	14.4	27	35 %
Période 1982-1991	109	126.1	142	8 %	42	54.2	62	12 %	15	18.9	24	14 %

Le nombre de jours avec des précipitations supérieures ou égales à 1, 5 ou 10 mm connaît une variabilité d'une année sur l'autre d'autant plus importante que le seuil est grand. Ceci est relativement fréquent en climatologie, un événement connaît une variabilité d'autant plus grande qu'il est rare. Ici encore, la variabilité interannuelle, mesurée par le coefficient de variation, est nettement moindre pour la période 1982-1991, et ce, quel que soit le seuil choisi.

Pour parfaire la présentation de cet indicateur climatique qu'est le nombre de jours de pluie, la répartition moyenne au sein des mois de l'année a été établie pour la décennie étudiée en la comparant à celle de la normale (Graphique n°21).

Graphique n°21 : Répartition moyenne mensuelle des jours pluvieux à Lesquin pour la période 1982-1991 comparée à la normale (1951-1980).



Une analyse rapide conduit à conclure que chaque mois connaît environ 15 jours pluvieux, mais ceci n'est qu'une vue partielle de la réalité. En effet, le nombre de jours pluvieux par mois est soumis à des variations, même si celles-ci sont faibles : de 13 à 17 jours pour la normale et de 11 à 16 jours pour la décennie 1982-1991.

Le schéma de répartition de la normale est assez simple : les mois qui connaissent le plus de jours pluvieux sont les mois de novembre à mars, avec un maximum en janvier, à l'inverse les mois qui connaissent un nombre moins important de jours pluvieux sont les mois d'avril à octobre, avec un minimum en juin.

Ce schéma est globalement respecté pendant la décennie 1982-1991, sauf quelques exceptions. En effet, le minimum est déplacé en février, mois qui est donc déficitaire, tout comme l'est le mois d'août. A contrario, le mois de juin connaît un surplus d'autant plus

important qu'il constitue normalement le mois du minimum. Enfin, le maximum du mois de janvier est accentué pendant la période 1982-1991.

Finalement, les faits principaux à retenir concernant le nombre de jours pluvieux sont les suivants :

- 50 % des jours d'une année sont pluvieux.
- la variabilité interannuelle du nombre moyen de jours pluvieux est faible, surtout pour la période 1982-1991.
- lorsque le seuil de hauteur précipitée sur 24 heures augmente, le nombre de jours correspondant diminue très rapidement.
- la répartition moyenne mensuelle des jours pluvieux montre deux périodes distinctes (novembre à mars, et avril à octobre) bien que les moyennes mensuelles soient peu différenciées.

Si le nombre de jours pluvieux constitue une variable riche d'enseignements, il est possible de compléter l'information en étudiant non plus les jours pluvieux en tant qu'entité mais dans leur succession dans le temps, c'est-à-dire en travaillant sur les séquences pluvieuses qu'ils forment, selon la définition de DAUPHINE A. (1975).

En effet, pour définir ces séquences pluvieuses, DAUPHINE A. (1975) retient la règle empirique suivante : une séquence pluvieuse est interrompue par une journée sans pluie ou comportant des traces (moins de 0.1 mm sur 24 heures).

Lors de la répartition mensuelle des séquences, une séquence pluvieuse s'étendant sur deux mois est intégrée dans le mois où elle s'étend le plus, et en cas d'égalité, soit un même nombre de jours sur chaque mois, la séquence vaut une demi-séquence pour chaque mois (à une séquence de 6 jours s'étendant sur deux mois consécutifs est attribuée la valeur 1/2 pour le premier mois et 1/2 pour le second).

La durée des séquences pluvieuses varie entre 1 et 19 jours pour la période 1982-1991, et de 1 à 27 jours pour la normale.

Si les séquences pluvieuses peuvent atteindre ces maximums, les plus forts effectifs sont situés dans des valeurs beaucoup plus faibles. En effet, le regroupement des séquences pluvieuses par classes de durée donne les résultats suivants (Tableau n°27).

Tableau n°27 : Fréquences des séquences pluvieuses selon leur durée, pour la normale (1951-1980) et la période 1982-1991, à Lesquin.

Séquences de	Normale 1951-1980	Période 1982-1991
1 à 4 jours	80.2 %	78.9 %
5 à 9 jours	16.7 %	16.7 %
10 à 14 jours	2.8 %	3.3 %
15 à 19 jours	0.3 %	1.1 %
20 jours ou plus	0.1 %	0.0 %

A la lecture de ce tableau, il paraît évident que les distributions sont sensiblement les mêmes à quelques différences près.

Néanmoins, le calcul de la durée moyenne d'une séquence pour chaque période nuance le propos : cette durée moyenne est légèrement plus élevée pour la période 1982-1991 que pour la normale, respectivement 3.2 jours et 3 jours.

Il en est de même à l'échelle saisonnière, la durée moyenne d'une séquence pluvieuse étant de :

- 3.1 jours pour la normale et de 3.3 jours pour la période 1982-1991, en saison hivernale;

- 2.9 jours pour la normale et de 3 jours pour la période 1982-1991, en saison estivale.

Il faut noter au passage l'infériorité de la durée moyenne des périodes de précipitations en saison estivale, qui s'explique par le fait que cette saison regroupe approximativement l'été et l'automne pendant lesquels les périodes de précipitations de courte durée sont plus fréquentes.

Finalement, quelle que soit la période, ce sont les périodes pluvieuses de durées faibles qui sont les plus représentées, puisque 75 % des séquences ont une durée inférieure à 3 jours, 90 % à 6 jours et 99 % à 12 jours.

En outre, la saison semble très peu influencer la durée des séquences de précipitations.

Si ces longues séquences pluvieuses sont assez rares, elles peuvent néanmoins apporter des hauteurs d'eau importantes. Ainsi, des séquences de 10 jours et plus peuvent apporter de 20 à 110 mm, et sont parfois à l'origine d'inondations liées à des remontées de nappes, et à une réduction au fil des jours de la capacité d'absorption des sols qui une fois gorgés d'eau sont incapables d'absorber de nouveaux volumes d'eau. Pour ces séquences, ce

n'est pas la quantité journalière de pluie prise individuellement qui crée l'inondation mais bien le fait qu'elles se cumulent dans le temps.

S'il est possible de définir des séquences pluvieuses de n jours consécutifs, cette définition peut aussi s'appliquer à des jours secs et tout comme pour les jours pluvieux, il est intéressant de connaître comment ces jours secs se succèdent dans le temps et se regroupent, car la durée de ces séquences sèches intervient dans le calcul des bassins d'orage.

Les séquences de n jours consécutifs pendant lesquels il ne pleut pas constituent donc des séquences sèches. Lors de la répartition mensuelle de ces séquences sèches, la même règle que pour les séquences pluvieuses a été adoptée.

La durée des séquences sèches varie entre 1 à 23 jours pour la période 1982-1991 et de 1 à 34 jours pour la normale. Mais ces séquences de 23 ou 34 jours constituent les maxima atteints alors que la majorité des séquences ont en fait une durée assez courte comme le montre le Tableau n°28.

Tableau n°28 : Fréquence des séquences sèches selon leur durée, pour la normale (1951-1980) et la période 1982-1991, à Lesquin.

Séquences de	Normale 1951-1980	Période 1982-1991
1 à 4 jours	79.7 %	76.1 %
5 à 9 jours	14.3 %	15.3 %
10 à 14 jours	4.3 %	4.8 %
15 à 19 jours	1.2 %	3.1 %
≥ 20 jours	0.6 %	0.7 %

Les distributions sont sensiblement les mêmes, excepté le fait que les séquences supérieures à 15 jours sont mieux représentées pendant la période 1982-1991 que pendant la normale. C'est certainement ce qui explique une durée moyenne légèrement plus élevée pour la période 1982-1991, 3.5 jours contre 3.2 jours pour la normale.

La supériorité de la durée des séquences sèches se reproduit à l'échelle saisonnière, puisque la durée moyenne pour la normale en saison estivale est de 3.3 jours et de 3.7 jours pour la décennie étudiée, et en saison hivernale, les durées moyennes sont respectivement, 3 et 3.4 jours.

Si la durée moyenne des séquences pluvieuses était plus faible pendant la saison estivale, il est normal de noter une durée moyenne des séquences sèches plus élevée pendant cette saison. Par ailleurs, si la saison semblait peu influencer la durée des séquences

pluvieuses, elle paraît au contraire influencer la durée des périodes sèches, plus longues en saison estivale qu'en saison hivernale.

En bref, quelle que soit la période, ce sont les périodes sèches de durées faibles qui dominant puisque 75 % des séquences ont une durée inférieure à 4 jours, 90 % à 8 jours et seulement 1 % dépasse 18 jours.

La connaissance des durées de temps sec est intéressante dans la mesure où d'une part, elle détermine le temps de stockage maximal des précipitations dans les bassins d'orage ou de rétention, et d'autre part, contribue au calcul de leur capacité.

Ainsi, la prépondérance de séquences sèches de courte durée n'est pas sans conséquence : en effet elle implique un stockage des eaux pluviales dans les bassins de rétention de courte durée et un potentiel surdimensionnement de ces bassins, ceux-ci devant être en mesure de retenir les volumes d'eau correspondant à plusieurs séquences pluvieuses, puisque celles-ci ne sont séparées que par de brèves séquences sèches.

Finalement, les durées des périodes pluvieuses et des périodes sèches sont toutes deux assez faibles, ce qui implique une alternance de séquences pluvieuses et de séquences sèches à un rythme assez rapide. Cette alternance rapide de jours secs et pluvieux a des conséquences non négligeables :

- d'une part, en matière de gestion des réseaux d'assainissement, et de qualité des eaux pluviales urbaines, les dépôts secs (poussières, hydrocarbure, métaux lourds, et autres déchets) sur les voiries étant d'autant plus importants qu'elles sont longues et donc d'autant plus néfastes;

- et d'autre part, en matière d'activité touristique puisque une telle alternance représente un handicap certain pour les activités de plein air, car même si des longues périodes de temps sec sont possibles, leur fréquence est assez faible et donc leur potentialité très réduite.

Le nombre de jours pluvieux, les séquences de n jours pluvieux ou secs consécutifs permettent d'aborder les précipitations journalières dans leur fréquence d'apparition. Il n'est pas concevable de se satisfaire de cette seule approche c'est pourquoi les précipitations journalières sont décrites dans les paragraphes qui suivent par leurs volumes et leurs durées de précipitations.

2.3.2. LES HAUTEURS ET DUREES JOURNALIERES.

L'analyse du nombre de jours pluvieux a montré l'importance des précipitations en termes de fréquence d'apparition, l'analyse des hauteurs et durées journalières devrait permettre de compléter les faits énoncés aux paragraphes précédents.

Les hauteurs journalières s'échelonnent, pour l'ensemble de la période 1982-1991, entre 0.1 et 37.8 mm. Ces dernières s'inscrivent tout à fait dans les limites de la normale puisque le maximum relevé y est de 50.7 mm.

Le Tableau n°29 vise à comparer la distribution des hauteurs journalières de la période 1982-1991 à celle de la normale (1951-1980) et propose donc des paramètres statistiques descriptifs, calculés pour les deux périodes.

Tableau n°29 : Paramètres statistiques descriptifs des hauteurs quotidiennes pour la normale (1951-1980) et la période 1982-1991, à Lesquin.

	Normale (1955-1980)	Période 1982-1991
Moyenne	3.6 mm	4.3 mm
Mode	0.1 mm	0.2 mm
1^{er} quartile	0.6 mm	0.8 mm
Médiane	2.0 mm	2.6 mm
3^{ème} quartile	4.8 mm	6.0 mm
9^{ème} décile	8.9 mm	10.4 mm
Ecart-type	4.7 mm	4.9 mm
Coefficient d'aplatissement de Fisher	15.6	7.1
Coefficient d'asymétrie de Fisher	3.1	2.3
Coefficient de variation	131 %	114 %

Le constat est simple : les hauteurs quotidiennes de la période 1982-1991 sont globalement plus élevées que celles de la normale. En effet, la moyenne, le mode et les quantiles sont plus élevées pour la décennie étudiée.

Ces distributions sont toutes deux obliques à gauche, puisque le coefficient d'asymétrie de Fisher est positif, l'obliquité étant ailleurs plus prononcée pour la normale.

Le coefficient d'aplatissement de Fisher étant positif, les deux distributions ont une courbe leptocurtique signalant une concentration, néanmoins les hauteurs journalières de la période 1982-1991 sont moins concentrées que celles de la normale (le coefficient étant de 7.1 contre 15.6).

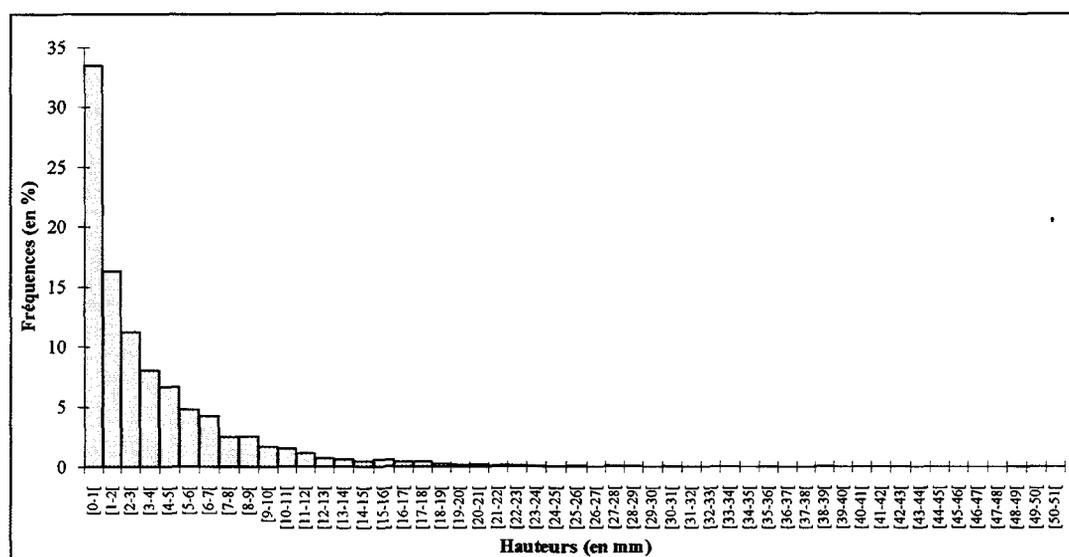
Enfin, les coefficients de variation sont élevés et soulignent bien l'extrême variabilité des hauteurs journalières. Il est à noter un coefficient de variation légèrement inférieur pour la période 1982-1991.

Si les cumuls sur 24 heures peuvent atteindre des valeurs importantes comme 50 mm, (rien de comparable toutefois aux maxima journaliers des stations climatologiques cévenoles ou méditerranéennes), les Graphiques n°22 et 23 confirment combien la répartition des jours pluvieux selon le cumul journalier est dissymétrique à gauche ou en d'autres termes, que les faibles hauteurs journalières sont très fréquentes.

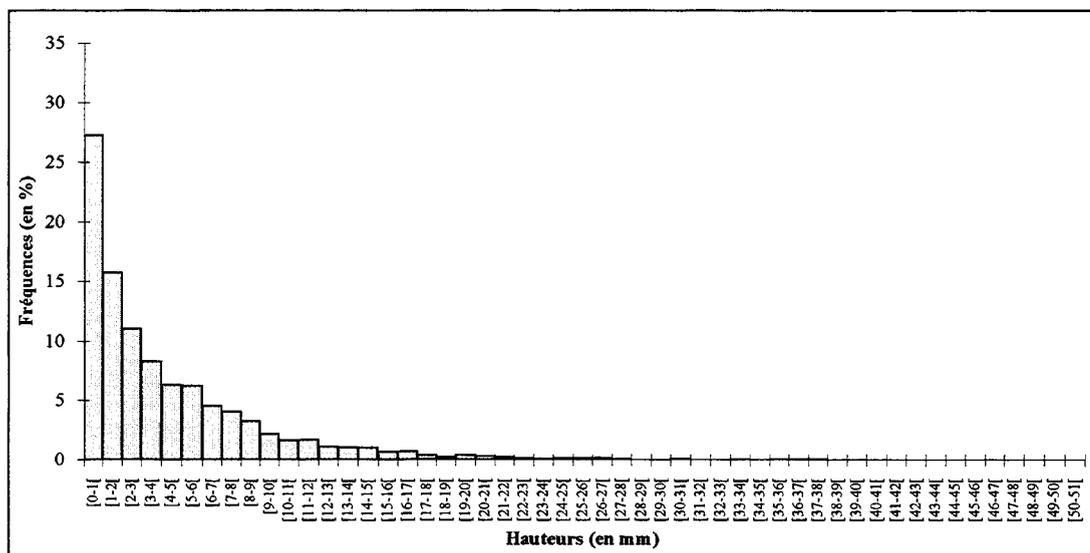
Il faut noter que parmi ces faibles hauteurs journalières, les hauteurs inférieures à un millimètre auraient pu être négligées dans la mesure où elles ne correspondent que très rarement à de réelles précipitations et parce que les très faibles volumes d'eaux qu'elles induisent sont négligeables par rapport aux volumes d'eaux usées collectés et traités aux stations d'épuration.

En effet, ces hauteurs journalières inférieures à un millimètre constituent le plus souvent ce que l'on nomme des "précipitations occultes", résultant de la condensation de vapeur d'eau (brouillard ou rosée) sur les parois froides du pluviomètre ou du pluviographe. Celles-ci ont néanmoins été prises en compte d'une part parce qu'elles ne modifient en rien la forme de la distribution des hauteurs journalières, et d'autre part, pour en souligner le poids.

Graphique n°22 : Histogramme des fréquences des hauteurs journalières à Lesquin, normale climatologique (1951-1980).



Graphique n°23 : Histogramme des fréquences des hauteurs journalières à Lesquin, période 1982-1991.



Le Graphique n°23 présente la répartition des jours pluvieux selon la hauteur de manière globale pour la période 1982-1991. Ce schéma de répartition est-il constant selon les années, a-t-on des écarts importants d'une année à l'autre ?

Pour répondre à cette question, il suffit de calculer les fréquences selon les mêmes classes (< 5, de 5 à 10, de 10 à 20, ≥ 20 mm) pour chacune des années (Tableau n°30).

Tableau n°30 : Répartition des jours pluvieux selon 3 classes de hauteur, période 1982-1991 à Lesquin (en pourcentages).

	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
< 5	67.8	71.8	67.2	76.5	69.1	68.3	69.0	68.1	63.6	65.0
[5-10[	21.9	18.4	23.3	13.4	21.9	20.4	22.8	18.1	22.7	20.2
[10-20[	9.3	9.8	8.5	9.5	6.2	8.1	7.1	10.4	11.7	11.7
≥ 20	1.1	0.0	1.1	0.6	2.8	3.2	1.1	3.5	1.9	3.1

Il est clair que la répartition des jours pluvieux selon la hauteur ne subit pas de variations très importantes d'une année sur l'autre.

Néanmoins, le calcul du coefficient de variation pour chacune des classes exprime bien le fait que plus la hauteur est élevée plus la variabilité interannuelle est forte : en effet, le coefficient de variation atteint à peine 5 % pour la première classe, puis 14 % pour la seconde, 18 % pour la troisième et s'élève à 64 % pour la dernière classe. En d'autres termes, les jours pluvieux cumulant moins de 5 mm ont une fréquence similaire quelle que soit

l'année, ceux qui cumulent de 5 à moins de 10 mm et de 10 à moins de 20 mm connaissent des variations de faibles amplitudes, enfin, ceux dépassant les 20 mm connaissent une fréquence très faible et extrêmement variable d'une année à l'autre.

La répartition des jours pluvieux selon la hauteur pour l'ensemble de la période 1982-1991 présentée au Graphique n°23 semble donc bien être approximativement reproduite chaque année. Si le graphe de répartition des jours pluvieux selon la hauteur était tracé pour chaque année, il apparaîtrait nettement une similitude des graphes, ces derniers présenteraient effectivement tous une dissymétrie prononcée à gauche.

Il est donc possible d'affirmer que ce sont les journées cumulant de faibles précipitations (moins de 5 mm) qui sont les plus fréquentes, et, *a contrario*, que les journées dépassant les 20 mm n'apparaissent que très occasionnellement (en moyenne 3 jours par an).

Après cette présentation des hauteurs journalières, il convient d'étudier aussi les durées quotidiennes de précipitations.

Les durées journalières de la période 1982-1991 varient entre 0.1 et 22.7 h, et s'inscrivent donc bien dans l'intervalle de variation de la normale (1955-1980) : de 0.1 à 24 h.

Les paramètres statistiques descriptifs ont été calculés pour les distributions des durées quotidiennes de la normale (1955-1980) et de la période 1982-1991 et sont présentés au Tableau n°31.

Tableau n°31 : Paramètres statistiques descriptifs des durées quotidiennes pour la normale (1955-1980) et la période 1982-1991, à Lesquin.

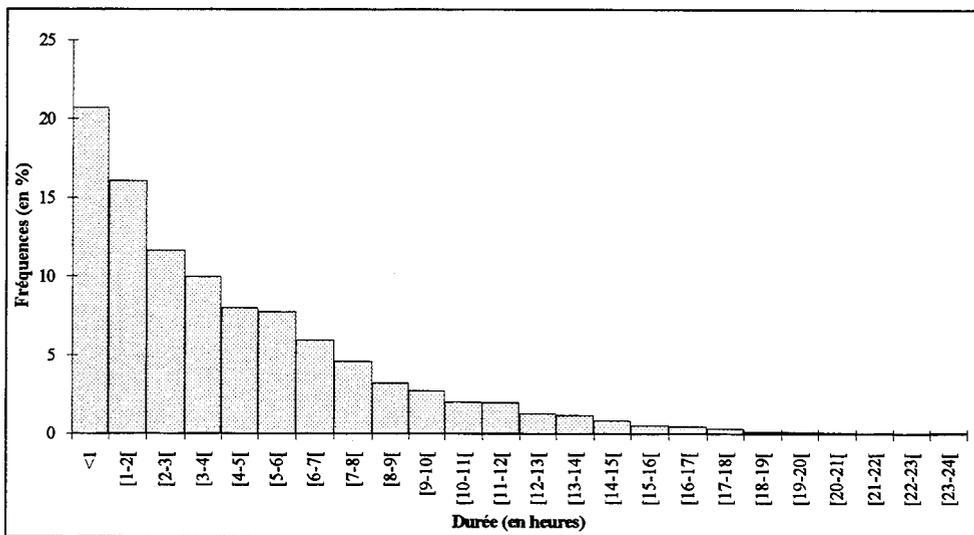
	Normale (1955-1980)	Période 1982-1991
Moyenne	4.2 h	4.0 h
Mode	0.3 h	0.3 h
1^{er} quartile	1.2 h	1.1 h
Médiane	3.8 h	2.8 h
3^{ème} quartile	6.1 h	5.8 h
9^{ème} décile	9.6 h	9.2 h
Ecart-type	3.9 h	3.7 h
Coefficient d'aplatissement de Fisher	2.26	2.86
Coefficient d'asymétrie de Fisher	1.43	1.55
Coefficient de variation	92.2 %	93.8 %

Ce tableau souligne bien le fait que la distribution des durées quotidiennes de la décennie étudiée est conforme à celle de la normale, puisque les paramètres sont du même

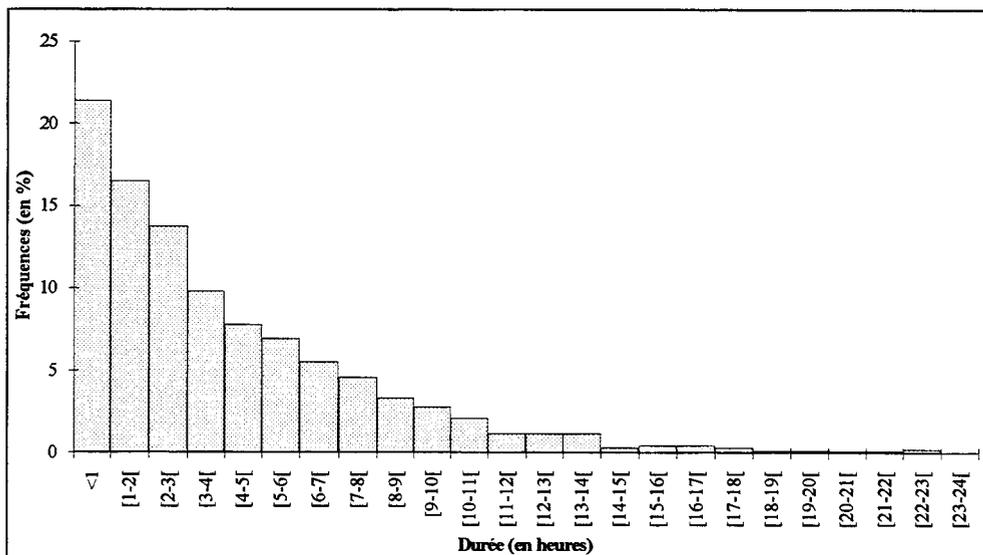
ordre de grandeur. Seul un léger décalage vers les faibles valeurs peut être noté, les valeurs de la moyenne, mais aussi celles des quantiles étant toutes inférieures à celles de la normale.

L'histogramme des fréquences des durées quotidiennes de précipitations (Graphiques n°24 et n°25) présente une allure similaire quelle que soit la période : la distribution est dissymétrique à gauche, les faibles durées sont donc très nombreuses. Cette dissymétrie à gauche est déjà signalée par un coefficient d'asymétrie de Fisher positif (Tableau n°31), cette asymétrie étant un peu plus importante pour la période 1982-1991.

Graphique n°24 : Histogramme des fréquences des durées journalières de la normale (1955-1980), à Lesquin.



Graphique n°25 : Histogramme des fréquences des durées journalières de la période 1982-1991, à Lesquin.



Les durées quotidiennes de précipitations sont donc assez faibles, en moyenne de 4 heures, 10 % des durées dépassent 9.2 heures et seulement 1 % dépasse les 16 heures.

Parmi les journées pluvieuses, ce sont les journées où les précipitations sont inférieures à 5 mm qui constituent une majorité (76 % pour la normale et 70 % pour la période 1982-1991), vient ensuite environ un cinquième des journées où les précipitations sont comprises entre 5 et 10 mm (16 % pour la normale et 20 % pour la période 1982-1991). On a donc, *grosso modo*, 90 % des journées avec des hauteurs précipitées inférieures à 10 mm.

Enfin, non seulement les journées où le total pluviométrique dépasse 10 mm sont peu fréquentes, mais celles où il dépasse les 20 mm sont rarissimes, moins de 2 % des jours pluvieux.

Pour compléter cette étude, il aurait été intéressant de travailler sur les intensités moyennes journalières mais l'archivage des données ne le permet pas dans la mesure où les durées de précipitations sont cumulées de 0 à 24 h alors que les hauteurs de précipitations le sont de 6 h du jour à 6 h le lendemain. L'intensité moyenne journalière aurait pu être un indice synthétique intéressant pour l'analyse des relations entre hauteurs et durées de précipitations journalières quoiqu' un peu imparfait. En effet, même si les périodes de cumul des hauteurs et des durées étaient identiques, l'intensité moyenne journalière serait un "amalgame" de une ou plusieurs séquences pluvieuses ayant eut lieu sur une même période de 24 heures et pouvant être, de plus, scindées par le découpage journalier. Aussi, l'étude de l'intensité moyenne journalière doit être abandonnée au profit de l'étude de l'intensité moyenne des séquences de précipitations définies au Chapitre 3.

2.3.3. LES TYPES DE PRECIPITATIONS.

L'analyse des précipitations à l'échelle journalière ne serait pas complète, si les différents types de précipitations n'étaient pas examinés. La variabilité interannuelle et la répartition mensuelle de ces différents types de précipitations (neige, grêle, et orage) ont déjà été abordées respectivement dans le paragraphe traitant des précipitations annuelles (2.1.2), et celui présentant les précipitations mensuelles (2.2.3), et ne feront donc pas l'objet de développement dans ce paragraphe.

Lors de l'analyse des différents types de précipitations à l'échelle annuelle, un fait important a été énoncé : ce sont les précipitations sous forme de bruine ou pluie qui sont les plus représentées. Ainsi, la probabilité moyenne qu'un jour connaisse une chute de grêle est de 0.01, une chute de neige, ou un orage de 0.05, alors que la probabilité moyenne qu'un jour

soit pluvieux est de 0.48. Aussi, à Lesquin, le risque de précipitations sous ces trois formes reste très modeste.

Non seulement ces trois types de précipitations ont une fréquence très faible, mais elles correspondent à de très faibles parts de la hauteur annuelle et de la durée annuelle des précipitations (voir paragraphe 2.2.1.). Mais même si ces types de précipitations présentent des fréquences très faibles, ils méritent néanmoins d'être étudiés car ils occasionnent des problèmes particuliers au niveau des réseaux et des stations d'épuration.

En effet, les précipitations neigeuses si elles n'occasionnent que peu de problèmes lors de leur chute, entraînent lors de la fusion un apport considérable et simultané d'eau dans les réseaux et donc aux stations d'épuration, ce qui est gênant puisque l'irrégularité dans les volumes à traiter demeure toujours une cause de dysfonctionnement de ces stations. Par ailleurs, le manteau neigeux lorsqu'il demeure plusieurs jours au sol est recouvert de polluants (poussières, hydrocarbures,...) auxquels on peut adjoindre le sel répandu sur les voiries, et constitue donc, lors de la fusion, un volume d'eau chargée en polluants dont la teneur sera dépendante du temps passé sous forme de manteau neigeux.

Quant à la grêle, elle occasionne surtout des difficultés dans la mesure des intensités de précipitations, puisqu'il existe un temps de latence entre la chute de grêle et le basculement des augets du pluviographe correspondant au temps nécessaire à la fusion. En conséquence, même si la chute de grêle correspond à des précipitations de forte intensité, celle-ci est masquée par l'étalement dans le temps des basculements. Ainsi, lorsque les réseaux sont gérés en temps réel, le pluviographe ne détecte pas la pointe d'intensité correspondant à la pointe de débit qui existe pourtant dans les réseaux, ce qui peut entraîner des problèmes de gestion des volumes concernés.

Enfin, les orages sont surtout à l'origine de fortes pointes de d'intensité sur des laps de temps courts, qui se transforme lorsque la pluie a ruisselé et atteint les réseaux en pointes de débit qui occasionnent potentiellement des débordements. Ainsi, les problèmes de gestion des réseaux d'assainissement les plus importants sont souvent liés aux précipitations orageuses. Par ailleurs, ces pointes de débits sont souvent constituées d'eaux chargées de polluants pris en charge lors du ruissellement de la pluie sur les zones imperméabilisées ayant à leur surface ces polluants sous forme de dépôts secs.

L'archivage des données ne permettant pas de connaître précisément pour chaque type de précipitations la durée et la hauteur correspondante à chaque épisode, les résultats qui suivent doivent être considérés comme des ordres de grandeur puisque les données de base correspondent aux durées et hauteurs quotidiennes des jours où l'un des types de

précipitations (neige, grêle et orage) est observé, avec l'inconvénient d'avoir éventuellement, le même jour, plusieurs types de précipitations, dont de la pluie.

La comparaison des histogrammes de fréquences par classes de hauteurs des jours avec chute de neige, chute de grêle ou avec orage (Graphiques n°26, 27 et 28) permet d'isoler facilement la neige des deux autres types.

En effet, les jours avec chute de neige présentent une forte concentration dans les faibles hauteurs (50 % cumulent moins de 1 mm, 75 % moins de 3.5 mm) alors qu'une telle concentration n'existe pas pour les jours avec chute de grêle ou avec orage. Les histogrammes sont d'ailleurs beaucoup plus " plats ".

Le calcul des coefficients d'asymétrie de Fisher confirme la diminution de la concentration dans les faibles hauteurs selon le type de précipitation : ces coefficients tous positifs signalent une obliquité à gauche qui s'affaiblit progressivement.

En effet, ce coefficient est de 2.5 pour la neige, de 2.1 pour la grêle et de 1.8 pour les précipitations orageuses. Les coefficients d'aplatissement de Fisher renforcent cette conclusion. Le fait qu'ils soient tous trois positifs signalent une forme de distribution leptocurtique (soit une concentration) dont l'ampleur s'amointrit : 7.4 pour la neige, 6.3 pour la grêle et 4.3 pour les précipitations orageuses.

Le calcul des quantiles corrobore ce qui vient d'être dit (Tableau n°32).

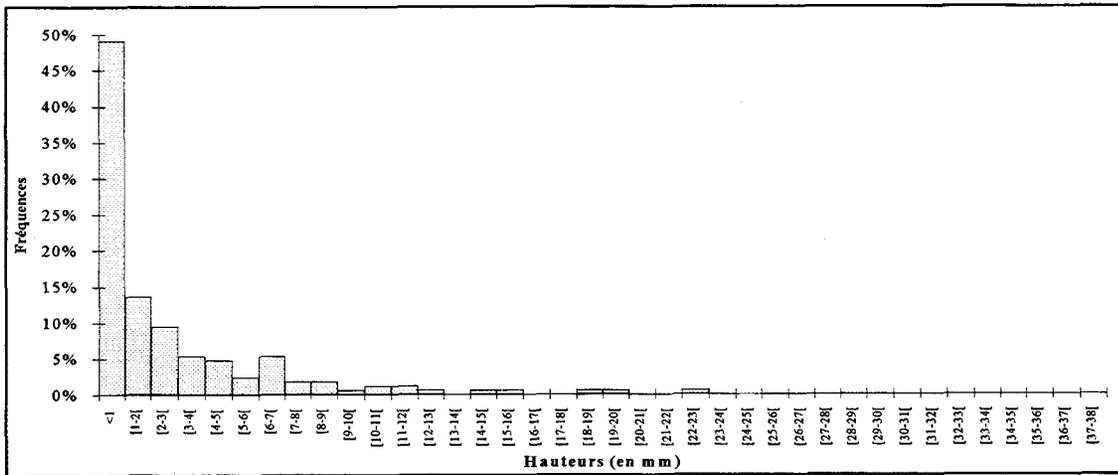
Tableau n°32 : Valeurs des quantiles des distributions selon la hauteur des jours avec chute neige, chute de grêle ou précipitations orageuses, période 1982-1991, à Lesquin.

Quantiles	Neige	Grêle	Orage
1er quartile (25 %)	-	1.6 mm	2.4 mm
Médiane (50 %)	1.1 mm	5.1 mm	5.0 mm
3ème quartile (75 %)	3.5 mm	9.3 mm	9.4 mm
9ème décile (90 %)	7.1 mm	16.1 mm	15.9 mm

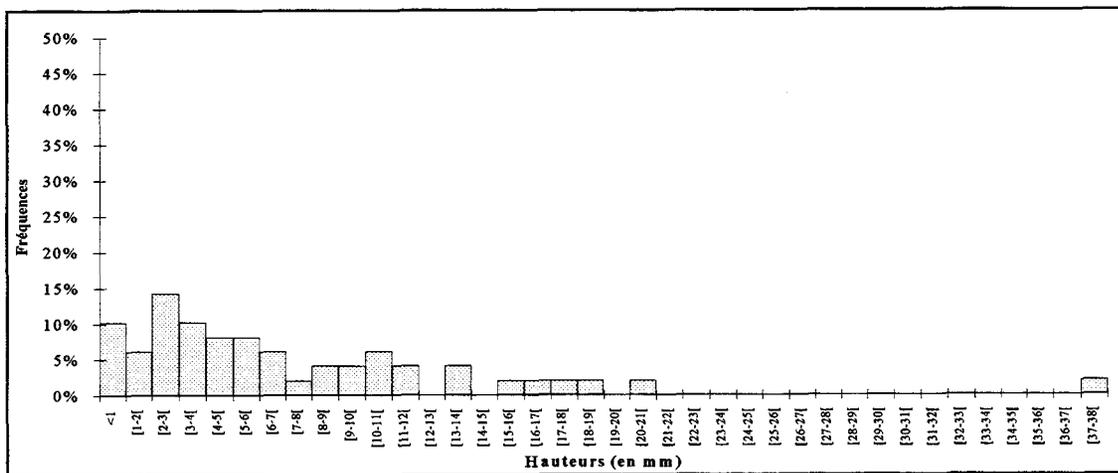
Ces quantiles montrent bien la forte concentration des hauteurs de précipitations neigeuses dans les faibles valeurs puisque 90 % sont inférieures à 7.1 mm (le maximum étant de 22.7 mm).

Quant aux quantiles des précipitations orageuses et de la grêle, ils signalent une ressemblance entre les distributions de ces deux types, la médiane, le 3ème quartile et le 9ème décile étant équivalents, même si cette ressemblance n'est pas réelle dans les faibles valeurs. Cette ressemblance est probablement liée au fait que beaucoup de chutes de grêle ont lieu pendant des orages.

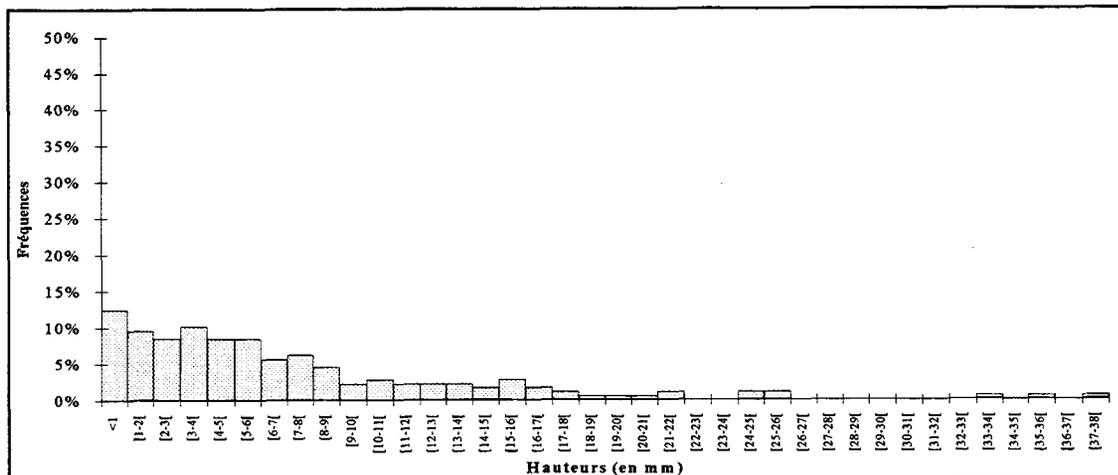
Graphique n°26 : Histogramme des fréquences des hauteurs des jours avec chute de neige de la période 1982-1991, à Lesquin.



Graphique n°27 : Histogramme des fréquences des hauteurs des jours avec chute de grêle de la période 1982-1991, à Lesquin.



Graphique n°28 : Histogramme des fréquences des hauteurs des jours avec orage de la période 1982-1991, à Lesquin.



Si l'analyse des hauteurs quotidiennes des jours avec chute de neige, chute de grêle ou avec orage pose un problème méthodologique puisqu'il est impossible d'affecter à chaque type la part de volume qui lui revient dans la hauteur quotidienne archivée, l'analyse des durées serait encore plus litigieuse et ce surtout pour les précipitations de grêle ou celles liées aux orages, puisque celles-ci sont généralement de courtes durées mais le plus souvent suivies ou précédées de pluie. Aussi, l'analyse des durées quotidiennes de précipitations pour les différents types ne sera pas entreprise.

Il reste à retenir que les précipitations sous forme de neige constituent non seulement une faible part de la hauteur annuelle, mais sont, à l'échelle journalière, très rarement importantes. A l'inverse, les précipitations de grêle ou celles liées à un orage, constituant elles aussi une faible part des précipitations annuelles, peuvent représenter au pas de temps journalier des volumes conséquents voire atteindre le maximum journalier de la période 1982-1991 (37.8 mm).

Finalement, à l'échelle journalière les précipitations constituent un phénomène qui apparaît fréquemment puisque 50 % des jours d'une année sont pluvieux, et ces jours pluvieux ont tendance à former des séquences assez courtes (en moyenne 3 jours, avec 75 % des périodes pluvieuses inférieures à la moyenne).

En termes de hauteur, ce sont les valeurs faibles qui l'emportent (90 % des jours pluvieux ont une hauteur inférieure à 10 mm), et la répartition des jours pluvieux selon la hauteur est quasi-identique pour toutes les années.

En matière de durée, la concentration dans les faibles valeurs est là aussi vérifiée, (en moyenne 4 heures, et 90 % des durées quotidiennes de précipitations inférieures à 9 heures).

La conclusion la plus importante de ce chapitre est que si la "surpluviosité" de la pluviométrie de la période 1982-1991 est un fait prouvé, il apparaît assez probable que ce phénomène s'inscrit dans la durée, puisque à Lesquin, la tendance depuis 1946 est à l'accroissement des précipitations.

Cet accroissement des précipitations semblerait lié au fait que la station de Lesquin est peu à peu rejointe par le front d'urbanisation de l'agglomération urbaine de Lille-Roubaix-Tourcoing, mais ceci ne constitue qu'une hypothèse qui demande à être plus amplement vérifiée.

Néanmoins, cette constatation renforce l'intérêt d'une analyse des données de la station de Lesquin pour l'étude de la pluviométrie en milieu urbain de l'agglomération lilloise.

Quelle que soit l'échelle temporelle retenue, les hauteurs précipitées pendant la période 1982-1991 semblent plus importantes vis-à-vis de la normale. Les durées de précipitations semblent *a contrario* plus faibles ou équivalentes à celles de la normale.

La synthèse de ces deux constatations sous-entend une augmentation globale de l'intensité des précipitations. Cette hypothèse de précipitations plus intenses qu'à la normale se vérifie au pas de temps mensuel, mais n'a malheureusement pu être confirmée au pas de temps journalier. Cette tendance à l'augmentation de l'intensité moyenne est-elle liée, elle aussi, au changement du contexte géographique de la station ?

S'il est prouvé que les poussières contenues dans l'air urbain renforcent la coalescence des gouttes d'eau, que la rugosité plus importante du milieu urbain ralentit les systèmes perturbés et que l'espace bâti renforce l'ascendance des masses d'air, ces trois causes d'accentuation des précipitations en milieu urbain ont-elles pour autant un effet sur l'intensité moyenne des précipitations ?

Le chapitre suivant a pour objet l'analyse des précipitations à l'échelle de la séquence : il s'agit d'aborder les précipitations en approchant au plus près la réalité physique de la pluie. L'étude menée à cette échelle permettra d'aborder les précipitations de cette décennie à un pas de temps très fin, non seulement en termes de hauteur et de durée, mais aussi en termes d'intensité moyenne et maximale, ce qui permettra d'une part, de pallier l'impossibilité d'analyse des intensités moyennes journalières, et d'autre part d'aboutir à une connaissance de la pluie suffisamment précise pour répondre aux besoins de l'hydrologie urbaine.

CHAPITRE 3

LES SEQUENCES PLUVIEUSES : ANALYSE FINE DES PRECIPITATIONS

3.1. DEFINITION DES SEQUENCES DE PRECIPITATIONS ET ANALYSE STATISTIQUE.	95
3.1.1. DEFINITION DE LA SEQUENCE DE PRECIPITATIONS.	95
3.1.2. ANALYSE STATISTIQUE DES POPULATIONS DE SEQUENCES PLUVIEUSES.	98
3.2. PROPOSITION D'UNE TYPOLOGIE.....	101
3.2.1. POURQUOI UNE TYPOLOGIE ?.....	101
3.2.2. QUELLE POPULATION EXPLOITER POUR LA TYPOLOGIE ?.....	102
3.2.3. PRESENTATION DETAILLEE DE LA POPULATION UTILISEE POUR LA TYPOLOGIE.	106
3.2.4. LA GRILLE DE CLASSIFICATION.	111
3.2.5. PRESENTATION DES DIFFERENTS TYPES DEFINIS.	114
3.3. COURBES INTENSITE - DUREE - FREQUENCE POUR L'AGGLOMERATION LILLOISE.	123
3.3.1. CALCUL DES INTENSITES MAXIMALES DES SEQUENCES PLUVIEUSES.	123
3.3.2. CALCUL DES COURBES IDF.....	128

La présentation de la pluviométrie lilloise pour la période 1982-1991 du pas de temps annuel au pas de temps journalier, détaillée au chapitre précédent est certes riche d'informations mais se doit d'être complétée par une analyse plus fine : au pas de temps de la séquence de précipitations. C'est la recherche d'informations plus précises concernant les périodes de pluie mais aussi les périodes sèches qui conduit à s'intéresser à la séquence de précipitations ou séquence pluvieuse. Dans le contexte de l'hydrologie urbaine, s'il est intéressant de connaître les éléments mis en évidence au chapitre précédent, il est encore plus nécessaire d'approcher la pluviométrie dans ses multiples réalisations, appelées ici "séquences de précipitations", puisque les caractéristiques de celles-ci déterminent sinon le dimensionnement des réseaux mais aussi leurs adaptations ou leur gestion.

En effet, si pendant de nombreuses décennies, la gestion des eaux pluviales s'inscrivait dans la conception technicienne des hygiénistes du siècle dernier qui visait à évacuer le plus vite possible et au mieux les eaux hors de la ville, celle-ci s'est récemment profondément modifiée. Ainsi, les gestionnaires de réseaux d'assainissement s'intéressent aujourd'hui aussi bien aux quantités d'eau à évacuer qu'à leur qualité, et cherchent non plus à évacuer au plus vite mais à traiter au mieux ces eaux pluviales, et mettent en place un certain nombre d'équipements qui visent à ralentir le flux et qui permettent de dépolluer au maximum les eaux pluviales. La Directive européenne de mai 1991 et sa transposition française dans la Loi sur l'eau de 1992 témoignent de ces profondes modifications dans la façon de gérer ces volumes d'eaux pluviales trop longtemps considérés comme dépourvus de polluants. Il est donc utile de connaître à la fois les volumes précipités et les laps de temps disponibles pour traiter le flux correspondant, informations tout à fait accessibles à l'échelle de la séquence pluvieuse.

Ce chapitre a pour objectif de définir tout d'abord la séquence de précipitations, puis d'étudier les caractéristiques statistiques de celles-ci, et enfin, d'élaborer une typologie. Cette typologie, établie sur des critères significatifs vis-à-vis des objectifs poursuivis par les gestionnaires de réseaux d'assainissement, devrait permettre de distinguer les épisodes pluvieux à risque. Pour compléter la typologie qui s'intéresse principalement aux séquences les plus fréquentes, les intensités maximales les plus élevées de la période sont étudiées et les courbes IDF sont établies pour cette même période.

Comme il est mentionné au Chapitre 1, les données utilisées ici sont le résultat de l'homogénéisation des données du pluviographe de Lesquin entre 1982 et 1991 puisque

aucune autre source n'est disponible pour étudier la pluviométrie au pas de temps de la séquence pluvieuse.

3.1. DEFINITION DES SEQUENCES DE PRECIPITATIONS ET ANALYSE STATISTIQUE.

Avant de définir ce qu'est la séquence de précipitations, il est utile de préciser pourquoi ce terme de "séquence de précipitations" est ici utilisé. L'explication se trouve dans la volonté d'employer une terminologie claire et sans ambiguïté.

La notion de séquence (du latin *sequens*, suivant), "suite ordonnée d'éléments" (Petit Larousse Illustré, 1996), comprend aussi intrinsèquement la notion "d'épisode", de "période" ou encore de "phase" et correspond donc bien à la réalité observée des précipitations (succession d'épisodes de précipitations et d'épisodes secs). Quant au terme "précipitations", il est préféré au terme "pluvieux" ou "pluie", dans la mesure où il correspond à l'arrivée au sol de toutes les formes d'hydrométéores (liquides ou solides), alors que le terme "pluie" ne recouvre que les hydrométéores parvenant au sol sous forme liquide, et il est donc trop restrictif.

Ce terme de "séquence de précipitations" remplace le terme "d'averse" utilisé fréquemment en hydrologie urbaine pour définir les épisodes de précipitations. Si ce terme "d'averse" doit être utilisé ici, il le sera dans son sens météorologique. Par ailleurs, ce terme de "séquence de précipitations" est repris ici faute d'un meilleur terme mais la notion qu'il recouvre dans ce chapitre n'a rien à voir avec les séquences pluvieuses abordées au Chapitre 2 qui correspondaient à la définition de DAUPHINE A. (1975). En effet, dans le Chapitre 2, les séquences pluvieuses étaient définies par la succession de n jours pluvieux, ce qui n'est pas le cas ici puisque la séquence pluvieuse est définie à un pas de temps inférieur à la journée. Dans ce qui suit, le terme de "séquence de précipitations" sera parfois remplacé par le terme de "séquence pluvieuse" ou "d'épisode pluvieux", puisque ces trois termes peuvent être considérés comme des synonymes (excepté la nuance précisée ci-dessus pour le mot "pluvieux"), et qu'ils correspondent à la même réalité.

3.1.1. DEFINITION DE LA SEQUENCE DE PRECIPITATIONS.

Pour définir la séquence de précipitations, plusieurs critères peuvent être employés :

- il est possible de définir une hauteur minimale, en deçà de laquelle la séquence pluvieuse est inexistante;

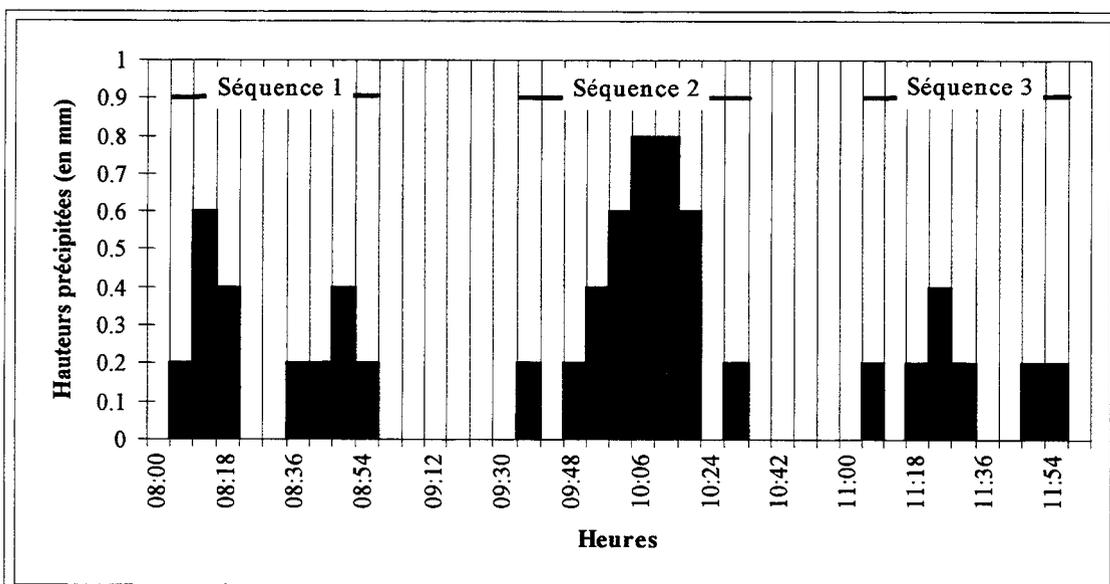
- ou encore, de déterminer une durée minimale en deçà de laquelle il n'existe pas de séquence pluvieuse.

- ou enfin, d'utiliser un critère dichotomique : précipitations - absence de précipitations.

Le choix s'est porté sur le dernier critère énoncé ci-dessus, dans la mesure où c'est celui qui reflète le mieux la réalité des précipitations (alternance de périodes pluvieuses et de périodes sèches toutes deux de durée variable), sans fixer *a priori* les caractéristiques minimales de la séquence : la hauteur précipitée et/ou la durée de l'épisode, ce qui n'est pas le cas des deux premiers critères.

Il est utile d'énoncer précisément comment ce critère dichotomique "précipitations-absence de précipitations" a été employé : il s'agit de définir un seuil de durée de temps sec minimal entre deux séquences. Une séquence de précipitations sera donc définie de la manière suivante : tant que la durée de temps sec est inférieure au seuil fixé, il n'y a pas d'interruption de la séquence de précipitations, et les hauteurs d'eau recueillies et les durées sont cumulées. Un exemple est fourni pour un seuil de durée de temps sec de 30 minutes (Figure n°5) : dès que la durée de temps sec est supérieure ou égale au seuil, une séquence de précipitations est définie. Le seuil de 30 minutes détermine dans cet exemple 3 séquences, s'il était de 60 minutes, ces 3 séquences n'en formeraient qu'une seule, puisque les durées de temps sec séparant les périodes de précipitations sont inférieures à 1 heure. Il faut noter que si le seuil était fixé à 18 minutes, les 3 séquences définies seraient les mêmes.

Figure n°5 : Définition des séquences pluvieuses selon un seuil de durée de temps sec de 18 minutes.



Dans cet exemple, le passage d'un seuil de 30 minutes à un seuil de 60 minutes entraîne une réduction du nombre des séquences, celles-ci ayant les caractères suivants (Tableau n°33).

Tableau n°33 : Caractères des séquences pluvieuses selon les seuils de durée de temps sec.

	Seuil de durée de temps sec de 30 mn					Seuil de durée de temps sec de 60 mn			
	Hauteur	Durée	Int moy	Int max		Hauteur	Durée	Int moy	Int max
S1	2.2 mm	54 mn	2.44 mm/h	6 mm/h					
S2	3.8 mm	60 mn	3.8 mm/h	8 mm/h	S'1	7.4 mm	234 mn	1.9 mm/h	8 mm/h
S3	1.4 mm	54 mn	1.56 mm/h	4 mm/h					

La durée de la séquence S'1 est égale au cumul des durées des séquences S1, S2 et S3 auquel s'ajoute les durées de temps sec intermédiaires ($168 + 36 + 30 = 234$ minutes). La hauteur de la séquence S'1 est égale à la somme des hauteurs des 3 séquences. L'intensité maximale de la séquence S'1 est en fait la valeur la plus élevée des 3 intensités maximales (8 mm/h). L'intensité moyenne de la séquence S'1 est quant à elle inférieure à la moyenne des intensités moyennes des 3 séquences (respectivement 1.9 et 2.6 mm/h), puisque dans le rapport hauteur-durée, seule la durée est augmentée (ajout des durées de temps sec intermédiaires).

Cet exemple permet donc d'aborder les principales incidences d'une augmentation du seuil de la durée de temps sec entre deux séquences pluvieuses : d'une part, réduction du nombre de séquences, d'autre part, augmentation de la hauteur, de la durée et de l'intensité maximale des séquences et diminution de l'intensité moyenne.

Plusieurs seuils de durée de temps sec ont été utilisés : de 18 minutes à 6 heures, en passant par 30 minutes, 1 heure, 2 heures, 3 heures, et 4 heures. Ce sont des seuils choisis pour être facilement interprétables, ou comparables aux temps de concentration des divers bassins versants d'assainissement que compte toute agglomération urbaine.

Ces 7 seuils définissent donc 7 populations de séquences pluvieuses dont l'effectif diminue avec l'augmentation du seuil, puisque entre le seuil de 18 minutes et celui de 6 heures, l'effectif est divisé par 3 (Tableau n°34).

Tableau n°34 : Effectif des différentes populations de séquences pluvieuses S_{DTS} .

	S18	S30	S60	S120	S180	S240	S360
Effectif	5987	4630	3320	2603	2228	1977	1962

Afin d'alléger le texte de formulations longues telles que "populations de séquences définies par un seuil de durée de temps sec de x minutes", ces populations seront nommées " S_{DTS} " lorsque la durée du seuil n'est pas précisée ou " S_x " lorsque la durée du seuil est précisée (x étant la durée du seuil).

La décroissance des effectifs est évidente mais celle-ci s'affaiblit lorsque le seuil augmente puisqu'elle se fait selon les trois taux moyens suivants : -25 % entre les seuils 18 et 60 minutes, -18 % entre les seuils 60 et 180 minutes et -13 % entre les seuils 180 et 360 minutes.

Cette décroissance n'est que la conséquence la plus flagrante de l'augmentation du seuil de durée de temps sec, il en existe d'autres mises en exergue grâce à une analyse statistique des différentes populations aux paragraphes suivants.

3.1.2. ANALYSE STATISTIQUE DES POPULATIONS DE SEQUENCES PLUVIEUSES.

Chaque population (S_{DTS}) a fait l'objet d'une analyse statistique sur l'ensemble de son effectif pour 4 caractères : la hauteur, la durée, l'intensité moyenne et l'intensité maximale sur un pas de temps fixe de 6 minutes. La durée de temps sec précédent chaque séquence est un caractère qui n'a pas fait l'objet d'une analyse statistique, dans la mesure où il intervient dans la détermination des séquences, et qu'il est artificiellement borné à gauche.

L'analyse statistique de ces 4 caractères permet d'obtenir des valeurs synthétiques présentées dans le Tableau n°35. Ce tableau permet de cerner le comportement des différents caractères étudiés lorsque le seuil de durée de temps sec augmente.

Pour la hauteur, la durée et l'intensité maximale, la moyenne augmente avec le seuil. *A contrario*, pour l'intensité moyenne, lorsque le seuil augmente la moyenne diminue; cette diminution liée au regroupement des séquences pluvieuses a déjà été expliquée au paragraphe 3.1.1.

Autrement dit, les séquences pluvieuses ont une hauteur, une durée et une intensité maximale de plus en plus importante, alors que leur intensité moyenne est de plus en plus faible.

Le mode connaît deux types de comportement lorsque le seuil augmente : il reste stable pour la hauteur, la durée et l'intensité maximale, et il augmente faiblement pour l'intensité moyenne. Il faut noter que les valeurs prises par le mode sont assez faibles quel que soit le caractère étudié et le seuil pris en compte.



Tableau n°35 : Caractéristiques statistiques des caractères hauteur, durée, intensité moyenne et intensité maximale sur 6 minutes, pour les 7 populations S_{DTS} .

HAUTEUR (mm)	S₁₈	S₃₀	S₆₀	S₁₂₀	S₁₈₀	S₂₄₀	S₃₆₀
Mode	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Médiane	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1	1.4
Moyenne	1	1.2	1.7	2.2	2.5	2.8	3.3
Etendue (min - max)	0.1-37.6	0.1-37.8	0.1-37.8	0.1-37.8	0.1-37.8	0.1-37.8	0.1-48.5
Coefficient de variation	2.1	1.9	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4
Coefficient d'aplatissement	63	43	29	24	18	15	15
Coefficient d'asymétrie	6.2	5.2	4.3	3.9	3.5	3.2	3.2
DUREE (mn)	S₁₈	S₃₀	S₆₀	S₁₂₀	S₁₈₀	S₂₄₀	S₃₆₀
Mode	6	6	6	6	6	6	6
Médiane	6	18	36	66	90	114	168
Moyenne	33	48	83	127	177	225	326
Etendue (min - max)	6-750	6-978	6-1200	6-1464	6-1668	6-1992	6-3282
Coefficient de variation	1.8	1.7	1.4	1.3	1.2	1.2	1.3
Coefficient d'aplatissement	27	20	15	9	7	7	7
Coefficient d'asymétrie	4.4	3.8	3.2	2.5	2.2	2.2	2.3
INTENSITE MOYENNE (mm/H)	S₁₈	S₃₀	S₆₀	S₁₂₀	S₁₈₀	S₂₄₀	S₃₆₀
Mode	1	1	2	2	2	2	2
Médiane	1.3	1.29	1.24	1	0.9	0.77	0.67
Moyenne	1.75	1.73	1.66	1.44	1.26	1.17	1.05
Etendue (min - max)	0.37-63	0.23-37.8	0.13-37.8	0.09-37.8	0.01-37.8	0.01-37.8	0.01-24
Coefficient de variation	1	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.3
Coefficient d'aplatissement	318	103	98	114	147	164	79
Coefficient d'asymétrie	12	7	7	8	9	10	7
INTENSITE MAXIMALE (mm/H)	S₁₈	S₃₀	S₆₀	S₁₂₀	S₁₈₀	S₂₄₀	S₃₆₀
Mode	1	2	2	2	2	2	2
Médiane	2	2	2	2	2	2	2
Moyenne	2.8	3.1	3.6	4	4.3	4.4	4.8
Etendue (min - max)	1-218	1-218	1-218	1-218	1-218	1-218	1-218
Coefficient de variation	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
Coefficient d'aplatissement	818	681	528	462	411	379	335
Coefficient d'asymétrie	20	19	17	16	15	14	14

Les coefficients d'aplatissement et d'asymétrie sont les coefficients de Fisher.

Quel que soit le caractère et le seuil, la médiane est toujours inférieure à la moyenne, ce qui signale une forte représentativité des valeurs faibles, et une obliquité vers la gauche.

Cette obliquité vers la gauche est confirmée par un coefficient de Fisher toujours supérieur à zéro, quel que soit le caractère et le seuil. Cette obliquité vers la gauche tend à s'atténuer lorsque le seuil augmente puisque le coefficient γ_1 tend vers zéro, pour la hauteur, la durée et l'intensité maximale. L'asymétrie tend donc à se réduire avec l'augmentation du seuil pour ces 3 caractères. Pour l'intensité moyenne, le coefficient γ_1 diminue jusqu'au seuil de 60 minutes, puis augmente jusqu'au seuil de 240 minutes pour diminuer ensuite.

Les coefficients d'aplatissement de Fisher sont positifs pour chaque caractère et pour l'ensemble des populations : les distributions sont donc toutes leptocurtiques. L'augmentation du seuil de durée de temps sec se traduit par une atténuation de cette forme leptocurtique des distributions pour l'ensemble des caractères excepté l'intensité moyenne où l'atténuation s'observe jusqu'au seuil de 60 minutes, puis la forme leptocurtique semble s'accroître jusqu'au seuil de 240 minutes pour de nouveau s'atténuer. Il faut noter que le coefficient d'asymétrie connaît les mêmes variations que le coefficient d'aplatissement.

L'étendue des intensités maximales reste stable avec l'augmentation du seuil; ce n'est pas le cas pour l'étendue des durées dont la borne supérieure est de plus en plus grande (et cela n'a rien de surprenant puisque l'accroissement du seuil se traduit forcément par une croissance des durées). Entre ces deux extrêmes, l'étendue des hauteurs et celle des intensités moyennes varient peu avec le seuil.

La variabilité relative décroît de manière sensible pour les hauteurs et les durées, alors qu'elle est assez stable pour les intensités maximales et suit une toute autre trajectoire pour l'intensité moyenne puisqu'elle augmente avec le seuil.

La lecture du Tableau n°35 permet donc de cerner d'une part des faits valables pour la hauteur, la durée et l'intensité maximale, en effet, plus le seuil augmente :

- et plus la moyenne et la médiane augmentent;
- et plus l'asymétrie et l'aplatissement sont faibles, ce qui signifie que la concentration diminue;
- et plus la variabilité relative diminue.

Par contre, pour l'intensité moyenne, il est difficile de cerner l'impact de l'augmentation du seuil, mais celui-ci entraîne globalement une diminution indéniable des valeurs, cependant les acquis sont minces puisque cette décroissance était largement prévue.

En résumé, la concentration dans les faibles valeurs (coefficient d'aplatissement positifs et obliquité à gauche) semble s'atténuer avec l'augmentation du seuil, mais il n'y a pas de grandes modifications dans la forme des distributions quel que soit le caractère étudié.

Il serait fastidieux de réaliser une étude exhaustive de ces 7 populations et celle-ci apporterait peu d'éléments d'information compte tenu des conclusions, relatives à l'analyse des paramètres statistiques, exprimées ci-dessus.

Par contre, l'étude plus approfondie d'une de ces populations apparaît déjà comme une expérience plus enrichissante, dans la mesure où elle cherchera à synthétiser l'information sans pour autant la dénaturer.

C'est pourquoi une typologie des séquences de précipitations d'une de ces populations (et il reste à la choisir) semble être une bonne réponse à la volonté de connaître celles-ci de manière synthétique.

La constitution d'une telle typologie demande quelques étapes préalables : d'une part, présenter l'intérêt d'une typologie et en préciser le but, et d'autre part effectuer un choix parmi les 7 populations possibles, la contrainte étant d'approcher au mieux la réalité physique des précipitations. Dès que ces étapes préliminaires seront réalisées, il sera envisageable d'en venir à la classification des séquences de la population choisie.

3.2. PROPOSITION D'UNE TYPOLOGIE.

3.2.1. POURQUOI UNE TYPOLOGIE ?

La mise en place d'une typologie des séquences pluvieuses est le résultat d'une volonté de synthétiser l'information mais surtout d'élaborer un outil d'aide à la gestion d'un réseau d'assainissement. Le classement des séquences permet ainsi de distinguer les types de séquences selon leur fréquence d'apparition, mais aussi selon leurs impacts différenciés sur les réseaux d'assainissement et sur le fonctionnement des stations d'épuration, voire sur le milieu naturel.

Les séquences pluvieuses observées à une station prennent des formes multiples et ne sont jamais totalement identiques l'une par rapport à l'autre, même si elles se ressemblent. Par conséquent, chaque séquence peut être considérée comme une réalisation unique ou une association unique de caractères (hauteur, durée, intensité maximale...). Cette multitude de réalisations uniques serait fastidieuse voire impossible à décrire. Aussi, il est beaucoup plus adéquat de regrouper les séquences, qui se ressemblent et qui aboutissent à des ruissellements assimilables, pour décrire l'ensemble des séquences observées. C'est le fondement même du concept de la typologie : regrouper les éléments qui se ressemblent afin de définir des types, le but étant de synthétiser l'information tout en conservant un minimum de précision.

Le fait de classer les séquences selon plusieurs critères détermine un certain nombre de types et permet de connaître quels sont les types (soit les associations de critères) qui ne comportent aucune réalisation c'est-à-dire qui n'apparaissent jamais dans la période étudiée. Une fois le classement réalisé, chaque type comptabilise un certain nombre de séquences et il est alors possible de déterminer les types les plus fréquents ou au contraire les types les plus rares.

L'avantage d'une typologie est de ne négliger aucune séquence, puisque c'est l'ensemble des séquences qui est réparti dans les différents types, et ainsi aucun choix n'est opéré *a priori* parmi ces séquences. Cette démarche est à l'opposé des démarches visant à n'étudier que les séquences maximales ou supérieures à un seuil.

Le but de cette typologie est de déterminer des "profils" de séquences de précipitations dont la gestion en termes d'assainissement peut éventuellement être différente, c'est-à-dire distinguer les séquences qui peuvent occasionner des problèmes de gestion sur les réseaux, aussi bien quantitatifs (débordement, montée en charge, surplus à la station d'épuration) que qualitatifs (teneur en polluants divers, M.E.S., hydrocarbures, plomb, zinc...qui perturbent le fonctionnement de la station, ou entraînent des chocs de pollution dans le milieu naturel) de celles qui n'en causent pas ou peu. Cette distinction des séquences selon leurs conséquences sera abordée lors de la répartition des séquences dans les différents types. La gestion optimale d'un réseau d'assainissement nécessite de connaître à la fois les volumes, correspondants aux hauteurs précipitées, et, les pointes de débit à prendre en compte, corrélées aux pointes d'intensité de la pluie, ces dernières déterminant aussi la capacité de la pluie à se charger en polluants.

C'est pourquoi, parmi les différents caractères à disposition pour décrire les séquences, le choix s'est porté sur la hauteur totale de la séquence et l'intensité maximale sur 6 minutes enregistrée au cours de cette même séquence. Ces deux paramètres permettent d'associer le volume total d'eau à évacuer et les éventuelles pointes de débit à prendre en compte.

Avant d'en venir à la typologie même, il est nécessaire de déterminer, parmi les différentes populations décrites ci-dessus, celle qui sera choisie, et d'étudier plus précisément cette dernière afin d'élaborer des classes adaptées à la population choisie.

3.2.2. QUELLE POPULATION EXPLOITER POUR LA TYPOLOGIE ?

Pour élaborer la typologie des séquences de précipitations, il faut parvenir à s'approcher le plus possible de la réalité physique de celles-ci.

Parmi les données archivées concernant les précipitations, les tableaux synoptiques des précipitations, présentés dans les Tableaux Climatologiques Mensuels, constituent une source intéressante puisqu'il s'agit d'un report des durées de précipitations observées à la station auxquelles sont associés les types de précipitations (pluie, neige, grêle, grésil), une indication de l'intensité (faible, modérée ou forte) et le caractère continu ou intermittent des précipitations. C'est d'ailleurs, le seul type de donnée qui permet une approche des précipitations dans leur déroulement, puisque celui-ci est assez détaillé, ce qui autorise un rapprochement avec la définition de la séquence pluvieuse utilisée ici.

Afin de pouvoir établir les caractéristiques statistiques des durées de précipitations observées (Tableau n°36), celles-ci ont été saisies sans distinguer le caractère continu ou intermittent, ni le type ou l'intensité des précipitations.

Tableau n°36 : Caractéristiques principales des durées de précipitations observées à Lesquin, 1982-1991.

Effectif des séquences observées	6195
Durée minimum	1 mn
Durée maximum	2225 mn
Durée moyenne	78.2 mn
Durée médiane	30 mn
Durée modale	10 mn
Ecart-type	135.3 mn
Coefficient d'aplatissement	40.3
Coefficient d'asymétrie	4.9

La population des séquences de précipitations observées présente pour le caractère "durée" le même type de distribution que les 7 populations définies par un seuil croissant de durée de temps sec présentées ci-dessus :

- le mode est inférieur à la médiane, elle-même inférieure à la moyenne, la distribution présente donc une obliquité à gauche, confirmé par un coefficient d'asymétrie de Fisher positif;

- le coefficient d'aplatissement de Fisher positif confirme une concentration, et celle-ci est située dans les courtes durées;

- la variabilité est assez forte, le coefficient de variation étant égal à 1.7 et l'écart-type à environ 2H.

Cette ressemblance entre la distribution des durées de la population des séquences observées et celles des populations S_{DTS} est de bon augure, puisqu'elle montre que la définition des séquences de précipitations par un seuil de temps sec permet d'approcher la réalité en terme de durée des séquences et justifie l'utilisation de ces populations dans l'analyse des durées des séquences de précipitations.

Pour le moment, si l'utilisation, pour l'analyse des durées, des populations S_{DTS} trouve sa justification dans une similitude des distributions de ce caractère "durée", il faut encore tenter de cerner quel est le seuil qui définit la population S_{DTS} dont la distribution des durées est la plus proche de celle des séquences observées.

Pour cela, il faut non seulement comparer les paramètres statistiques synthétiques, mais aussi les distributions elles-mêmes.

En termes de durée de précipitations, et au regard des paramètres statistiques synthétiques, plusieurs populations S_{DTS} semblent proches de la population des séquences observées; il s'agit de :

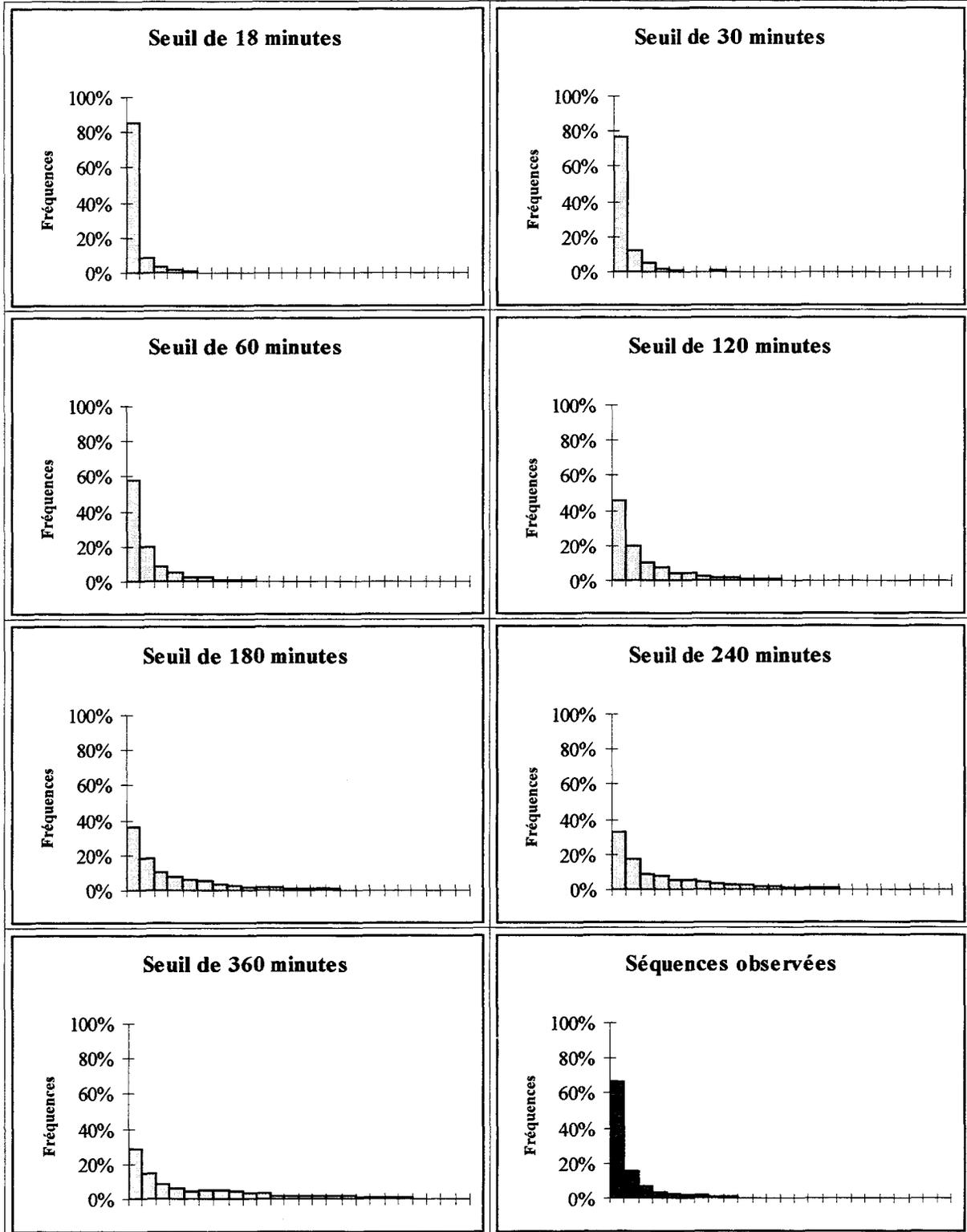
- la population S_{18} présentant les coefficients d'aplatissement et d'asymétrie les plus proches;
- la population S_{30} ayant le coefficient de variation le plus proche;
- la population S_{60} présentant une moyenne, une médiane et un écart-type similaires.

Il apparaît assez évident que c'est parmi ces trois populations S_{DTS} que se trouve la population dont la distribution des durées est la plus analogue à celle de la population des séquences de précipitations observées.

Les distributions des durées ont été établies à l'aide de classes d'égale amplitude (1 H) pour des durées s'échelonnant entre 0 et 24 heures; la fréquence relative des séquences dont la durée dépasse 24 heures étant très infime pour l'ensemble des populations (de 0 à 3 %); ces distributions sont présentées au Graphique n°29.

Parmi les distributions des durées présentées au Graphique n°29, la plus similaire à celle des séquences de précipitations observées semble être celle de S_{60} . Il reste à confirmer ce jugement visuel par une comparaison des fréquences relatives.

Graphique n°29 : Distribution des durées des séquences pluvieuses (de 0 à 24 heures) pour les populations S_{DTS} et celle des séquences de précipitations observées à Lesquin, 1982-1991.



La somme des écarts entre les fréquences relatives de chaque classe des populations S_{DTS} et celles de la population des séquences observées est minimale pour la population S_{60} . (Tableau n°37).

Tableau n°37 : Somme des écarts absolus entre les fréquences relatives des populations S_{DTS} et celles de la population des séquences observées.

Population S_{DTS}	S18	S30	S60	S120	S180	S240	S360
Somme des écarts absolus	37.8	23.5	17.4	41.7	58.9	66.6	77.1

La distribution des durées la plus proche de celle de la population des séquences de précipitations observées est donc bien celle de la population de séquences définies à l'aide d'un seuil de durée de temps sec de 60 minutes. Cette population semble donc bien approcher la réalité des séquences pluvieuses, du moins en termes de durée de précipitations, et a donc été retenue pour mettre en place la typologie des séquences de précipitations.

Par ailleurs, ce seuil de 60 minutes peut être assimilé à un temps de concentration, c'est-à-dire au temps qu'il faut aux volumes précipités pour atteindre l'exutoire du réseau d'assainissement soit la station d'épuration. L'intérêt d'utiliser ce seuil, correspondant à un temps de concentration maximaliste, est d'avoir la quasi-certitude que lorsque commence une nouvelle séquence la précédente a été totalement évacuée par le réseau, et c'est donc finalement cette caractéristique de la population S_{60} qui a entériné le choix.

3.2.3. PRESENTATION DETAILLEE DE LA POPULATION UTILISEE POUR LA TYPOLOGIE.

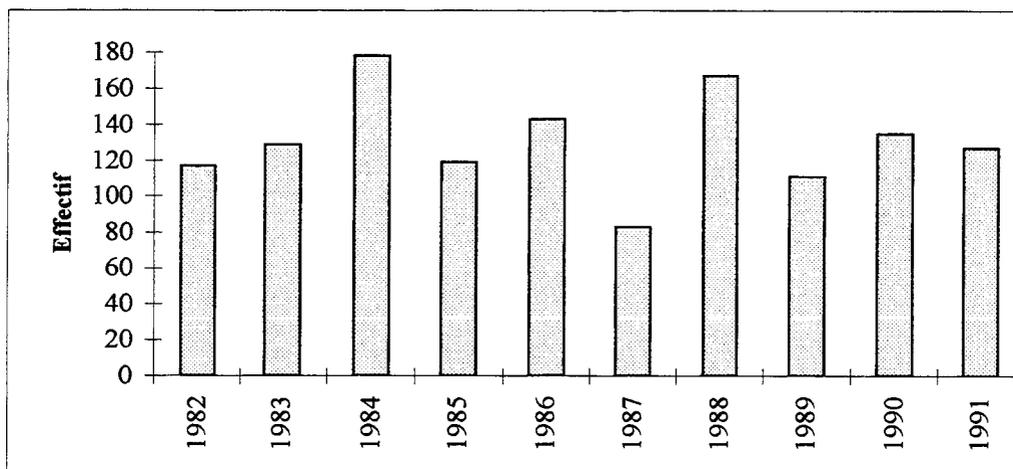
Avant d'élaborer la typologie, c'est-à-dire de répartir l'ensemble des séquences pluvieuses selon une grille de classification, il est utile de présenter le plus finement possible la population prise en compte.

La principale modification qu'a subi cette population est celle de la réduction de son effectif puisque ont été enlevées les séquences dont la hauteur cumulée est inférieure à 1 millimètre. Ces séquences ont été retirées de la population pour éviter de prendre en compte les "précipitations occultes" (brouillards, rosée) dans l'analyse des volumes, des durées et des intensités de précipitations, puisque celles-ci n'en sont pas de réelles. Ainsi, l'effectif de la population S_{60} passe de 3320 à 1309 séquences (cette dernière étant notée S'_{60}).

La répartition annuelle des séquences pluvieuses (Graphique n°30) sera simplement évoquée dans la mesure où elle est biaisée : en effet, les séquences ayant eu lieu les jours

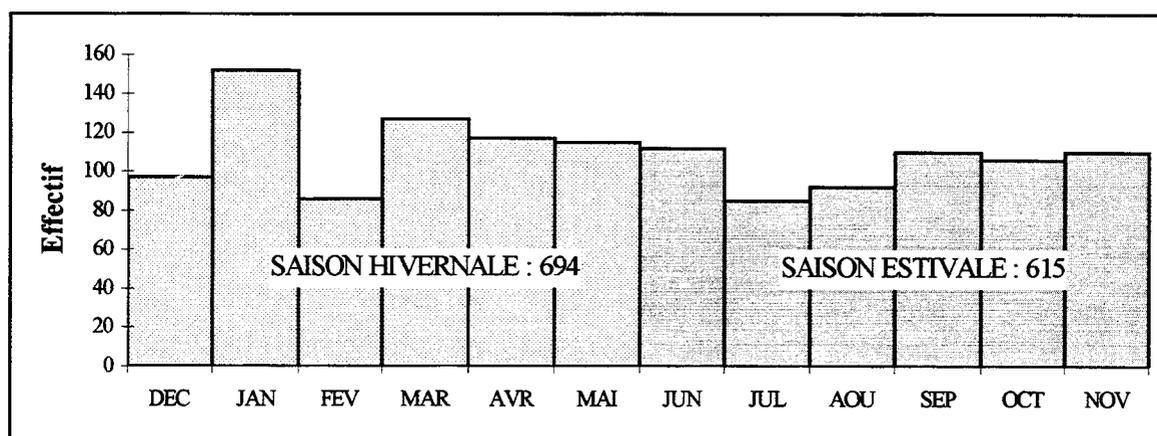
affectés par des manques ont été supprimées, et ainsi, certaines années, comme 1987, ont un effectif amoindri non pas que les séquences pluvieuses soient forcément moins nombreuses mais parce qu'elles ont connu des problèmes de mesure ou d'archivage (Cf. Chapitre 1).

Graphique n°30 : Répartition interannuelle des séquences de précipitations de la population S'60.



La répartition mensuelle des séquences de précipitations de la population S'60 (Graphique n°31) est assez homogène tout au long de l'année (de l'ordre de 100 séquences par mois) excepté le maximum du mois de janvier (152 séquences) et les minima relatifs de juillet (85 séquences) et février (86 séquences). En d'autres termes, aucun mois, excepté janvier, n'est réellement touché par une "surabondance" du nombre des séquences, mais cet équilibre est en partie imputable aux modifications qu'a subi la population (retrait des séquences affectées par des manques, et celles dont la hauteur cumulée est inférieure à 1 mm).

Graphique n°31 : Répartition mensuelle et saisonnière des séquences de précipitations de la population S'60.



Quant à la répartition saisonnière (Graphique n°31), une légère prépondérance s'affiche pour la saison hivernale (53 % des séquences); ce qui confirme les remarques concernant la fréquence d'apparition des précipitations à l'échelle saisonnière mentionnées au Chapitre 2.

Le biais engendré par les erreurs de mesure ou d'archivage ne permet donc pas d'analyser plus avant la répartition interannuelle des séquences de précipitations, tout comme il perturbe l'analyse des répartitions mensuelle et saisonnière.

C'est pourquoi, celles-ci sont présentées à titre indicatif sans pour autant qu'elles prennent une valeur démonstrative.

La population choisie pour la typologie, S'60, a fait l'objet d'une analyse statistique conçue comme un préalable à la mise en place d'une grille de classification.

Cette analyse statistique se décompose en deux volets complémentaires : l'un permet de connaître les paramètres statistiques de 4 caractères (hauteur, durée, intensité moyenne et intensité maximale sur 6 minutes), l'autre concerne les distributions classées des séquences de précipitations selon ces 4 caractères.

Tableau n°38 : Paramètres statistiques pour 4 caractères des séquences pluvieuses de la population S'60.

	Hauteur (en mm)	Durée (en heures)	Intensité moyenne (en mm.H⁻¹)	Intensité maximale (en mm.H⁻¹)
Minimum	1	0.1	0.13	1
Maximum	37.8	20	37.8	218
Mode	1	0.7	0.7	4
Médiane	2.6	2	1.4	4
Moyenne	3.8	2.8	2.1	6.5
Ecart-type	3.8	2.5	2.6	8.6
Coeff. de variation	0.99	0.92	1.22	1.33
Coeff. d'aplatissement	17	8	54	280
Coeff. d'asymétrie	3	2	6	13

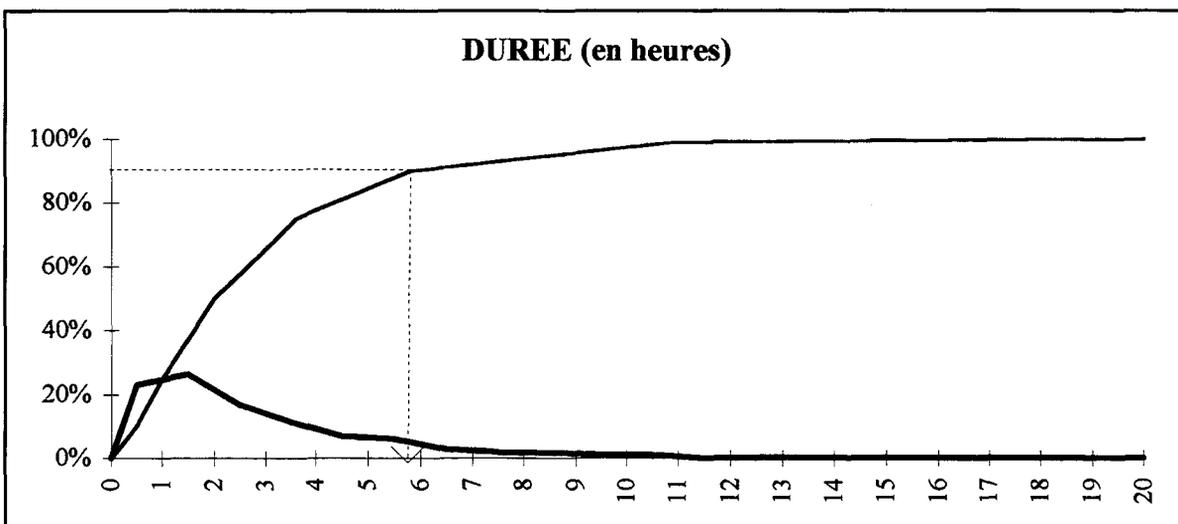
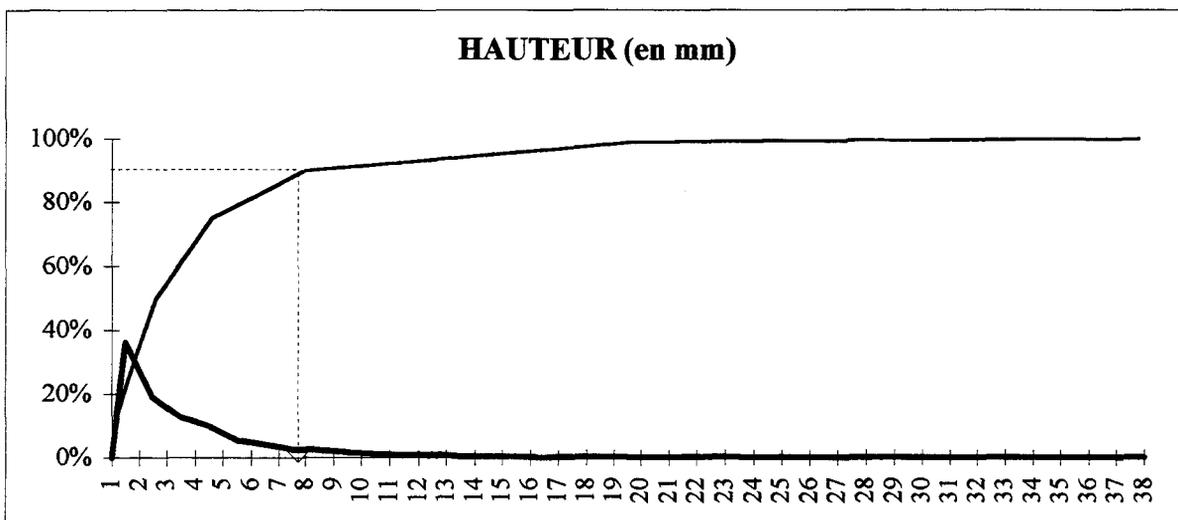
Pour chaque caractère, la moyenne est supérieure à la médiane, elle-même supérieure au mode, les distributions présentent donc toutes une obliquité à gauche, soit une forte représentativité des faibles valeurs.

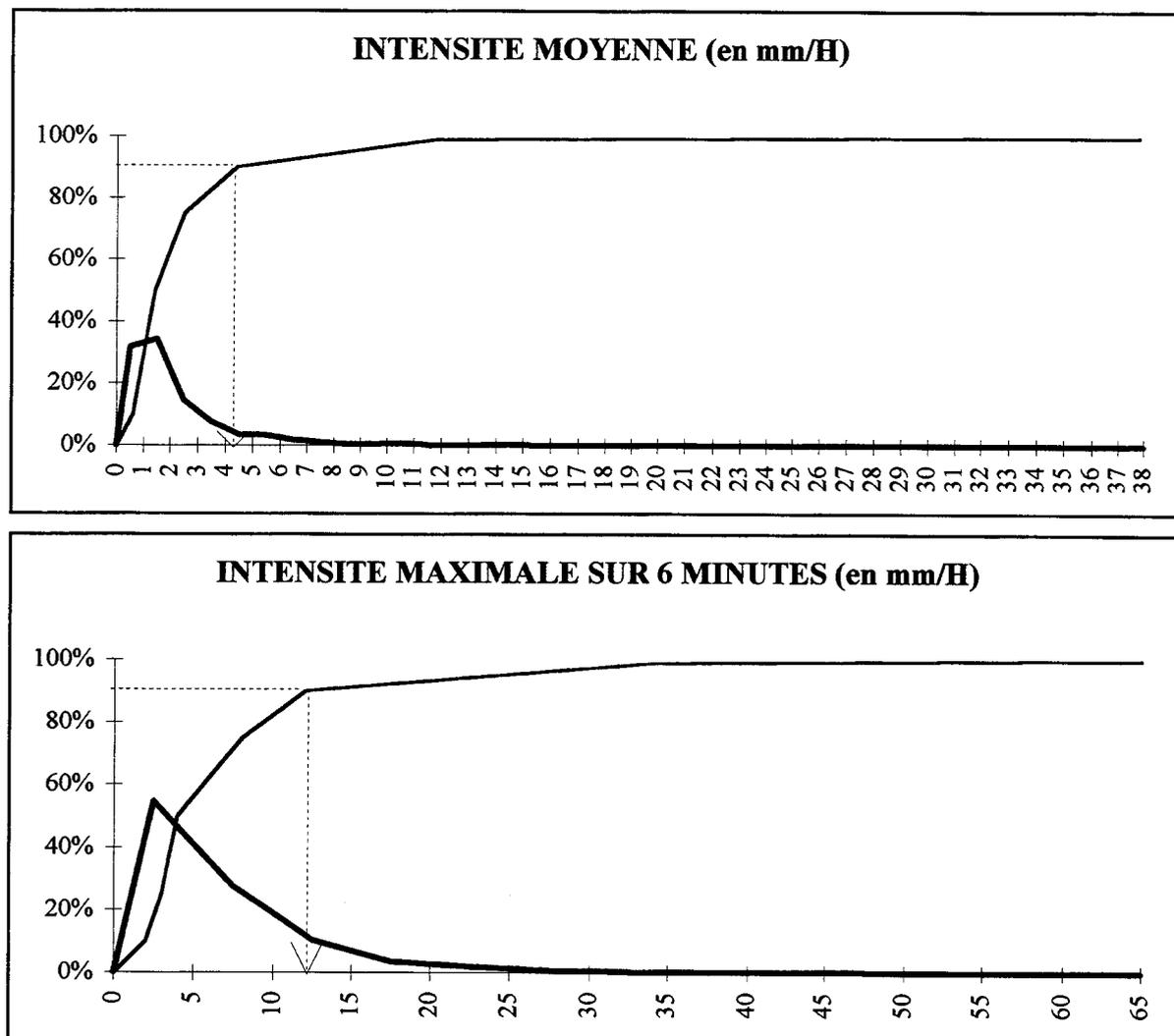
La concentration dans les faibles valeurs est très prononcée pour l'intensité maximale (coefficient d'aplatissement et coefficient d'asymétrie les plus élevés), viennent ensuite l'intensité moyenne, la hauteur et enfin la durée. En outre, les caractères se classent dans le même ordre en matière de variabilité relative.

Le Graphique n°32 confirme ces constatations et permet de visualiser pour chaque caractère la concentration dans les faibles valeurs dont il était question ci-dessus. Sur chacune des courbes de fréquences cumulées ascendantes, le neuvième décile (90 %) a été repéré afin de donner une valeur repère sous laquelle se situent 90 % des séquences, elle est de :

- 7.9 mm pour la hauteur;
- 5.8 H pour la durée;
- 4.4 mm.H⁻¹ pour l'intensité moyenne;
- 12 mm.H⁻¹ pour l'intensité maximale.

Graphique n°32 : Polygone des fréquences et courbe des fréquences cumulées ascendantes pour 4 caractères de la population des séquences de précipitations S'60.





La population qui fera l'objet de la typologie présente donc les caractéristiques suivantes :

- une répartition saisonnière et mensuelle équilibrée; ceci pouvant être considéré comme un inconvénient puisque la réalité est quelque peu masquée ou comme un avantage puisque aucune saison n'est réellement privilégiée.

- une concentration dans les faibles valeurs commune à tous les caractères.

Cependant cette concentration est plus forte pour l'intensité maximale, et elle montre là un attribut important des séquences pluvieuses observées à Lesquin : celles-ci connaissent rarement de grandes pointes d'intensités.

Les durées sont globalement comprises entre quelques minutes et 6 heures, les hauteurs entre 1 et 10 mm, et les intensités moyennes entre 0.1 et 5 mm.H⁻¹.

Ce sont ces dernières informations qui vont guider par la suite le découpage en classes pour les hauteurs et les intensités maximales qui sont les deux caractères retenus pour élaborer la typologie.

Les paragraphes qui suivent mettent en place, d'une part, la grille de classification, qui sera basée sur les constatations faites ci-dessus, à savoir la forte représentativité des faibles valeurs, et d'autre part, la typologie elle-même.

3.2.4. LA GRILLE DE CLASSIFICATION.

La classification réalisée ici est conçue comme un outil d'aide à la gestion des réseaux d'assainissement.

Pour gérer un réseau il est utile de connaître à la fois les volumes à évacuer, soit les hauteurs d'eau précipitées, et les pointes de débit à prendre en compte qui correspondent aux pointes d'intensité de la pluie.

En effet, une longue séquence de précipitations d'intensité faible n'aura pas le même impact sur le réseau qu'une courte séquence comportant une pointe d'intensité.

Aussi, la classification des séquences pluvieuses s'opère sur deux critères : la hauteur cumulée sur la séquence pluvieuse et l'intensité maximale sur 6 minutes relevée au cours de la séquence (pas de temps fixe).

Pour chacun de ces critères, une répartition en classes est nécessaire afin de regrouper les séquences ayant le même profil.

Pour les deux critères, le choix s'est porté sur des classes dont l'amplitude est petite dans les faibles valeurs et s'agrandit vers les fortes valeurs, pour obtenir un découpage beaucoup plus précis dans les faibles valeurs que dans les fortes, les premières étant plus fréquentes que les deuxièmes :

- pour la hauteur : [1 - 2.5[, [2.5 - 5[, [5 - 10[, [10 - 15[, et ≥ 15 mm;

- pour l'intensité maximale : < 10 ; [10 - 20[; [20 - 40[et ≥ 40 mm.H⁻¹; ce découpage est réalisé selon un multiple du seuil d'intensité maximale sur 6 minutes fixé par la Météorologie Nationale à 40 mm.H⁻¹.

La répartition des séquences pluvieuses selon cette grille de classification détermine 18 types différents (Tableau n°39).

Tableau n°39 : Effectif des 18 types déterminés par la répartition des séquences pluvieuses dans la grille de classification à deux critères.

	[1 - 2.5[	[2.5 - 5[	[5 - 10[	[10 - 15[	≥ 15 mm
< 10 mm.H-1	588 type A1	297 type A2	152 type A3	27 type A4	13 type A5
[10 - 20 [	45 type B1	78 type B2	39 type B3	12 type B4	6 type B5
[20 -40 [	1 type C1	9 type C2	19 type C3	9 type C4	4 type C5
≥ 40 mm.H-1			2 type D3	3 type D4	5 type D5

La dénomination des types se fait avec une lettre et un chiffre (A, B, C et D pour les classes d'intensité maximale, et 1, 2, 3, 4 et 5 pour les classes de hauteur). Ainsi par la suite lorsqu'un type sera nommé il sera immédiatement localisé dans la grille (sans même l'avoir sous les yeux).

Notons qu'il n'existe pas de séquences ayant connu à la fois une intensité maximale sur 6 minutes supérieure à 40 mm.H-1 et une hauteur cumulée inférieure à 5 mm. Ce fait s'explique facilement puisqu'il faut au moins 4 mm sur 6 minutes pour atteindre cette valeur de 40 mm.H-1 .

Il est bien évident que les 18 types définis n'ont pas les mêmes conséquences sur le réseau d'assainissement et/ou la station d'épuration ou encore le milieu naturel. Les deux critères retenus permettent de classer les flux d'eaux pluviales selon les problèmes qu'ils peuvent occasionner. En effet, la hauteur de pluie détermine à la fois, les volumes à évacuer et à traiter à la station d'épuration, et la teneur en polluants de ces volumes d'eaux pluviales, (celle-ci étant d'autant plus faible qu'elle est diluée dans de grands volumes d'eau). L'intensité maximale influence la pointe de débit dans les réseaux et leur éventuel débordement, et détermine la capacité de la pluie à entraîner les polluants, puisque plus la pluie est intense plus sa capacité à prendre en charge les polluants est forte. En associant ces deux paramètres, il est donc possible de classer les différents types de séquences et donc de flux selon leur impact sur les réseaux et le fonctionnement de la station d'épuration.

Ainsi, les flux liés aux séquences associant de faibles hauteurs (moins de 10 mm) et de faibles intensités (moins de 10 ou 20 mm.H⁻¹) n'occasionnent pas de débordements, et sont peu chargés en polluants, ils apporteront donc un volume supplémentaire négligeable à la station d'épuration et n'en modifieront donc pas le fonctionnement d'autant plus qu'ils sont faiblement pollués.

A l'opposé, les flux provenant de séquences associant des hauteurs conséquentes (plus de 10 mm, ou surtout plus de 15 mm) et de fortes intensités (supérieures à 20 ou 40 mm.H⁻¹), créeront des problèmes, tout d'abord au niveau des réseaux puisqu'ils impliquent à la fois de grands volumes d'eau à évacuer sur des laps de temps courts, soit une forte montée en charge des réseaux pouvant occasionner des débordements, puis au niveau de la station d'épuration en apportant des volumes d'eau importants fortement chargés en polluants, ce qui induit des dérèglements dans le fonctionnement de la station, celui-ci étant adapté aux volumes d'eaux usées qui lui parviennent par temps sec et optimal pour ces volumes de temps sec, ou encore ils induisent des "chocs de pollution" dans le milieu naturel par l'apport d'eaux pluviales non traitées et donc fortement chargée en polluants.

Entre ces deux extrêmes, se situent :

- d'une part, des séquences dont la hauteur dépasse les 10 mm avec des pointes d'intensité inférieures à 20 mm.H⁻¹, induisant l'arrivée de flux importants à la station d'épuration mais qui n'entraîneront que très rarement des débordements sur les réseaux, ils seront donc gênant uniquement en regard du bon fonctionnement de la station, et occasionneront parfois un rejet au milieu naturel;

- et d'autre part, des séquences dont la hauteur est faible (moins de 10 mm) mais qui connaissent des pointes d'intensités relativement fortes (20 à 40 mm.H⁻¹), qui pourront donc être à l'origine de flux assez pollués, dans lesquels l'effet de dilution interviendra peu, et occasionneront éventuellement des débordements de faible ampleur.

Après avoir évoqué l'impact que peuvent avoir les différents types définis, les paragraphes qui suivent cherchent à présenter au mieux ces 18 types en montrant les caractéristiques spécifiques à chaque type comme le poids dans la hauteur totale des séquences ou dans la durée totale des séquences, les distributions des durées de pluie et des durées de temps sec, leur répartition saisonnière, les types de temps¹ auxquels ils sont associés....

¹Classification BENICHOU P.

L'accent sera surtout mis sur les types des "pluies courantes", dans la mesure où les "pluies exceptionnelles" sont par la suite abordées par le biais des intensités maximales.

3.2.5. PRESENTATION DES DIFFERENTS TYPES DEFINIS.

Chaque type regroupe un certain nombre de séquences (effectif) indiqué au Tableau n°39, le type A1 est le plus fréquent, le type C1 le plus rare.

Les types, A1, A2, A3, B1, B2 et B3, constituant 92 % de l'effectif total des séquences constituent en quelque sorte les "pluies courantes" alors que les 8 % restant sont plutôt des "pluies exceptionnelles", en termes de fréquence d'apparition mais aussi en termes de hauteur et d'intensité maximale.

En effet, ces "pluies exceptionnelles" cumulent des hauteurs supérieures à 10 mm et connaissent toutes une pointe d'intensité d'au-moins 20 mm.H⁻¹ sur 6 minutes.

La définition de ces deux catégories, et en particulier celle des "pluies exceptionnelles" permet de pallier à l'absence de définition dans la Directive européenne du 21 mai 1991 relative au traitement des eaux urbaines résiduaires (Directive n.91-271 CEE). En effet, si cette directive impose aux collectivités locales le traitement des eaux pluviales sauf en cas "d'événement météorologique exceptionnel", elle n'en donne aucune définition, laissant ainsi aux collectivités locales une marge de manoeuvre importante puisque elles peuvent définir elles-mêmes ce que recouvre la notion "d'événement météorologique exceptionnel".

La définition des "pluie exceptionnelles" proposée ici n'est qu'une possible définition parmi d'autres, mais elle comporte plusieurs avantages, d'une part, ces "pluies exceptionnelles" correspondent à des événements peu fréquents, qui possède donc une caractère exceptionnel en termes d'apparition, et d'autre part, il s'agit bien d'événements exceptionnels en termes de volume total et de pointes d'intensité.

Des précisions sur chaque type défini par la grille de classification sont données au Tableau n°40 : sa fréquence, sa part dans la hauteur et la durée totale des séquences.

Le Tableau n°40 montre bien le poids important des "pluies courantes" dans la hauteur totale et la durée totale, et *a contrario* la faible représentativité des "pluies exceptionnelles".

Tableau n°40 : Fréquence et part de chaque type dans la hauteur et la durée totale des séquences.

Types	Fréquence relative (en %)	Part de la hauteur totale (en %)	Cumul des parts de la hauteur totale (en %)	Part de la durée totale (en %)	Cumul des parts de la durée totale (en %)
A1	44.9 %	18.1%	72.3 %	27.3%	84 %
A2	22.7 %	21 %		27 %	
A3	11.6 %	20.6 %		22.8 %	
B1	3.4 %	1.7 %		0.6 %	
B2	6.0 %	5.6 %		2.7 %	
B3	3.0 %	5.3 %		3.5 %	
A4	2.1 %	6.3 %	27.7 %	5.8 %	16 %
A5	1.0 %	5.6 %		4.7 %	
B4	0.9 %	2.8 %		1.5 %	
B5	0.5 %	2.5 %		1.4 %	
C1	0.1 %	0.05 %		0.03 %	
C2	0.7 %	0.7 %		0.3 %	
C3	1.5 %	2.7 %		0.9 %	
C4	0.7 %	2.2 %		0.6 %	
C5	0.3 %	1.3 %		0.6 %	
D3	0.2 %	0.3 %		0.03 %	
D4	0.3 %	0.8 %		0.09 %	
D5	0.4 %	2.6 %	0.4 %		

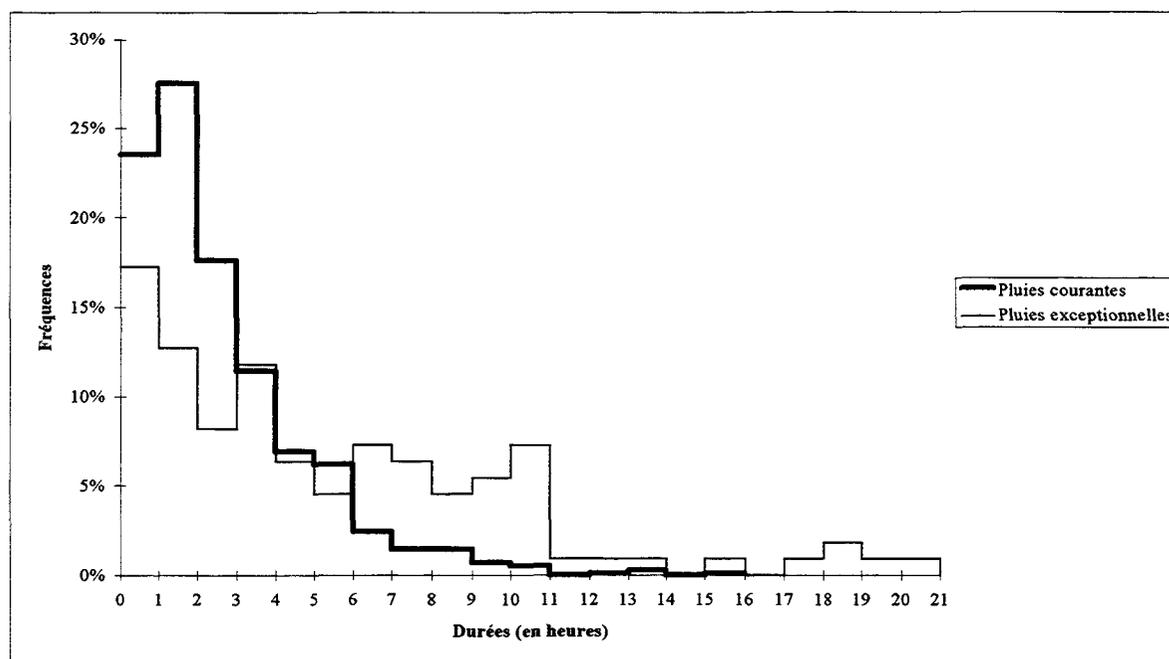
Afin de comparer ces deux grandes catégories, l'histogramme des durées de précipitations, et celui des durées de temps sec précédant chaque séquence ont été tracés (Graphiques n°33 et 34).

Les durées de précipitations s'échelonnent entre quelques minutes et 21 heures, alors que les durées de temps sec s'échelonnent de quelques minutes à 561 heures, soit un peu plus de 23 jours.

L'étendue importante des durées de temps sec nécessite un regroupement en classes d'amplitude assez grande, afin de ne pas aboutir à un nombre trop important de classes, mais ceci n'est pas trop gênant dans la mesure où il existe peu voire pas de différence entre l'impact d'une durée de temps sec de quelques heures à 24 heures, ou de 36 à 48 heures, en termes de qualité des eaux pluviales.

Par contre, la classe de quelques minutes à 24 H mérite d'être détaillée (Graphique n°35) dans la mesure où la séquence qui succède à la durée de temps sec a un impact différent s'il elle survient quelques minutes ou quelques heures après la précédente.

Graphique n° 33 : Histogramme des durées de précipitations des pluies courantes et des pluies exceptionnelles.



Si les histogrammes des durées de précipitations offrent quelques divergences, ceux des durées de temps sec peuvent être quasiment assimilés.

En effet, pour les durées de précipitations des pluies courantes, la fréquence décroît en fonction de l'augmentation de la durée, alors que pour les pluies exceptionnelles les variations de fréquence sont beaucoup plus anarchiques.

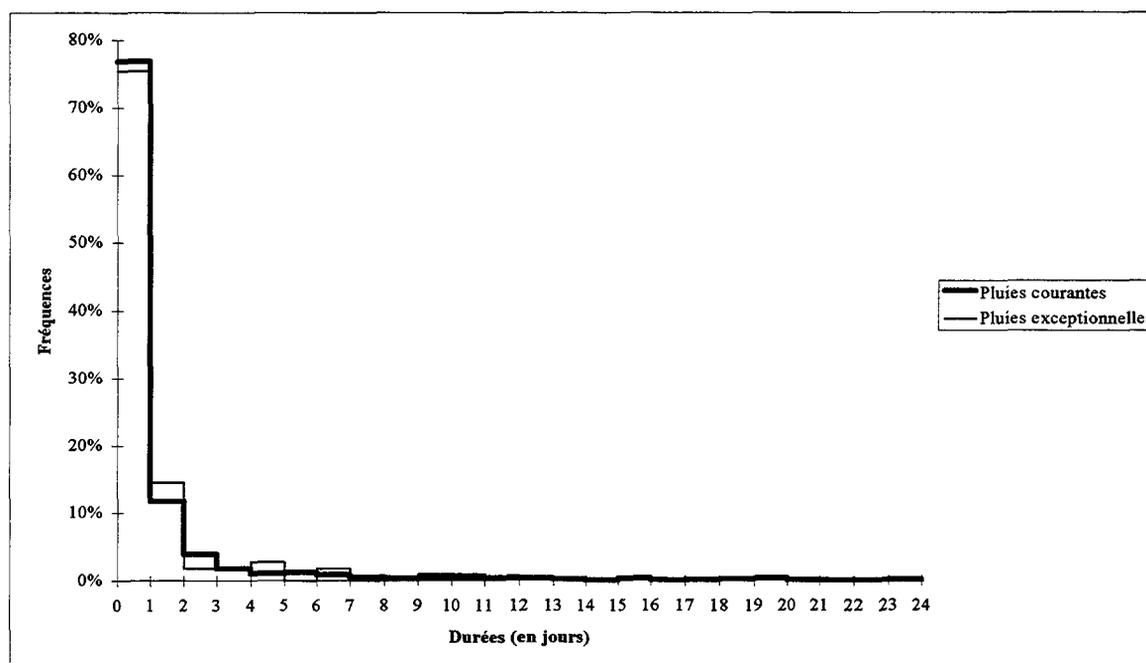
Ainsi, trois concentrations s'observent : moins de 2 H, de 3 à 4 H, et de 6 à 11 H pour les pluies exceptionnelles, alors que les pluies courantes n'offrent qu'une seule concentration (entre 1 et 2 H).

Par ailleurs l'étendue est beaucoup plus petite pour les pluies courantes que pour les pluies exceptionnelles.

Les histogrammes des durées de temps sec précédant les séquences pluvieuses montrent une large prédominance des faibles durées (moins de 24 heures) pour les deux catégories.

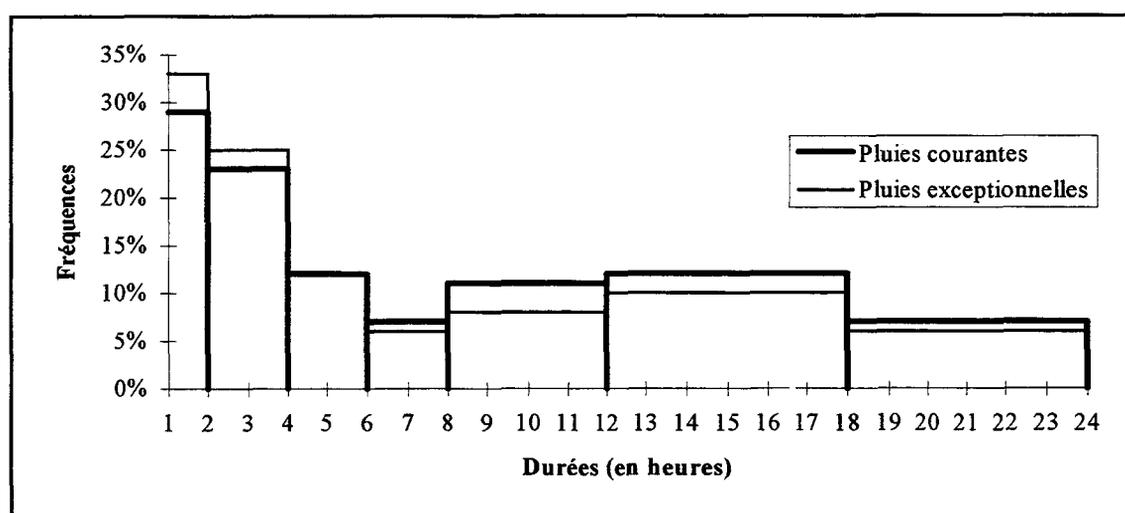
A l'inverse des durées de pluie, ce sont pour les pluies courantes que l'étendue des durées de temps sec est la plus grande puisque l'étendue de celle-ci pour les pluies exceptionnelles atteint seulement 11 jours contre 24 pour les pluies courantes.

Graphique n°34 : Histogramme des durées de temps sec précédant les séquences pour les pluies courantes et les pluies exceptionnelles, Lesquin (1982-1991).



Le Graphique n°35 qui détaille la répartition des durées de temps sec inférieures à 24 heures montre bien la similitude entre pluies courantes et pluies exceptionnelles, avec une légère prépondérance des courtes durées de temps sec pour les pluies exceptionnelles par rapport aux pluies courantes.

Graphique n°35 : Histogramme des durées de temps sec de moins de 24 heures pour les pluies courantes et les pluies exceptionnelles, Lesquin (1982-1991).

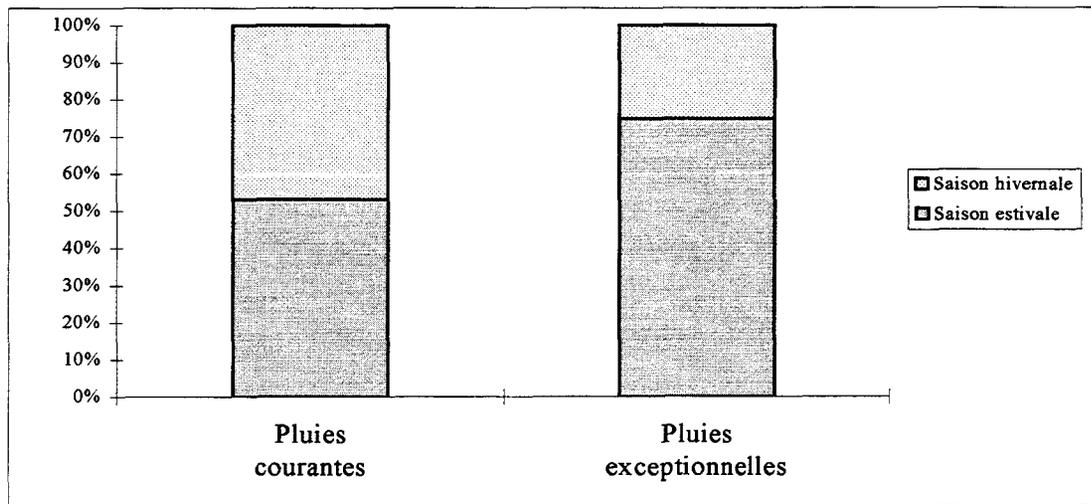


Ainsi, il n'est pas exclu qu'une séquence survienne rapidement après une autre séquence pluvieuse (courante ou exceptionnelle), ce qui peut amplifier l'impact de cette

dernière sur les réseaux d'assainissement, et ce de manière encore plus importante lorsqu'il s'agit d'une pluie exceptionnelle.

La répartition saisonnière moyenne des pluies courantes et exceptionnelles (Graphique n°36) montre qu'il y a équilibre entre saison estivale et saison hivernale pour les premiers, alors qu'il existe une nette prépondérance de la saison estivale pour les seconds.

Graphique n°36 : Répartition saisonnière moyenne des deux grandes catégories de types (pluies courantes et pluies exceptionnelles).



Les pluies exceptionnelles sont souvent liées à un contexte orageux, ce qui explique en partie qu'elles soient plus fréquentes en saison estivale qu'en saison hivernale. En effet, un tiers (35 %) des pluies exceptionnelles ont lieu pendant des journées où il y a eu des orages, contre 10 % pour les pluies courantes.

La proportion de pluies exceptionnelles liées à des orages globalement forte, de 33 % à 100 % selon les types, montre bien l'importance que prennent les orages dans les problèmes de gestion des réseaux d'assainissement et des stations d'épuration.

Après l'étude de la répartition saisonnière des pluies courantes et exceptionnelles, la répartition de ces deux grandes catégories selon le type de temps semble intéressante à mettre en évidence afin de cerner s'il existe un lien entre la situation météorologique et le type de séquence pluvieuse observée.

Ainsi, l'étude de la répartition des séquences de précipitations selon les types de temps de BENICHOU P. (1985) montre la faible représentativité globale des types "dépressionnaires" et *a contrario*, la prépondérance des types "zonaux".

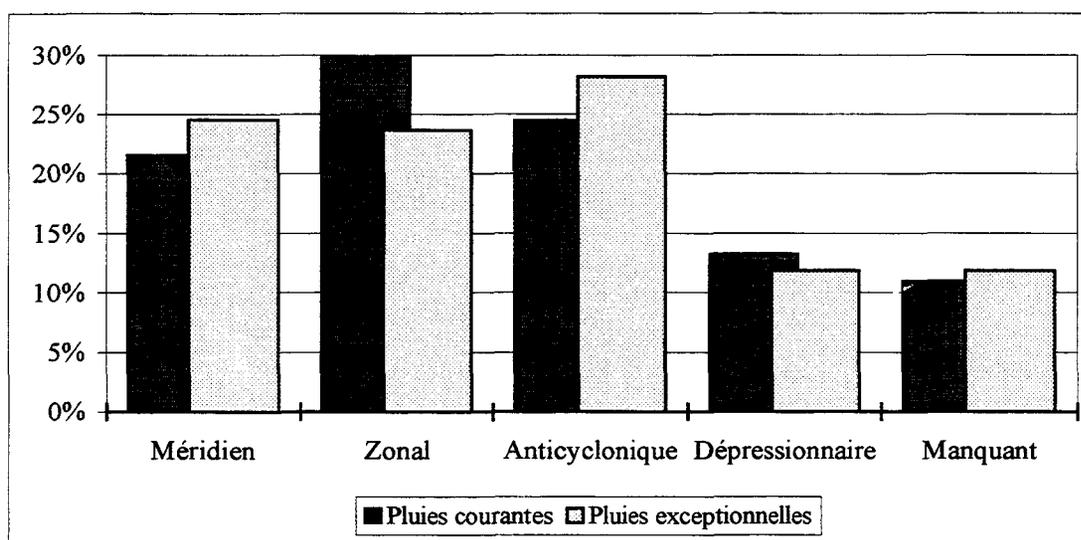
La répartition pour les types courants (Graphique n°37) montre l'importance des types de temps zonaux, auxquels succèdent les types de temps anticycloniques, les types de temps méridiens, et la faiblesse des types de temps dépressionnaires, alors que ceux-ci étaient attendus plus haut dans le classement. Dans le classement concernant les types exceptionnels, il y a permutation entre les types de temps zonaux et anticycloniques, qui se retrouvent donc en tête. Ces classements sont toutefois à prendre avec précaution dans la mesure où l'ensemble des types de temps quotidiens n'est pas connu (existence de "manquants" dont la proportion est signalée sur le graphique).

Par ailleurs, la place qu'obtiennent les types de temps anticycloniques dans le classement pose question et révèle une certaine inadaptation de la classification des types de temps de BENICHOU pour la région du Nord-Pas-de-Calais. En effet, cette classification est élaborée à l'échelle du territoire français et revêt donc un caractère synthétique qui néglige les nuances régionales.

De plus, la situation de la région, sur une des marges du territoire français, amplifie cette absence de prise en compte des nuances régionales. Ainsi, il est courant que la France soit située dans un contexte météorologique anticyclonique alors qu'au Nord du territoire on observe le passage de perturbations accompagnant des dépressions qui circulent bien au Nord du 50^{ème} parallèle et qui induisent des précipitations sur la région Nord.

L'inadaptation apparente de cette classification des types de temps justifie le fait que l'analyse sur les types de temps dans lesquels se situent les séquences de précipitations n'ait pas été plus approfondie.

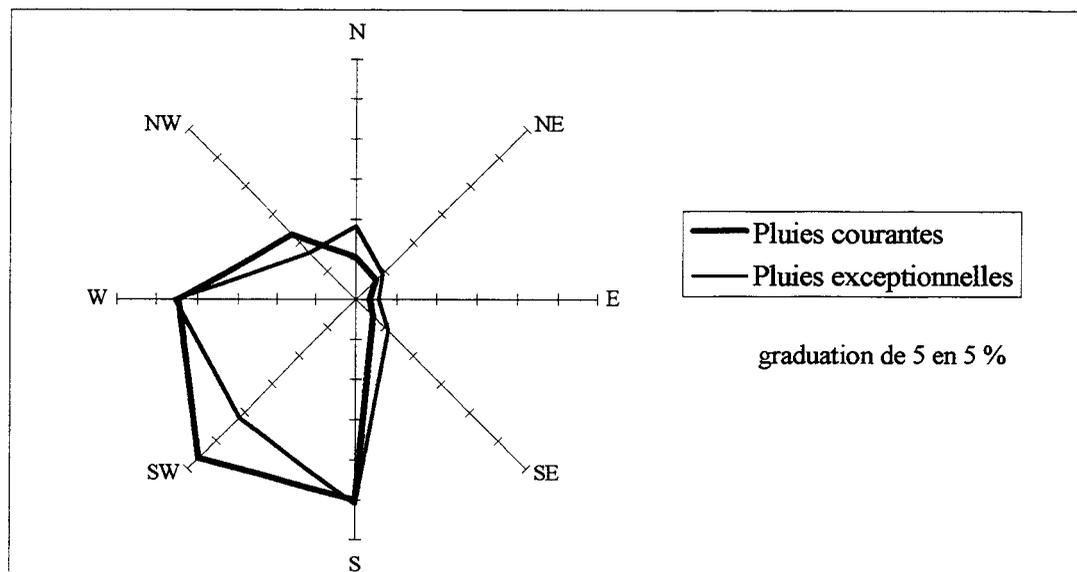
Graphique n°37 : Répartition selon les types de temps pour les pluies courantes et les pluies exceptionnelles.



Afin de distinguer quelle est la direction du vent privilégiée pour les deux grandes catégories de types de séquences, une rose des vents simplifiée à été tracée (Graphique n°38).

Pour construire cette rose des vents simplifiée, la direction du vent à 12 H a été relevée chaque jour où il y a eut une séquence pluvieuse, et à partir d'une rose en 36 directions, des regroupements ont été opérés afin de synthétiser l'information.

Graphique n°38 : Rose des vents simplifiée, direction du vent à midi, Lesquin, 1982-1991.



Cette rose des vents n'offre qu'une vision approximative de la réalité dans la mesure où la direction du vent est toujours prise à midi alors que les séquences pluvieuses ont lieu à n'importe quel moment de la journée. Une direction moyenne sur la journée n'ayant aucun sens, il est préférable de choisir la direction à une heure donnée, même si celle-ci reste subjective.

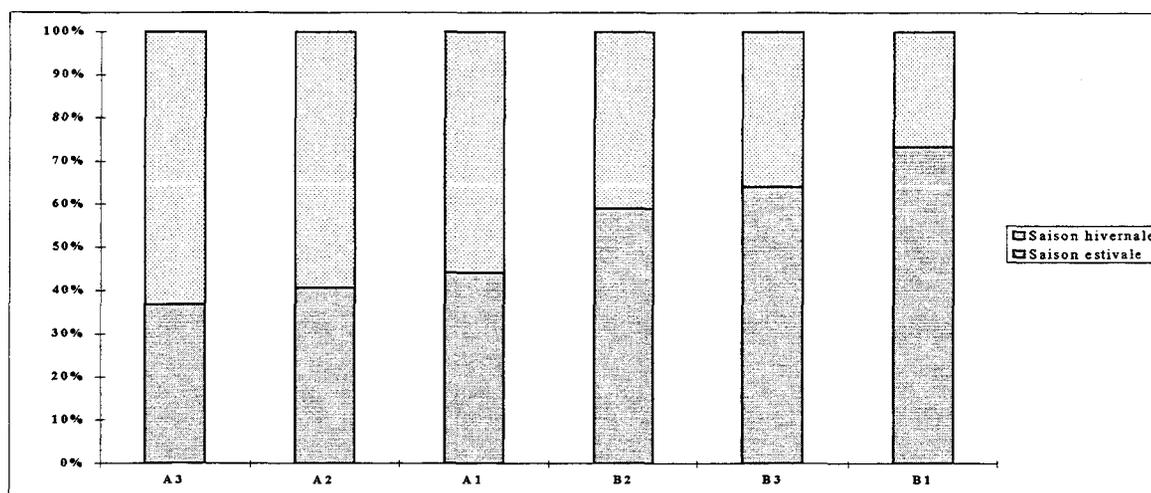
Ces deux roses des vents montrent un profil assez similaire soit une prédominance des vents du quart Sud-Ouest, qui sont d'ailleurs les plus fréquents à Lesquin, pour les deux catégories de types, avec néanmoins, une accentuation de cette prépondérance des vents d'Ouest pour les pluies courantes.

Il est nécessaire d'affiner cette présentation des différents types définis en insistant sur les types les plus fréquents c'est-à-dire ceux qui sont regroupés dans la catégorie "pluies courantes". Il faut rappeler, en préambule que les 6 types regroupés dans cette catégorie ont une hauteur cumulée d'au maximum 10 millimètres et une intensité maximale sur 6 minutes toujours inférieure à 20 mm.H⁻¹.

La répartition saisonnière des 6 types de cette catégorie (Graphique n°39) permet de noter que les séquences dont l'intensité maximale sur 6 minutes dépasse les 10 mm.H⁻¹ sont majoritairement situées en saison estivale même si elles ne sont pas exclues en hiver.

A contrario, les séquences dont l'intensité maximale est inférieure à 10 mm.H⁻¹, sont mieux représentées en saison hivernale. Il semble donc que les séquences les plus intenses de cette catégorie aient lieu préférentiellement en été.

Graphique n°39 : Répartition saisonnière des séquences des types de la catégorie des pluies courantes.



Pour chacun des 6 types, le Tableau n°41 fournit la durée moyenne, la durée médiane et le 9ème décile.

Tableau n°41 : Valeurs caractéristiques de la durée des séquences pluvieuses pour les types de pluies courantes, (en heures).

Durée	A1	A2	A3	B1	B2	B3
Moyenne	1.7	3.3	5.4	0.4	1.3	3.2
Médiane	1.4	2.9	5.2	0.3	1.1	2.5
9ème décile	3.2	5.6	8.5	0.8	2.2	5.3
Maximum	15.7	10.6	13.7	1.4	4.3	13.5

Mais ces valeurs caractéristiques sont insuffisantes, c'est pourquoi les distributions des séquences selon la durée de précipitations pour chacun de ces 6 types ont été réalisées; celles-ci sont présentées à l'Annexe n°3.

Lorsque la hauteur précipitée augmente, il apparaît, pour ces 6 types, les points communs suivants :

- les distributions s'étalent, elles se sont de moins en moins concentrées;
- et ainsi, l'obliquité à gauche s'atténue, voire disparaît;
- de même, l'aplatissement est de plus en plus prononcé.

La comparaison 2 à 2 de ces 6 types (A1 et B1, A2 et B2, A3 et B3), montre que les types B sont plus concentrés que les types A, ainsi les médianes et les 9èmes déciles des types B sont toujours inférieurs à ceux des types A.

Pour les durées des périodes de temps sec précédant les séquences, le même type d'exercice a été réalisé : valeurs caractéristiques (Tableau n°42) et construction des distributions pour les 6 types de séquences (Annexe n°4).

Tableau n°42 : Valeurs caractéristiques de la durée de temps sec précédant les séquences pluvieuses pour les types de pluies courantes, (en heures).

Durée de temps sec	A1	A2	A3	B1	B2	B3
Moyenne	21.5	29.6	27.3	25.3	23.5	31.7
Médiane	5	6.7	13.5	5	3.8	7.3
9ème décile	47.8	61	51.3	34	48.6	79
Maximum	476	478	560	433	435	315

Ce tableau permet de s'apercevoir que si les durées de temps sec peuvent atteindre plus de 20 jours, elles sont globalement plutôt inférieure à 4 jours (96 heures). C'est pourquoi les distributions des séquences selon la durée de temps sec qui les précèdent, n'ont été réalisées que pour celles qui sont en deçà de 4 jours, ce qui permet de présenter la majorité des séquences (90 %), tout en affinant cette présentation dans la mesure où l'étendue est moins importante.

Ces distributions (présentées à l'Annexe n°4) ont toutes la même classe modale : les durées de temps sec inférieures à 12 heures sont les plus fréquentes quel que soit le type, et les distributions sont, somme toute, assez semblables, excepté les distributions des séquences des types A3 (où les séquences se répartissent mieux dans les classes) et B1 (où l'étendue est plus faible).

En d'autres termes, il ne semble pas qu'il y ait une relation de cause à effet entre la durée de la période de temps sec et la hauteur et/ou l'intensité maximale mesurée(s) dans la séquence pluvieuse qui la suit. Non seulement les séquences représentées ici font partie des séquences les plus courantes, mais ce sont des séquences qui succèdent à d'autres séquences pluvieuses (courantes ou exceptionnelles) avec des laps de temps assez courts.

En résumé, les séquences formant les "pluies courantes", associant des hauteurs assez faibles (moins de 10 mm) à des intensités maximales faibles (moins de 20 mm.H-1), ont des durées de précipitations assez courtes (bien souvent inférieures à 8 heures), et des périodes de temps sec majoritairement faibles (inférieures à 12 h).

Néanmoins, les durées semblent s'accroître avec la hauteur précipitée et se concentrer dans les faibles valeurs lorsque l'intensité maximale augmente.

Cette typologie a donc permis la distinction des séquences selon le risque qu'elles occasionnent des problèmes d'ordre quantitatifs ou qualitatifs sur les réseaux d'assainissement, les stations d'épurations ou le milieu naturel.

Les 18 types définis se regroupent en 2 grandes catégories : les "pluies courantes" et les pluies exceptionnelles", qui ont été toutes deux présentées dans les paragraphes précédents, tout en insistant sur la première catégorie.

Le calcul des courbes I.D.F. devrait permettre de réparer ce déséquilibre puisqu'il se base sur des valeurs d'intensités maximales appartenant à des séquences de la catégorie des "pluies exceptionnelles" pour le plus grand nombre d'entre elles.

3.3. COURBES INTENSITE - DUREE - FREQUENCE POUR L'AGGLOMERATION LILLOISE.

Pour calculer les courbes IDF relatives à la station de Lesquin, le choix s'est porté sur la population de séquences de précipitations utilisée pour la typologie.

D'une part, cela permet de présenter ces séquences de précipitations à travers leurs intensités maximales les plus élevées, et d'autre part, de compléter la classification des séquences qui vient d'être faite dans la mesure où les intensités maximales constituant la base de calcul de ces courbes ont une forte probabilité de se trouver parmi les types de séquences non développés dans le paragraphe précédent.

3.3.1. CALCUL DES INTENSITES MAXIMALES DES SEQUENCES PLUVIEUSES.

Avant d'en venir au calcul proprement dit des courbes IDF, il faut préalablement définir la méthode de calcul des intensités maximales de chaque séquence.

Chaque séquence de précipitation se présente comme la succession de hauteurs précipitées sur des périodes de 6 minutes (Cf. Chapitre 1, paragraphe 1.2.2., Tableau n°4).

Pour chacune des séquences, les hauteurs cumulées ont été calculées sur des pas de temps glissant de 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60, 90, 120, 180, 240, 360, et 720 minutes, le pas de temps de base étant 6 minutes (exemple au Tableau n°43).

Tableau n°43 : Exemple de calcul des hauteurs cumulées sur des pas de temps glissant (de 12 à 60 minutes) pour une séquence.

HAUTEURS SUR									
6'	12'	18'	24'	30'	36'	42'	48'	54'	60'
0.2									
0	0.2								
0	0	0.2							
0.2	0.2	0.2	0.4						
0.4	0.6	0.6	0.6	0.8					
0.8	1.2	1.4	1.4	1.4	1.6				
0.6	1.4	1.8	2	2	2	2.2			
0.2	0.8	1.6	2	2.2	2.2	2.2	2.4		
0.2	0.4	1	1.8	2.2	2.4	2.4	2.4	2.6	
0	0.2	0.4	1	1.8	2.2	2.4	2.4	2.4	2.6
0	0	0.2	0.4	1	1.8	2.2	2.4	2.4	2.4
0	0	0	0.2	0.4	1	1.8	2.2	2.4	2.4
0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.6	1.2	2	2.4	2.6
0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.6	1.2	2	2.4
0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.8	1.4	2.2

Pour chaque pas de temps est extraite la hauteur cumulée maximale, celle-ci est ensuite retranscrite en mm.H⁻¹ afin d'avoir une unité homogène pour l'ensemble des intensités.

Ainsi pour la séquence de l'exemple précédent, les intensités maximales obtenues sur les différents pas de temps sont les suivantes (Tableau n°44).

Tableau n°44 : Intensités maximales sur les différents pas de temps pour la séquence fictive précédente.

Pas de temps	6'	12'	18'	24'	30'	36'	42'	48'	54'	60'
Hauteur maximale (en mm)	0.8	1.4	1.8	2	2.2	2.4	2.4	2.4	2.6	2.6
Intensité maximale (en mm.H⁻¹)	8.0	7.0	6.0	5.0	4.4	4.0	3.4	3.0	2.9	2.6

L'ensemble des séquences de la population S'60 a fait l'objet de ces calculs d'intensités maximales dont les principaux résultats (10 premiers rangs) sont présentés au Tableau n°45.

Les 160 intensités maximales du tableau précédent ont été extraites de 44 séquences pluvieuses, ce qui signifie que certaines séquences sont représentées plusieurs fois.

Tableau n°45 : Intensités maximales (en mm.H-1) calculées sur différents pas de temps glissant, et classées par ordre décroissant (10 premiers rangs), à Lesquin, 1982-1991.

Rang	6'	12'	18'	24'	30'	36'	42'	48'	54'	60'	90'	120'	180'	240'	360'	720'
1	218	159	122.7	92.5	74.4	62.7	53.7	47	41.8	37.8	11.3	9.8	7.9	6.5	5.2	1.8
2	62	58	47.3	43.5	35.2	33.3	31.4	27.8	19.3	14.8	9.9	8	5.9	4.4	3.5	1.8
3	62	50	41.3	39	34.2	28.7	24.6	21.6	16.4	13.2	8.5	6.9	5.1	4.2	3.4	1.5
4	59	49	40.7	31.5	24.6	22.3	21.1	18.5	14.7	12.4	8	6.6	5	3.9	3.3	1.4
5	48	41.5	39.7	30.3	23.2	19.5	17.4	16.3	13.3	11.4	7.7	6.5	4.9	3.8	3.2	1.3
6	46	39	32	27.8	19.8	17.3	16.9	14.9	13.2	11.3	7.7	6.1	4.7	3.8	3.2	1.2
7	44	38	28.3	23	19.8	17.3	15.6	14.3	12.6	11.1	7.7	6.1	4.6	3.7	2.8	0.9
8	42	36	27.7	22.8	19.6	17.3	15.4	14	12.4	10.4	7.5	6	4.6	3.3	2.7	0.9
9	41	31	27.3	22.3	19	17.2	15.4	13.8	11.8	10.4	7.3	5.7	4.4	3.3	2.7	0.7
10	40	31	26.7	21.5	17.4	17.0	14.9	12.5	11.3	9.8	7.1	5.5	4.3	3.2	2.6	0.7

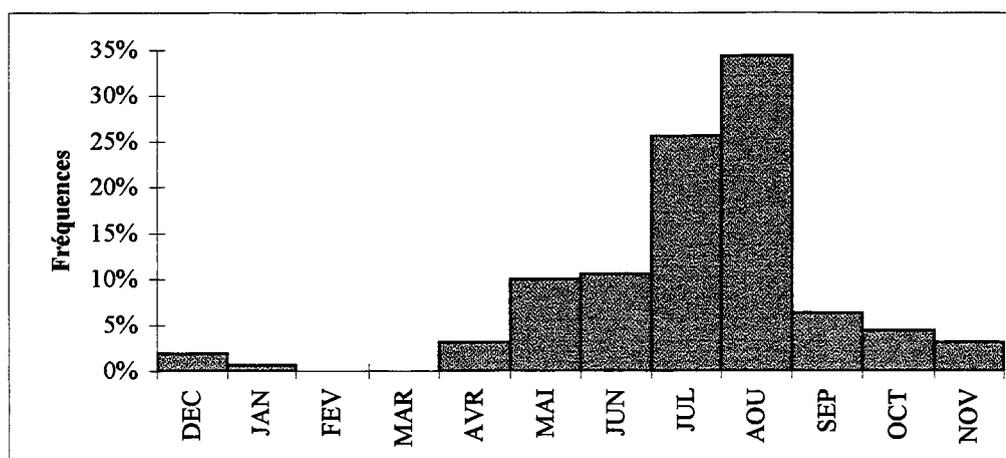
Parmi ces 44 séquences, 42 appartiennent à la catégorie des pluies exceptionnelles mais représentent seulement 40 % de celles-ci. Le Tableau n°46 donne la répartition de ces 44 séquences entre les différents types et le pourcentage par rapport à l'effectif total de chaque type.

Tableau n°46 : Répartition selon la grille de classification des séquences constituant les 10 premiers rangs des intensités maximales et part dans l'effectif total de chaque type.

	1	2	3	4	5
A	0	0	1 - 0.7 %	2 - 7.4 %	12 - 92 %
B	0	0	1 - 2.6 %	3 - 25 %	4 - 67 %
C	-	-	1 - 5 %	7 - 78 %	3 - 75 %
D	-	-	2 - 100 %	3 - 100 %	5 - 100 %

Le paragraphe qui suit cherche à détailler ces séquences pluvieuses dont les intensités maximales seront la base du calcul des courbes Intensité-Durée-Fréquence.

Graphique n°40 : Répartition mensuelle des 160 séquences pluvieuses représentées dans les 10 premiers rangs.



Première particularité de ces séquences pluvieuses : elles ont eu lieu préférentiellement en saison estivale; en effet, le Graphique n°40 montre bien la faible représentativité des séquences de la saison hivernale ou la prépondérance des séquences en saison estivale.

Deuxième particularité : ces séquences ont toutes un cumul des hauteurs supérieur à 2.5 mm, mais surtout, la majorité des séquences offre un cumul supérieur ou égal à 10 mm (95 % des séquences, dont 55 % de hauteur supérieure ou égale à 15 mm). Ce sont donc pendant des séquences apportant un volume de précipitations conséquent (au moins 10 mm) qu'ont eut lieu la majorité des intensités maximales constituant les 10 premiers rangs tous pas de temps confondus.

Troisième particularité : ces séquences, dont la durée s'échelonne entre 0.4 et 20 heures, sont en majorité assez courtes puisque 70 % d'entre elles ont une durée inférieure à 4 heures, et seulement 6 % dépassent les 12 heures.

En fonction du pas de temps, la répartition des séquences selon la durée se modifie, et ce, de manière intrinsèque puisqu'une intensité maximale sur un pas de temps donné ne peut être mesurée si la durée de la séquence est inférieure à ce pas de temps. Ainsi, tout en fixant les éléments essentiels sur la répartition des séquences selon la durée, le Tableau n°47 donne une illustration de ce phénomène intrinsèque.

Tableau n°47 : Eléments essentiels sur la répartition des durées des 160 séquences représentées dans les 10 premiers rangs selon le pas de temps.

Pas de temps	Elément à retenir sur la répartition des séquences selon la durée
6 à 54'	La majorité se situe dans la classe "moins de 2 H"
60'	Quasi-égalité des effectifs des classes "moins de 2 H" et "de 2 à 4 H"
90 à 180'	La majorité se situe dans la classe "de 2 à 4 H"
240 et 360'	La majorité se situe dans la classe "de 8 à 12 H"
720'	La totalité se situe dans la classe "supérieure à 12 H"

Enfin, il est très important d'aborder la durée de temps sec précédant ces séquences où sont répertoriées les intensités maximales des dix premiers rangs.

En effet, les durées de temps sec précédant un épisode pluvieux jouent un rôle sur la qualité des eaux pluviales urbaines dans la mesure où pendant ces périodes sans pluie s'effectuent, à la surface du sol, des dépôts de poussières et autres déchets, qui seront

éventuellement pris en charge par le ruissellement pluvial, traité ou non par une station d'épuration.

Plus la durée de temps sec est longue, plus les dépôts seront potentiellement importants et engendreront une mauvaise qualité des eaux pluviales.

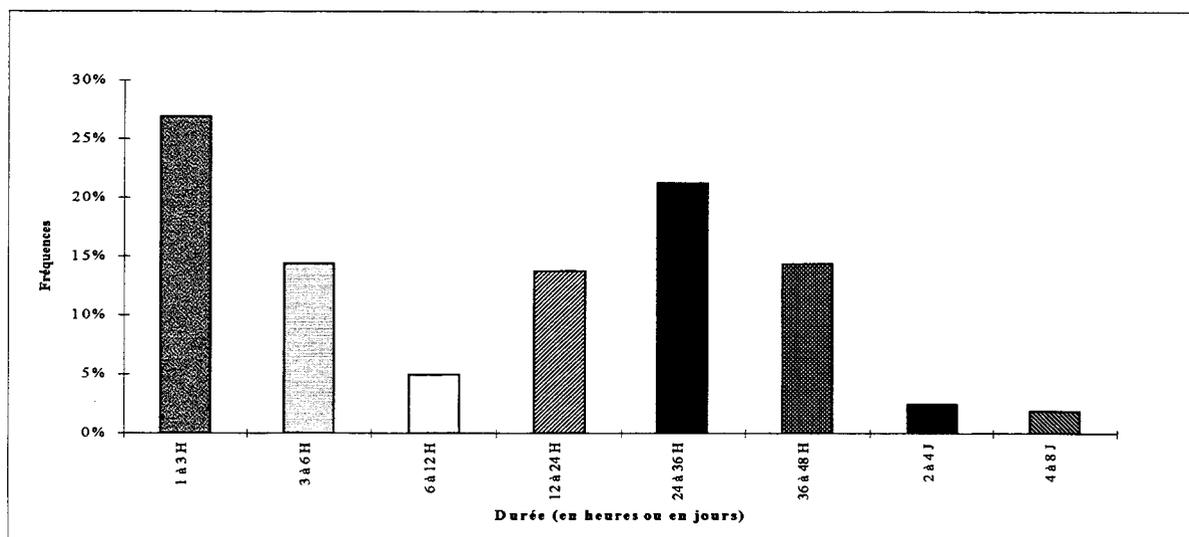
Mais si la durée de temps sec est un des facteurs influençant la qualité des eaux pluviales, l'intensité de la pluie et par voie de conséquence celle du ruissellement en constitue un autre tout aussi important puisque l'intensité du ruissellement déterminera sa capacité à transporter les dépôts de temps sec et à remettre en charge les dépôts existants dans les réseaux.

Les durées de temps sec des séquences étudiées ici s'échelonnent de 1 heure à une semaine (7 jours), ce qui donne une étendue assez importante. Le Graphique n°41 en montre la répartition selon différentes classes et il semble que les séquences "à risques" c'est-à-dire associant forte intensité de précipitations et longue durée de temps sec, soient très peu nombreuses (moins de 5 %).

Par ailleurs, ces séquences sont précédées par une période de temps sec de moins de 12 heures pour 50 % d'entre elles, ou encore de moins de 48 heures pour 95 % d'entre elles. Ce qui signifie que la majorité des séquences ayant connu une intensité maximale située dans les 10 premiers rangs ne constituent pas réellement des séquences à haut risque en matière de pollution des eaux pluviales.

Par contre, les débordements occasionnés peuvent être amplifiés par cette succession rapide dans le temps.

Graphique n°41 : Répartition des 160 séquences selon la durée de temps sec précédent.



En résumé, les séquences pluvieuses pendant lesquelles ont été répertoriées les intensités maximales composant les 10 premiers rangs, ont eu lieu préférentiellement en saison estivale (85 % d'entre elles).

Ce sont des séquences apportant un volume de précipitations assez important (95 % des séquences ayant une hauteur supérieure ou égale à 10 millimètres), et qui sont en majorité assez courtes (70 % ont une durée inférieure à 4 heures).

Enfin, les périodes de temps sec précédant ces séquences ont une durée assez faible pour la grande majorité d'entre elles (95 % ont une durée inférieure à 48 heures).

La présentation des séquences, pendant lesquelles se sont manifestées les intensités maximales situées dans les dix premiers rangs, étant réalisée, il s'agit maintenant d'en venir au calcul des courbes Intensité-Durée-Fréquence.

3.3.2. CALCUL DES COURBES IDF.

Ce sont les intensités maximales classées par ordre décroissant pour chaque pas de temps (Annexe n°5) qui constituent la base de données utile au calcul des courbes Intensité-Durée-Fréquence, excepté l'intensité maximale de la séquence du 7 juillet 1991 (21.8 mm sur 6 minutes) qui a été ôtée de la population dans la mesure où elle excède la valeur centennale estimée sur ce même pas de temps (16.3 mm sur 6 minutes).

Il est, en effet, impossible de garder une telle valeur lorsque la période de référence est réduite à 10 ans, car elle fausse totalement l'estimation de la pluie décennale.

La période étant de 10 ans (1982-1991), pour chaque pas de temps, l'intensité maximale atteinte ou dépassée une fois en 10 ans est située au premier rang, 2 fois en 10 ans au deuxième rang, 5 fois en 10 ans au cinquième rang, et dix fois en 10 ans au dixième rang, soit en durée de retour, respectivement, 10 ans, 5 ans, 2 ans et 1 an.

Pour calculer les courbes IDF relatives à ces intensités maximales, il existe plusieurs formules d'ajustement : celle de Talbot-Grisollet (1) ou celle de Montana (2) entre autres.

$$I_m = a / (\Delta t + b) \quad (1)$$

$$I_m = a \cdot \Delta t^b \quad (2)$$

I_m étant l'intensité maximale exprimée en fonction de l'intervalle de référence Δt (pas de temps sur lequel est mesurée l'intensité).

Les paramètres a et b résultent de l'ajustement mathématique des courbes expérimentales et dépendent de la période de retour choisie et de la station considérée.

L'ajustement des données expérimentales a été réalisé avec les deux formules (Talbot-Grisollet et Montana) pour 4 durées de retour (10 ans, 5 ans, 2 ans et 1 an).

Les fonctions obtenues constituent les courbes IDF présentées au Tableau n°48, où pour une durée de retour donnée, y est l'intensité maximale, et x l'intervalle de temps.

Tableau n°48 : Courbes IDF calculées selon la formule de Talbot-Grisollet et la formule de Montana pour la période 1982-1991, à Lesquin.

Formule de	Durée de retour			
	10 ans	5 ans	2 ans	1 an
Talbot-Grisollet	$y = \frac{1425}{x + 8.7}$	$y = \frac{1300}{x + 22.1}$	$y = \frac{1009}{x + 19.6}$	$y = \frac{552}{x - 13.3}$
Montana	$y = 8.5 x^{-0.81}$	$y = 6.9 \cdot x^{-0.81}$	$y = 4.5 \cdot x^{-0.77}$	$y = 4.2 \cdot x^{-0.81}$

Un test simple de ces ajustements consiste à calculer, pour chaque durée de retour, la somme des carrés des écarts entre valeurs expérimentales et valeurs ajustées (notée E_i).

Ce test montre que l'ajustement est meilleur avec la formule de Montana, toutes durées de retour confondues (somme des valeurs E_{10} , E_5 , E_2 et E_1).

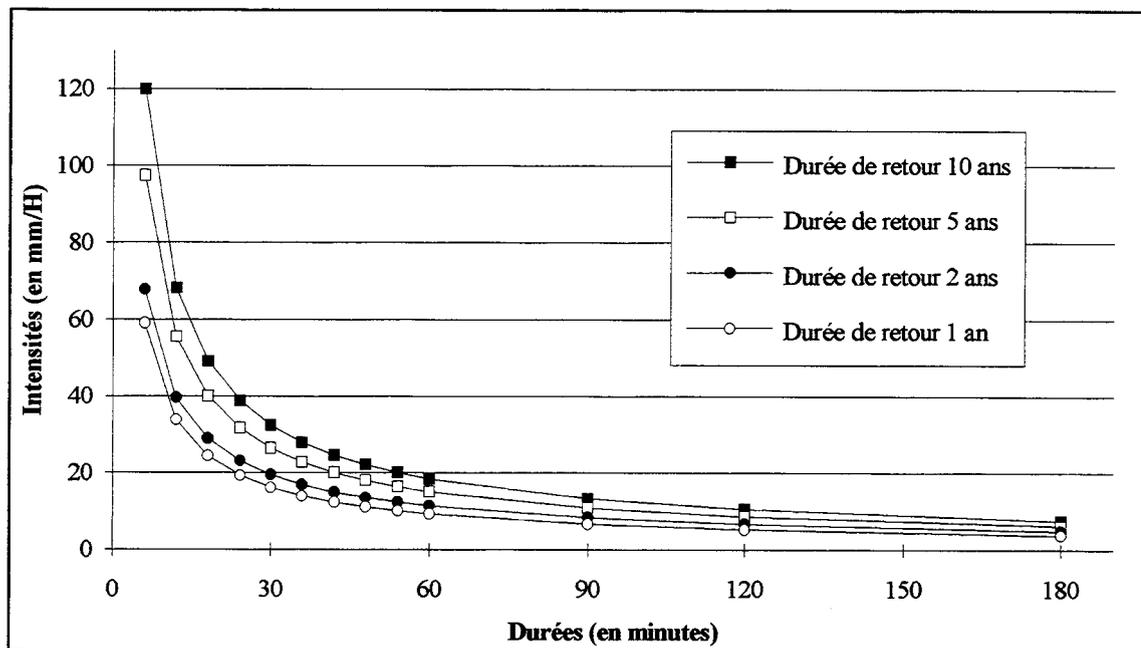
C'est pourquoi le choix s'est porté sur la formule de Montana, tout en admettant qu'elle ait un domaine de validité plus restreint (inférieur à 3 heures) que celle de Talbot-Grisollet qui s'adapte mieux aux grands intervalles de temps.

Par ailleurs ce choix de la formule de Montana se justifie par une volonté de comparer les résultats obtenus à Lesquin avec ceux donnés par l'Instruction technique du 22 juin 1977².

Après avoir donné les différentes fonctions IDF relatives à Lesquin pour la période 1982-1991, il est nécessaire d'en donner une illustration graphique (Graphique n°42).

²Circulaire n°77-284 interministérielle du 22 juin 1977 et instruction technique du 22 juin 1977 donnant les règles de conception et de calcul des réseaux d'eaux pluviales.

Graphique n°42 : Tracé des courbes IDF calculées avec la formule de Montana pour la période 1982-1991 à Lesquin.



Pour montrer combien la période de référence influence les valeurs obtenues, le même calcul de courbes IDF a été réalisé en utilisant les valeurs supérieures à 9 seuils de hauteurs associés à 9 durées (Tableau n°49), définis par Météo-France sur une plus grande période de référence (1955-1988), en utilisant l'ajustement selon la formule de Montana.

Tableaux n°49 : Définition des 9 seuils retenus par Météo-France.

Durée (mn)	6	15	30	60	120	180	360	720	1440
Seuils de hauteur (mm)	4	6	7	9	11	14	17	21	26

Les valeurs supérieures aux seuils observées pendant cette période ont été classées par ordre décroissant, puis pour chaque seuil de durée, les valeurs correspondant aux 4 périodes de retour choisies ici ont été extraites. Ce sont ces valeurs qui sont utilisées pour réaliser l'ajustement. Les équations des courbes obtenues sont données au Tableau n°50.

Tableau n°50 : Courbes IDF calculées selon la formule de Montana pour la période 1955-1988, à Lesquin.

Durée de retour	10 ans	5 ans	2 ans	1 an
Ajustement Montana	$y = 10.3 \cdot x^{-0.79}$	$y = 7.1 \cdot x^{-0.75}$	$y = 4.9 \cdot x^{-0.72}$	$y = 3.7 \cdot x^{-0.71}$

Les résultats sont assez différents de ceux obtenus pour la période 1982-1991, et il est clair que plus la période est longue et plus la probabilité que les valeurs soient plus importantes est forte.

Par ailleurs, il est à souligner les importantes différences entre les valeurs des paramètres a et b obtenues à Lesquin et ceux donnés par l'Instruction technique du 22 juin 1977 qui propose un découpage de la France métropolitaine en 3 zones de "pluviométrie homogène" et pour chacune d'elle un couple de paramètres (a , b) de la formule de Montana, (Annexe n°6).

Lesquin se situant dans la zone de pluviométrie homogène I, la comparaison s'effectuera avec les paramètres obtenus dans cette zone, qui sont : $a = 5.9$ et $b = -0.59$ pour une durée de retour de 10 ans. Ainsi, la pluie horaire décennale caractéristique de la zone I est de 31.6 mm.H^{-1} alors qu'à Lesquin elle est de 18.5 mm.H^{-1} (1982-1991) ou de 24.3 mm.H^{-1} (1955-1988), soit nettement inférieure.

En conclusion, il est démontré que, d'une part, ces courbes IDF sont sensibles à la durée de la période de référence, et d'autre part, qu'elles n'ont de valeur que pour la station même de Lesquin, ce qui sous-entend que si ces résultats sont éventuellement acceptables pour la région lilloise, ils ne le sont pas pour d'autres secteurs géographiques plus éloignés de la station de Lesquin d'où l'aberration d'imposer à l'ensemble de la France du Nord une valeur calculée à Paris. Par ailleurs, si ces valeurs de pluie décennale donnent une information valable pour le dimensionnement des réseaux, ou à titre juridique, il ne faut pas oublier qu'elles sont toutes calculées à l'aide des pointes d'hydrogramme, qui ne constituent qu'une part du volume à gérer (ROUSSEL I. et al., 1994).

L'analyse fine des précipitations constitue une étape essentielle de l'étude de la pluviométrie en hydrologie urbaine. En effet, c'est à l'échelle de l'épisode pluvieux que se manifestent d'éventuels problèmes de gestion des réseaux d'assainissement, et non à des échelles temporelles plus grandes. Aussi, pour aboutir à cette finesse de l'analyse de la pluviométrie, il est incontournable de passer par la définition de séquences de précipitations afin d'avoir une approche précise de leur réalité physique. Un critère dichotomique (pluie-non pluie) associé à un seuil minimal de durée de temps sec a permis de définir 7 populations de séquences pluvieuses, en faisant croître le seuil.

L'analyse statistique de ces 7 populations a montré que si la concentration dans les faibles valeurs, et ce quel que soit le caractère, semble s'atténuer avec l'augmentation du seuil, il n'y a cependant pas de profondes modifications dans la forme des distributions des quatre caractères étudiés (hauteur, durée, intensité moyenne et intensité maximale sur 6 minutes).

La typologie qui permet une approche plus approfondie, s'est basée sur l'une de ces populations (S'60). La classification des séquences selon deux critères (hauteur et intensité maximale) a permis la définition de 18 types pouvant se regrouper en deux grandes catégories, les "pluies courantes" et les "pluies exceptionnelles".

La première catégorie regroupe 92 % des séquences qui se répartissent assez équitablement entre la saison estivale et la saison hivernale. Elle comprend des séquences dont la hauteur est inférieure à 10 mm et l'intensité maximale sur 6 minutes inférieure à 20 mm.H-1, et pour lesquelles les durées de précipitations sont assez courtes (moins de 8 heures) et les durées de temps sec majoritairement faibles (moins de 12 heures).

Les pluies "exceptionnelles", ayant lieu préférentiellement pendant la saison estivale, ont des hauteurs d'au moins 10 mm et des intensités maximales supérieures à 20 mm.H-1. Les durées de précipitations sont assez variables, sans que l'on puisse déterminer la cause de ces variations, alors que les durées de temps sec sont concentrées dans les faibles valeurs.

Il est donc possible d'affirmer qu'il n'existe que peu de séquences précédées par une longue période de temps sec, aussi bien dans la catégorie des pluies "courantes" que dans celle des pluies "exceptionnelles", cette dernière association (intensité élevée et longue période de temps sec) étant d'ailleurs la plus préjudiciable en termes de pollution pluviale.

Finalement, il existe des séquences pouvant causer des problèmes de gestion des eaux pluviales, aussi bien quantitatifs que qualitatifs, mais celles-ci n'ont que de faibles fréquences d'apparition au cours de la décennie étudiée, et ainsi, la majorité des séquences pluvieuses n'occasionnent pas de problèmes de gestion.

Quant aux différentes courbes I.D.F., calculées pour compléter la typologie, elles ont montré combien les résultats sont sensibles à la longueur de la période de référence, et au site même de la station, et sont donc valables pour un secteur géographique restreint. Cette approche de la pluie décennale ne vient donc qu'en complément d'une approche précise et, potentiellement plus intéressante, des précipitations à l'échelle de la séquence.

L'analyse de données, quelles qu'elles soient, implique au préalable un contrôle de leur qualité, contrôle qui fit l'objet du premier chapitre. Mais avant de vérifier la validité des données du pluviographe, il fallait contourner l'obstacle lié aux différences de format des données. C'est pourquoi une procédure d'homogénéisation des formats a été mise en place, après laquelle il était possible de réaliser la validation des données.

Lors de cette validation, sont apparus quelques problèmes que la saisie des données des années 1988 à 1991 a permis en partie de résoudre. La vérification des données, réalisée pour différents pas de temps, à l'aide des données du Tableau Climatologique Mensuel, a montré un bilan assez négatif au pas de temps annuel et mensuel, nuancé par un bilan journalier plutôt positif puisque seulement une minorité de jours est concernée par des écarts importants.

Finalement, le bilan de la vérification des données terminé, il était clair, d'une part, que les données du pluviographe ne pourraient être utilisées que pour l'analyse des précipitations à une échelle fine, celle de la séquence, pour laquelle il n'existe d'ailleurs pas d'autre source, et d'autre part, que pour l'analyse de la pluviométrie annuelle, mensuelle et journalière, il était préférable d'utiliser les données du Tableau Climatologique Mensuel.

La vérification des données terminée, il était possible d'entreprendre l'analyse de la pluviométrie lilloise à différentes échelles temporelles, de l'année à la journée (Deuxième chapitre), puis à l'échelle de la séquence de précipitations (Troisième chapitre).

Comme l'a montré le deuxième chapitre, la pluviométrie lilloise connaît pendant la période étudiée (1982-1991) une tendance à la "surpluviosité", qui apparaît d'ailleurs aux différentes échelles temporelles. Ainsi, toutes les années sont concernées à des degrés variables, et ce sont les excès de saison hivernale qui influencent le plus la suppluviosité, quant aux précipitations mensuelles elles sont pour la moitié des mois supérieures à celles de la normale, enfin les précipitations journalières n'échappent pas à la règle puisqu'elles sont globalement plus élevées qu'à la normale.

Cette accentuation du volume des précipitations semble s'inscrire dans la durée, puisque la tendance est à la croissance depuis 1946. Face à ce phénomène, il est possible d'émettre l'hypothèse d'une croissance des précipitations liée à la progression du front d'urbanisation de l'agglomération lilloise qui atteint désormais la station de Lesquin

Ainsi, la station de Lesquin semble soumise à l'influence urbaine et constitue donc potentiellement un témoin de cette influence, ce qui renforce son intérêt pour l'étude de la pluviométrie en milieu urbain.

Ces volumes plus importants que ceux de la normale sont associés à des durées de précipitations plus faibles ou équivalentes à celles de la normale, ce qui conduit à penser à une augmentation globale de l'intensité des précipitations, qui paraît être une deuxième manifestation de l'influence urbaine.

L'analyse fine des précipitations, à l'échelle de la séquence pluvieuse, induit une multitude de réalisations uniques, qu'il serait fastidieux de décrire et qu'il est possible et plus adéquat de regrouper. La typologie réalisée répondait à cette préoccupation, et a permis de décrire les précipitations avec finesse tout en restant synthétique. Elle a en outre permis, et c'était là son but principal, de distinguer les types de séquences selon leur impact sur les réseaux d'assainissement, les stations d'épuration, ou le milieu naturel.

L'analyse statistique des sept populations de séquences de précipitations, définies avec un seuil minimal de durée pour la période de temps sec la précédant de plus en plus grand, a montré l'existence d'une concentration des séquences dans les faibles valeurs pour l'ensemble des caractères et l'atténuation de cette concentration avec l'augmentation du seuil.

Parmi les sept populations, le choix s'est porté sur la population la plus proche de la réalité pour réaliser la typologie. Celle-ci se compose de 18 types se regroupant en deux grandes catégories : les pluies "courantes" (92 % des séquences) et les pluies "exceptionnelles" (8 %), dont il serait trop long de rappeler ici les caractéristiques.

Néanmoins, il faut rappeler, d'une part, qu'il existe un risque d'apparition de séquences pouvant être à l'origine de problèmes de gestion des eaux pluviales, même si ce dernier semble très faible, et d'autre part, que la majorité des séquences pluvieuses étudiées n'ont que peu ou pas de conséquences néfastes sur les réseaux d'assainissement.

Pour compléter cette typologie, différentes courbes I.D.F. ont été calculées et comparées. Il en ressort que si celles-ci sont éventuellement valables pour le dimensionnement des réseaux, elles sont cependant à utiliser avec précaution dans la mesure où elles sont très sensibles à la période de référence utilisée, et difficile à extrapoler spatialement car très soumises aux conditions locales de la station.

Cette première partie, qui visait à présenter la pluviométrie de l'agglomération lilloise, s'est basée uniquement sur les données de la station de Lesquin, ce qui revient à attribuer à ces résultats stationnels une valeur spatiale. S'il était concevable, dans une première approche, de procéder ainsi, il est bien évident qu'il est impossible de se satisfaire d'une telle approche, c'est pourquoi la deuxième partie cherchera à étudier la répartition spatiale des précipitations de l'agglomération lilloise en se référant à plusieurs stations pluviométriques situées au sein ou aux alentours de l'agglomération.

DEUXIEME PARTIE

ANALYSE SPATIALE DE LA PLUVIOMETRIE DE L'AGGLOMERATION LILLOISE

CHAPITRE 4

La validation des données : une étape préliminaire.

CHAPITRE 5

La répartition spatiale des précipitations au sein de la région lilloise.

L'approche stationnelle effectuée dans la première partie constitue une approche insuffisante pour la connaissance des précipitations utile à l'optimisation de la gestion des eaux pluviales en milieu urbain. Même si l'approche en termes de séquence pluvieuse permet une précision déjà pertinente pour l'hydrologue urbain, il n'est pas envisageable de se satisfaire d'une vision ponctuelle des précipitations, et il nous faut donc envisager l'étude des répartitions spatiales des précipitations sur la région étudiée.

En effet, si la connaissance de la hauteur, de la durée, de l'intensité maximale des précipitations, et de la durée de temps sec précédent est sans conteste primordiale pour l'amélioration de la gestion des eaux pluviales, d'autres paramètres tous aussi importants sont à prendre en compte : l'extension et la variabilité spatiale des précipitations. Ainsi, un épisode pluvieux intense à faible extension spatiale n'a évidemment pas le même impact sur les réseaux qu'un épisode de même intensité mais connaissant une large extension spatiale. De même, pour un volume moyen identique, il peut s'agir d'épisodes à variabilité spatiale diamétralement opposée qui engendreront des lames d'eau différentes.

L'approche spatiale réalisée ici est donc elle aussi tournée vers l'amélioration de la connaissance de la pluie dans l'objectif d'optimiser la gestion des eaux pluviales urbaines. Elle est basée sur un réseau de pluviomètres franco-belge, résultat de l'association de deux réseaux indépendants de part et d'autre de la frontière. Le choix d'un réseau de pluviomètres dépassant largement le cadre de l'agglomération lilloise se justifie par une volonté de replacer les précipitations affectant l'agglomération dans un contexte géographique plus vaste, et d'analyser les répartitions spatiales avec un nombre plus important de stations, dans la mesure où l'agglomération urbaine ne compte que trois pluviomètres.

Le premier chapitre localise les stations du réseau utilisé, composé de deux modèles différents de pluviomètres dont les caractéristiques sont détaillées. Les séries de la décennie 1982-1991 comportant quelques lacunes, il a fallu procéder au remplacement des valeurs manquantes en utilisant la méthode de la régression linéaire. Puis, la validité des données est vérifiée à l'aide de deux tests : test du double-cumul et test du cumul des résidus.

Le second chapitre entre dans le vif du sujet en analysant les répartitions spatiales des précipitations à l'échelle annuelle et en réalisant une analyse en composantes principales et une classification ascendante hiérarchique qui permettent de définir des zones de pluviosité homogène au sein de la région lilloise. Puis, l'analyse des précipitations mensuelles cherchera à définir le régime pluviométrique moyen de cette décennie pour la région lilloise dans son ensemble. Mais, c'est surtout l'analyse des précipitations journalières qui répond au mieux à nos préoccupations. C'est en effet, à cette échelle temporelle, qu'est approchée au mieux la réalité physique de la pluie. Ainsi, une typologie des jours pluvieux intégrant la dimension spatiale des précipitations est mise en place et permettra de distinguer les jours pluvieux selon le risque d'apparition de problèmes de gestion des eaux pluviales.

Par ailleurs, ces jours pluvieux s'organisent en séquences pluvieuses spatiales qui seront elles aussi classées selon leur impact sur les réseaux d'assainissement, les stations d'épuration ou le milieu naturel.

Enfin, même si ce réseau de pluviomètre permet une connaissance des répartitions spatiales des précipitations à diverses échelles temporelles, il semble être insuffisamment précis en regard des besoins de l'hydrologie urbaine, puisqu'il est impossible, avec un tel réseau, d'approcher les précipitations en terme d'intensités.

CHAPITRE 4

LA VALIDATION DES DONNEES, UNE ETAPE PRELIMINAIRE

4.1. PRESENTATION DES STATIONS DE MESURE.	139
4.1.1. LOCALISATION DES STATIONS.	139
4.1.2. SITES DES STATIONS.	140
4.1.3. L'EQUIPEMENT DES STATIONS.	143
4.2. LE REMPLACEMENT DES DONNEES MANQUANTES.	144
4.2.1. LE CHOIX DE LA METHODE.	144
4.2.2. LA METHODE DE LA REGRESSION LINEAIRE.	145
4.3. TESTS SUR LA VALIDITE DES DONNEES.	149
4.3.1. PREMIER TEST : LA METHODE DU DOUBLE-CUMUL.	149
4.3.2. SECOND TEST : LA METHODE DU CUMUL DES RESIDUS.	153

Ce chapitre comporte deux objectifs principaux : d'une part présenter le réseau de stations utilisé, et d'autre part, vérifier la validité des données après avoir comblé les lacunes dans les séries.

Les données utilisées dans les chapitres qui suivent sont des données journalières. Ce sont des données qui concernent 16 postes de mesure et qui comportaient des valeurs manquantes. La première partie de ce chapitre présente les stations de mesure, puis la seconde partie s'attache à remplacer les valeurs manquantes, et enfin, la troisième partie propose deux méthodes de vérification de la validité de l'ensemble des données.

Les stations étant situées de part et d'autre de la frontière franco-belge, il est utile de préciser les principales différences entre les appareils de mesure avant d'en venir au remplacement des valeurs manquantes.

4.1. PRESENTATION DES STATIONS DE MESURE.

La métropole lilloise étant une métropole transfrontalière, les stations de mesure des précipitations de la région lilloise et de ses environs se localisent aussi bien en France qu'en Belgique, et sont au nombre de 18. Parmi ces dernières, 16 stations ont été retenues et deux stations écartées : la station de Lille-ISA et la station de Lannoy, ces deux stations n'ayant pas fonctionné sur l'ensemble de la période étudiée (1982-1991) et connaissant des problèmes particuliers. En effet, la station de Lille-ISA (située dans le parc de l'I.S.A.¹) n'est fonctionnelle que depuis 1988, et présente en outre des imprécisions périodiques pendant les congés de fin de semaine ou les congés scolaires. Quant à elle, la station de Lannoy a été désinstallée en 1990, et il n'a pas été possible de localiser précisément cette station.

4.1.1. LOCALISATION DES STATIONS.

La Carte n°4 permet de connaître la localisation des stations au sein de la région lilloise dont le cadre est obtenu non pas uniquement sur des critères géographiques mais aussi délimité comme une zone comprenant les 16 postes de mesure retenus. Il est clair que les 3 stations situées dans l'agglomération ou à ses abords immédiats (Lambertart, Roubaix et Lesquin) ne peuvent suffire à y étudier la répartition spatiale des précipitations, et qu'il faut

¹Institut Supérieur d'Agronomie.

replacer cette zone urbaine dans un contexte géographique plus large pour y parvenir, d'où l'intérêt d'utiliser les 13 autres postes disponibles dans le secteur.

La zone ainsi délimitée a une surface de 2 200 km², ce qui donne une densité de un pluviomètre pour 140 km².

Si les quatre secteurs Nord-Est, Nord-Ouest, Sud-Ouest et Sud-Est comptent approximativement un même nombre de stations (respectivement 3, 4, 5 et 4), il faut noter que certaines zones sont mieux couvertes que d'autres. Ainsi les vallées de la Lys et de l'Escaut comptent respectivement 4 (Armentières, Comines, Menen et Courtrai) et 3 stations (Péronne-lez-Antoing, Antoing, et Kain) alors que l'agglomération elle-même n'en compte que 2 (Lambersart et Roubaix).

Par ailleurs, certaines stations très proches l'une de l'autre font quelque peu double-emploi (Cappelle - Mons en Pévèle, et Antoing - Péronne-lez-Antoing) alors que l'absence de station est regrettable entre Courtrai et Kain. L'existence d'une ou plusieurs stations dans ce secteur aurait en effet permis de pallier la carence du secteur Nord-Est et d'entourer de toute part l'agglomération lilloise. A ces lacunes dans le réseau, il est possible de trouver deux grandes explications : il s'agit, d'une part, pour une grande majorité, de pluviomètres relevés par des bénévoles, ce qui limite leur implantation, et d'autre part, de pluviomètres installés pour la gestion des voies navigables, et ce surtout en Belgique.

En d'autres termes, ce réseau ne doit nullement son existence à la volonté d'étudier la pluviométrie de la métropole lilloise, ce qui explique d'emblée les lacunes auxquelles il est soumis.

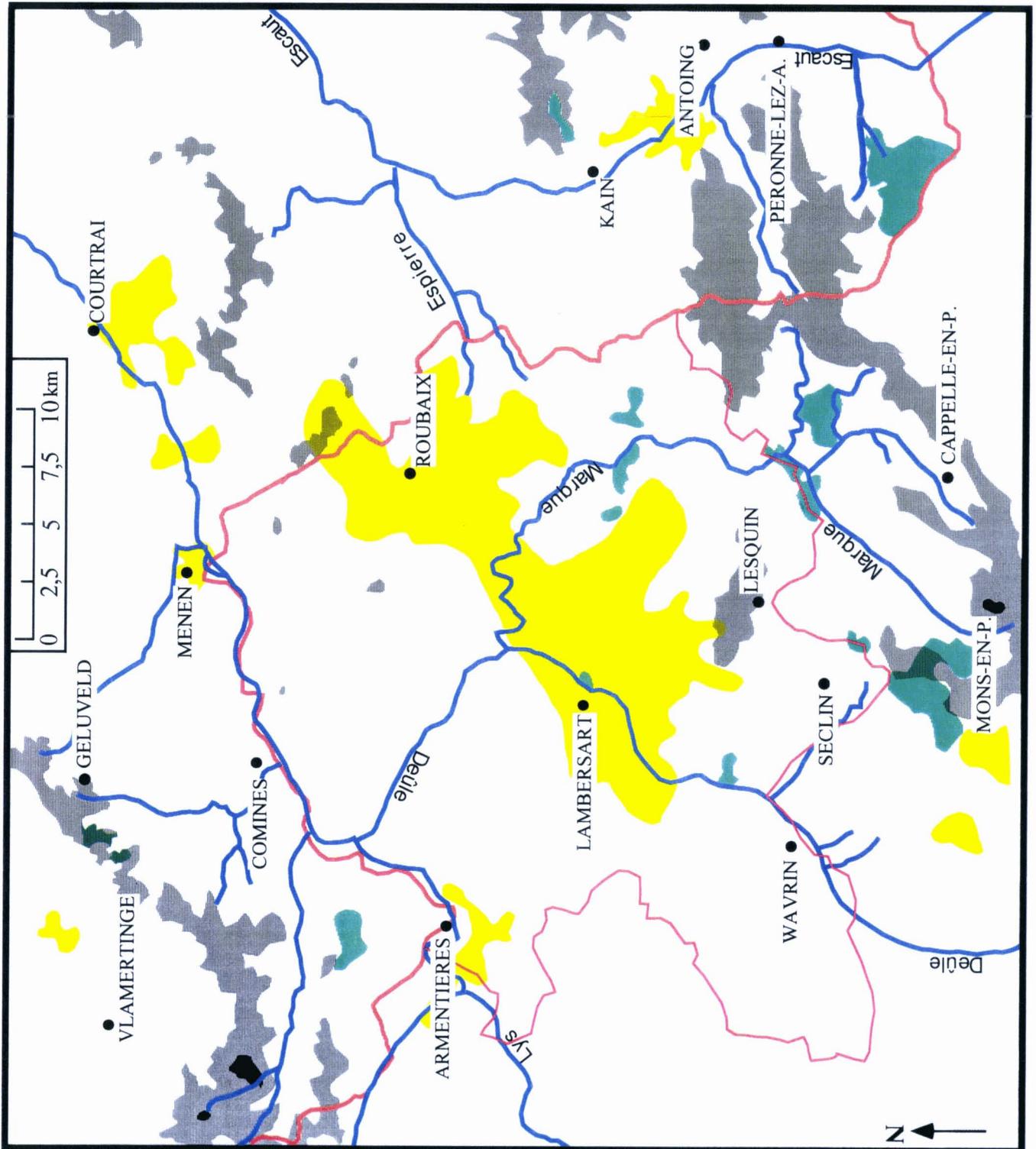
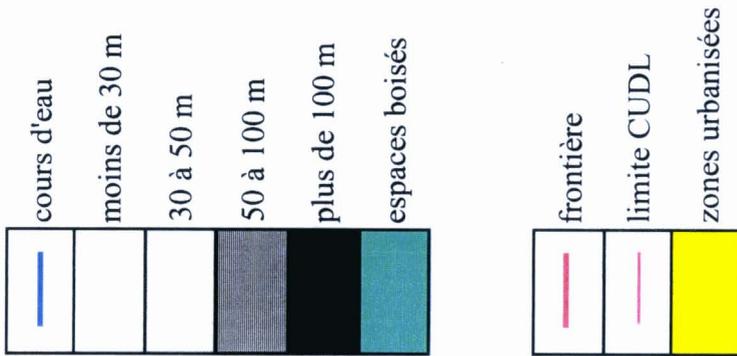
Le réseau de stations présenté ci-dessus comporte donc, comme bon nombre de réseaux, des inconvénients, tels que des stations trop proches l'une de l'autre, ou des stations "manquantes". Il faudra donc s'en contenter et estimer qu'il devrait cependant permettre d'approcher la répartition spatiale des précipitations de la région lilloise.

4.1.2. SITES DES STATIONS.

Avant d'évoquer l'équipement des stations, il est utile de situer le mieux possible chaque pluviomètre dans son environnement.

En Belgique, les sites ayant changé pour de nombreux pluviomètres, les informations sur les anciens sites (pendant la période 1982-1991) sont peu précises voire inexistantes.

Carte n°4 : Carte de localisation des stations.



En France, seuls deux pluviomètres ont été déplacés ou désinstallés : il s'agit de celui de Mons-en-Pévèle qui a été déplacé chez un particulier et qui est à l'heure actuelle situé sur le versant Sud du mont, alors qu'il était à son sommet auparavant, le pluviomètre de Seclin a été désinstallé, et il semblerait que ce pluviomètre a été déplacé plusieurs fois sans pour autant connaître de grandes modifications dans son site.

Tableau n°51 : Site des pluviomètres du réseau franco-belge.

Stations	Altitude	Site	Remarques
COURTRAI	11 m	écluse vallée de la Lys	barrière à quelques mètres du pluviomètre
ARMENTIERES	14 m	écluse vallée de la Lys	dans un jardin, haie assez haute à proximité et habitation (10 m de haut) à 8 m
COMINES	14 m	écluse vallée de la Lys	changement de site après 1985, haie à quelques mètres du pluviomètre
KAIN	17 m	à proximité d'une écluse vallée de l'Escaut	changement de site, mais aucune précision sur le site antérieur
VLAMERTINGE	17 m	station d'épuration de Dikkebus	changement de site, pas d'information sur l'ancien site
MENEN	18 m	écluse vallée de la Lys	changement de site en 1990, pas d'information sur le site
PERONNE-LEZ-A.	18 m	écluse vallée de l'Escaut	déplacement du pluviomètre de 500 m, en 1985, pas d'information sur le site antérieur
ANTOING	18 m	écluse vallée de l'Escaut	changement de site, pas d'information sur le site précédent
LAMBERSART	19 m	Parc des bureaux de la D.I.R.E.N. agglomération	pluviomètre entouré d'une clôture légère, présence d'arbres à proximité (10 m ou 20 m) et de bâtiments (20 m)
WAVRIN	24 m	Usine des Eaux du Nord, vallée de la Deûle	habitations (6 m de haut) à 12 m, un réservoir (4 m de haut) à 15 m
ROUBAIX	30 m	Serres municipales agglomération	au Sud, bâtiment (3.5 m de haut) à 13 m, autres secteurs dégagés
SECLIN	40 m	sucrerie	site désinstallé en 1991, bâtiment de l'usine à 30 m (hauteur 15 m)
GELUVELD	42 m	dans un jardin chez un particulier	haie de 2 m de haut à 4 m du pluviomètre
LESQUIN	47 m	station météorologique	parc d'instruments entouré d'une clôture légère, bâtiments à 50 m
CAPPELLE-EN-P.	52 m	Etablissement de semences sélectionnées	bâtiments à 60 m, secteurs NW à NE, haie de 1 m à 10 m
MONS-EN-P.	107 m	Signal au Mont Château d'eau	changement de site en 1990, clôture à 5 m et petit bâtiment (2.5m) à 3 m

Dans l'ensemble les pluviomètres sont localisés dans des sites corrects, bien qu'ils ne soient pas aux normes O.M.M., et ils sont placés le mieux possible vis-à-vis des contraintes de protection de l'appareil.

Ces stations sont équipées de types d'appareils différents selon le pays où elles se situent, ces deux types de pluviomètres sont présentés au paragraphe suivant.

4.1.3. L'EQUIPEMENT DES STATIONS.

Le réseau de pluviomètres, constitué ici en utilisant à la fois le réseau français et le réseau belge, comporte une seule station météorologique (Lesquin) et 15 stations "bénévoles". Les données relevées dans ces 15 stations sont centralisées par les organismes météorologiques (Météo-France et l'Institut Royal Météorologique de Belgique) qui les contrôlent, bien que les observateurs soient bénévoles.

En termes d'équipement, seule une station est équipée par un pluviographe, il s'agit de Lesquin, les autres stations sont équipées de pluviomètres du type SPIEA MN en France et du type IRM P50 en Belgique. Les particularités de ces deux types de pluviomètres sont précisées dans le tableau suivant et à l'Annexe n°7.

Tableau n°52 : Description technique des 2 types de pluviomètres constituant le réseau.

Nom	Matériel constituant	Profondeur du collecteur	Hauteur totale de la jauge	Aire de l'orifice
SPIEA MN	Plastique	14 cm	44 cm	400 cm ²
IRM P50	Acier inoxydable	11 cm	35 cm	100 cm ²

D'après SEVRUK B. (1989), la perte par mouillage du cône de réception (wetting loss) serait d'autant plus importante que le rapport entre la surface totale du cône de réception et l'aire de l'orifice du cône est grand; ce rapport est de 2.9 pour le pluviomètre IRM P50 et de 2 pour le pluviomètre SPIEA MN.

Par contre, la perte par évaporation (evaporation loss) est moindre pour le pluviomètre belge puisqu'il dispose d'un container de protection pour le récipient collectant la pluie, ce qui n'est pas le cas du modèle SPIEA MN français. Si dans leur article, SEVRUCK B. et KLEMM S. (1989) placent le pluviomètre belge dans une catégorie de pluviomètres pour laquelle l'évaporation est généralement faible et assimilable à la courbe 2 (Annexe n°8), ils ne donnent pas la catégorie à laquelle appartient le pluviomètre français, ce qui ne permet pas de faire une comparaison précise entre ces deux pluviomètres.

Enfin, ces auteurs soulignent qu'un pluviomètre équipé d'une protection contre le vent (comme le pluviomètre belge) est moins soumis à l'erreur de déficit de captation des précipitations induite par le vent, particulièrement en hiver lors des chutes de neige.

Finalement, le pluviomètre belge semble permettre une meilleure mesure de la pluie car si la perte induite par le mouillage du cône de réception est plus forte que pour le pluviomètre français, les pertes par évaporation et par l'influence du vent semblent assez faibles.

Le déficit du pluviomètre français par rapport au pluviomètre belge est difficile à déterminer avec certitude. En effet, si PONCELET L. (1954), qui a comparé plusieurs types de pluviomètres européens (belge, anglais, allemand et français), estime ce déficit à environ 7% pour le pluviomètre Association (présentant des caractéristiques proches de celles du SPIEA), COSANDEY C. (1982) ramène ce déficit à 5 %.

Il serait vain de vouloir corriger les données des pluviomètres français ou belges, et il paraît donc préférable de se rallier à l'opinion de MAIRE G. (1977) qui disait : "le but de la mesure des précipitations sur une région donnée doit être la recherche d'indices de pluviosité, et non pas l'inutile et l'illusoire quête des décimales", et donc d'utiliser les données telles qu'elles sont, en ayant soin auparavant de procéder au remplacement des valeurs manquantes et à la validation des données.

Pour remplacer les valeurs manquantes, les données des stations françaises et de l'I.R.M. de Belgique ont été regroupées. Ce sont des données journalières, les pluviomètres étant relevés une fois par jour (généralement entre 6 et 8 H TU). Chaque donnée manquante a été remplacée en utilisant la méthode de la régression linéaire. Cette méthode comprenant quatre étapes est décrite au paragraphe suivant.

4.2. LE REMPLACEMENT DES DONNEES MANQUANTES.

4.2.1. LE CHOIX DE LA METHODE.

Avant de présenter la méthode utilisée, il faut préciser qu'une autre méthode a été initialement entreprise, puis par la suite abandonnée pour la méthode exposée ci-après. Cette première méthode, qui avait le mérite d'être simple et facile à mettre en oeuvre, comportait plusieurs inconvénients.

Il s'agissait en fait de remplacer les données manquantes par la moyenne des données des autres stations ayant fonctionné. Cette méthode d'une franche simplicité est néanmoins entachée, comme il est précisé plus haut, de quelques inconvénients.

Le premier type d'inconvénient tient à la définition même de la moyenne qui est influencée par les valeurs extrêmes, et ceci est d'autant plus gênant que l'intervalle dans lequel se situent les valeurs est grand. La valeur manquante est alors remplacée en quelque sorte par un "amalgame" des données des postes environnants sans aucune prise en compte de la variabilité spatiale des hauteurs précipitées.

Le deuxième type d'inconvénient se présente lorsque plusieurs stations comportent une donnée manquante le même jour.

Chaque donnée manquante est remplacée par une seule et unique valeur, la moyenne des autres stations, et ce quelque soit le site et l'environnement des stations concernées. En d'autres termes, à chaque valeur manquante se substitue une valeur identique alors qu'en réalité ces valeurs ont une forte probabilité d'être différentes. Le fait d'avoir des valeurs identiques pour plusieurs stations, et ceci de manière artificielle biaise l'analyse ultérieure de la variabilité spatiale des précipitations.

Devant de tels inconvénients, il semblait opportun de chercher une autre méthode ne comportant pas de tels handicaps d'où l'utilisation de la méthode de la régression linéaire.

4.2.2. LA METHODE DE LA REGRESSION LINEAIRE.

Cette méthode exposée par LLAMAS J. (1993) comporte quatre étapes :

La première étape consiste à extraire les journées ne comportant aucun manque. L'échantillon, extrait d'une population de 3652 individus, a un effectif de 3153 individus.

Sur l'ensemble de la décennie étudiée et pour les 16 stations, 500 journées sont donc concernées par une donnée manquante pour au moins une station.

La seconde étape est celle du calcul des coefficients de corrélation entre les stations. Puisque 16 stations sont utilisées, la matrice des corrélations comporte 120 coefficients, soit $(16*15)/2$ (Tableau n°53).

La matrice des coefficients de corrélation est une matrice symétrique c'est pourquoi seule la moitié de la matrice est présentée.

Ces coefficients se situent dans l'intervalle [0.67-0.95], soit d'une corrélation médiocre à une bonne corrélation.

Dans les tableaux qui suivent, l'abréviation des noms des stations correspond aux trois premières lettres du nom de la station.

Tableau n°53 : Matrice des coefficients de corrélation.

	ARM	CAP	LAM	LES	MON	ROU	SEC	WAV	ANT	COM	COU	GEL	KAIN	MEN	PER	VLA
ARM	1.00															
CAP	0.74	1.00														
LAM	0.84	0.78	1.00													
LES	0.80	0.86	0.87	1.00												
MON	0.70	0.84	0.76	0.84	1.00											
ROU	0.79	0.78	0.85	0.83	0.70	1.00										
SEC	0.80	0.83	0.84	0.91	0.81	0.78	1.00									
WAV	0.83	0.74	0.78	0.79	0.71	0.72	0.82	1.00								
ANT	0.75	0.81	0.78	0.84	0.75	0.76	0.81	0.72	1.00							
COM	0.90	0.72	0.82	0.80	0.67	0.80	0.77	0.78	0.75	1.00						
COU	0.81	0.70	0.82	0.79	0.68	0.84	0.76	0.69	0.77	0.84	1.00					
GEL	0.87	0.71	0.81	0.80	0.68	0.80	0.77	0.74	0.74	0.89	0.83	1.00				
KAIN	0.78	0.81	0.84	0.87	0.76	0.83	0.84	0.77	0.90	0.79	0.82	0.79	1.00			
MEN	0.84	0.70	0.81	0.78	0.67	0.84	0.75	0.70	0.75	0.87	0.87	0.86	0.79	1.00		
PER	0.73	0.80	0.76	0.82	0.73	0.75	0.80	0.72	0.95	0.72	0.75	0.73	0.88	0.74	1.00	
VLA	0.85	0.68	0.78	0.76	0.67	0.76	0.74	0.70	0.70	0.84	0.78	0.87	0.74	0.80	0.68	1.00

La troisième étape aboutit à la définition des droites de régression dont les paramètres "a" et "b" sont calculés selon la méthode "des moindres carrés" (Tableaux n°54 et 55).

Dans les tableaux qui suivent, les abscisses "X" sont en colonnes, les ordonnées "Y" sont en lignes.

Tableau n°54 : Paramètre "a" des droites de régression de X en Y.

	ARM	CAP	LAM	LES	MON	ROU	SEC	WAV	ANT	COM	COU	GEL	KAIN	MEN	PER	VLA
ARM	-	0.71	0.81	0.76	0.69	0.71	0.84	0.77	0.69	0.79	0.71	0.78	0.74	0.76	0.65	0.77
CAP	0.76	-	0.77	0.84	0.85	0.73	0.91	0.71	0.77	0.65	0.64	0.66	0.80	0.65	0.74	0.64
LAM	0.88	0.78	-	0.85	0.76	0.80	0.92	0.75	0.74	0.74	0.74	0.75	0.83	0.76	0.71	0.74
LES	0.86	0.89	0.89	-	0.88	0.79	1.02	0.78	0.81	0.74	0.74	0.76	0.88	0.75	0.79	0.74
MON	0.72	0.84	0.75	0.81	-	0.65	0.88	0.67	0.71	0.60	0.61	0.62	0.74	0.62	0.67	0.62
ROU	0.88	0.84	0.91	0.86	0.76	-	0.91	0.74	0.77	0.78	0.82	0.79	0.88	0.85	0.75	0.76
SEC	0.76	0.76	0.77	0.81	0.75	0.67	-	0.72	0.71	0.64	0.63	0.65	0.76	0.65	0.68	0.64
WAV	0.90	0.77	0.81	0.80	0.74	0.70	0.93	-	0.72	0.73	0.65	0.71	0.79	0.69	0.69	0.68
ANT	0.82	0.85	0.82	0.85	0.80	0.75	0.93	0.73	-	0.71	0.73	0.72	0.93	0.74	0.93	0.69
COM	1.02	0.79	0.90	0.86	0.74	0.82	0.93	0.82	0.78	-	0.84	0.91	0.86	0.90	0.74	0.87
COU	0.92	0.78	0.90	0.85	0.75	0.87	0.91	0.74	0.81	0.84	-	0.85	0.90	0.90	0.77	0.81
GEL	0.97	0.77	0.88	0.84	0.74	0.81	0.91	0.77	0.76	0.87	0.82	-	0.84	0.88	0.73	0.88
KAIN	0.83	0.83	0.86	0.86	0.78	0.79	0.93	0.75	0.87	0.73	0.76	0.74	-	0.76	0.83	0.70
MEN	0.93	0.74	0.86	0.81	0.71	0.84	0.87	0.72	0.76	0.84	0.84	0.85	0.83	-	0.74	0.79
PER	0.81	0.86	0.81	0.85	0.79	0.75	0.93	0.74	0.97	0.70	0.72	0.72	0.93	0.75	-	0.69
VLA	0.95	0.74	0.84	0.80	0.72	0.76	0.87	0.72	0.71	0.82	0.76	0.87	0.78	0.80	0.68	-

Tableau n°55 : Paramètre "b" des droites de régression de X en Y.

	ARM	CAP	LAM	LES	MON	ROU	SEC	WAV	ANT	COM	COU	GEL	KAIN	MEN	PER	VLA
ARM	-	4.53	3.28	3.38	5.81	4.10	3.31	3.66	4.11	2.98	3.54	2.51	3.67	3.18	4.11	3.09
CAP	5.07	-	4.80	2.61	3.73	4.60	2.98	5.72	3.30	5.80	5.78	5.74	3.49	6.07	3.06	6.38
LAM	2.32	3.40	-	1.71	4.52	2.60	2.03	4.15	3.13	3.20	2.91	3.06	2.11	3.29	3.09	3.81
LES	3.86	2.53	3.13	-	3.77	3.91	1.45	4.78	2.84	4.38	4.16	4.19	2.42	4.59	2.65	5.04
MON	4.65	1.88	4.12	1.97	-	4.99	2.33	5.21	3.31	5.65	5.32	5.24	3.50	5.60	3.38	5.67
ROU	3.56	3.53	2.90	2.80	5.88	-	3.44	5.62	3.76	3.83	2.67	3.59	2.61	2.88	3.61	4.61
SEC	3.78	3.01	3.48	1.73	4.09	4.42	-	4.12	3.13	4.55	4.56	4.38	2.87	4.78	2.98	5.06
WAV	2.27	3.98	3.76	2.94	5.30	4.81	2.29	-	3.99	3.81	5.07	4.22	3.32	5.09	3.73	5.27
ANT	5.44	4.06	5.35	3.65	5.93	5.62	3.86	6.58	-	5.86	5.10	5.69	2.32	5.69	0.45	6.75
COM	1.54	5.02	3.66	3.41	6.78	3.96	3.72	4.75	4.14	-	2.81	1.87	3.50	2.44	4.19	3.11
COU	3.80	5.75	4.12	3.96	7.03	3.55	4.51	6.79	4.08	3.61	-	3.45	3.23	2.9	4.13	4.82
GEL	2.38	5.40	4.01	3.72	6.74	4.21	4.02	5.63	4.45	2.44	3.19	-	3.78	2.85	4.35	2.78
KAIN	4.26	3.55	3.63	2.54	5.37	3.84	2.87	5.21	1.65	4.55	3.60	3.34	-	4.43	1.53	5.56
MEN	2.76	5.38	3.87	3.77	6.72	3.14	4.11	6.10	4.07	2.61	2.28	2.45	3.50	-	3.83	4.03
PER	6.58	4.96	6.45	4.62	7.12	6.62	4.84	7.46	1.64	7.03	6.28	6.73	3.38	6.60	-	7.80
VLA	2.29	5.40	4.08	3.90	6.49	4.50	4.12	5.97	4.86	2.90	3.81	2.03	4.39	3.69	4.79	-

La quatrième étape est celle du remplacement des données manquantes en utilisant la droite de régression obtenue avec la station la mieux corrélée, (Tableau n°56). Les stations belges ne présentent pas de valeurs manquantes, seules sont donc concernées les stations françaises.

Dans un premier temps, il faut choisir les couples de stations, et donc tenir compte des meilleurs coefficients de corrélation.

Le tableau suivant donne les équations de droites de régression employées dans le remplacement des valeurs manquantes.

Tableau n°56 : Droites de régression utilisées pour le remplacement des valeurs manquantes.

Couple de stations	Coefficient de corrélation	Droite de régression
ARM-COM	0.90	$Y = 0.79X + 2.98$
CAP-LES	0.86	$Y = 0.84X + 2.61$
LAM-LES	0.87	$Y = 0.85X + 1.71$
LES-SEC	0.91	$Y = 1.02X + 1.45$
MON-CAP	0.84	$Y = 0.84X + 1.88$
ROU-LAM	0.85	$Y = 0.91X + 2.90$
ROU-MEN	0.84	$Y = 0.85X + 2.88$
SEC-LES	0.91	$Y = 0.81X + 1.73$
WAV-ARM	0.83	$Y = 0.90X + 2.27$
WAV-SEC	0.82	$Y = 0.93X + 2.29$

Pour deux stations (Roubaix et Wavrin) sont indiquées deux équations de droites de régression, la première est celle communément utilisée, la seconde n'est qu'une équation de remplacement quand la station de référence (ici Lambersart ou Armentières) comporte elle aussi, le même jour, une donnée manquante, ceci afin d'éviter l'enchaînement de valeurs calculées.

A la suite du remplacement des valeurs manquantes selon les équations indiquées ci-dessus, il est possible de chiffrer le gain d'information, et il est même nécessaire de contrôler que le remplacement des valeurs manquantes enrichit la population étudiée.

LLAMAS J. (1993) présente plusieurs moyens de calculer le gain d'information noté I. Le calcul réalisé ici est celui proposé par THOMAS H.A. (1958)² :

$$I = \left[1 - \frac{N2}{(N1 + N2)} \left(\frac{(N1 - 2)R^2}{(N1 - 3)} \right) \right]^{-1} \quad (1)$$

où N1 est l'échantillon original,
N2 l'échantillon des valeurs remplacées,
et R le coefficient de corrélation.

Pour qu'il y ait gain d'information, il faut que $I \geq 1$. A partir de cette formule (1), I a donc été calculé pour chaque station (Tableau n°57).

Tableau n°57 : Valeurs nécessaires au calcul de I et valeurs de I pour chaque station.

	N1	N2	R	I
ARM	3490	162	0.90	1.04
CAP	3633	19	0.86	1.00
LAM	3612	40	0.87	1.01
LES	3650	2	0.91	1.00
MONS	3497	153	0.84	1.03
ROU	3580	72	0.85	1.01
SEC	3596	56	0.91	1.01
WAV	3619	33	0.83	1.01

²in LLAMAS J. [1993] p.146.

Les valeurs de I étant toutes supérieures ou égales à 1, le remplacement des valeurs manquantes par la méthode de la régression est satisfaisant. Il est clair que la faiblesse des valeurs de I est liée au faible nombre de valeurs manquantes. En effet, jusqu'à une certaine limite, l'accroissement de N2 se répercute dans le même sens sur I.

En définitive, cette méthode de remplacement des valeurs manquantes se révèle plus adaptée que la première méthode envisagée, et par ailleurs, elle comporte la possibilité de contrôler la présence ou l'absence de gain d'information.

Plus adaptée, parce qu'elle induit d'utiliser la station la mieux corrélée, soit une station dont le "comportement" est proche, cette méthode présente aussi l'avantage d'être beaucoup plus réaliste que la première, c'est-à-dire de tenir compte de la variabilité géographique des précipitations.

Une fois effectué le remplacement des valeurs manquantes, il est nécessaire, avant toute analyse des données, de procéder à quelques tests de validité. C'est pourquoi deux tests ont été choisis et effectués : le premier étant le test du double cumul, et le second, plus puissant, le test du cumul des résidus.

4.3. TESTS SUR LA VALIDITE DES DONNEES.

Le contrôle de la validité des données, étape incontournable, est ici réalisé à l'aide de deux tests, le deuxième complétant le premier. La méthode du double-cumul, communément employée en hydrométéorologie, a l'avantage d'être simple et de détecter les anomalies les plus flagrantes. Mais, il est important de lui adjoindre une méthode plus efficace : la méthode du cumul des résidus.

4.3.1. PREMIER TEST : LA METHODE DU DOUBLE-CUMUL.

Dans cette méthode, explicitée dans le cours de BOIS P. (1987), une station possédant n valeurs Xi est testée à l'aide d'un index spatial prenant n valeurs Yi correspondant à la même période. Cet index spatial peut être soit une station dont les données sont extrêmement fiables, ou la moyenne des valeurs mesurées aux stations voisines. C'est ce deuxième type d'index spatial qui a été utilisé ici.

Le test est réalisé avec des données annuelles sur la période 1982 - 1991. On calcule donc :

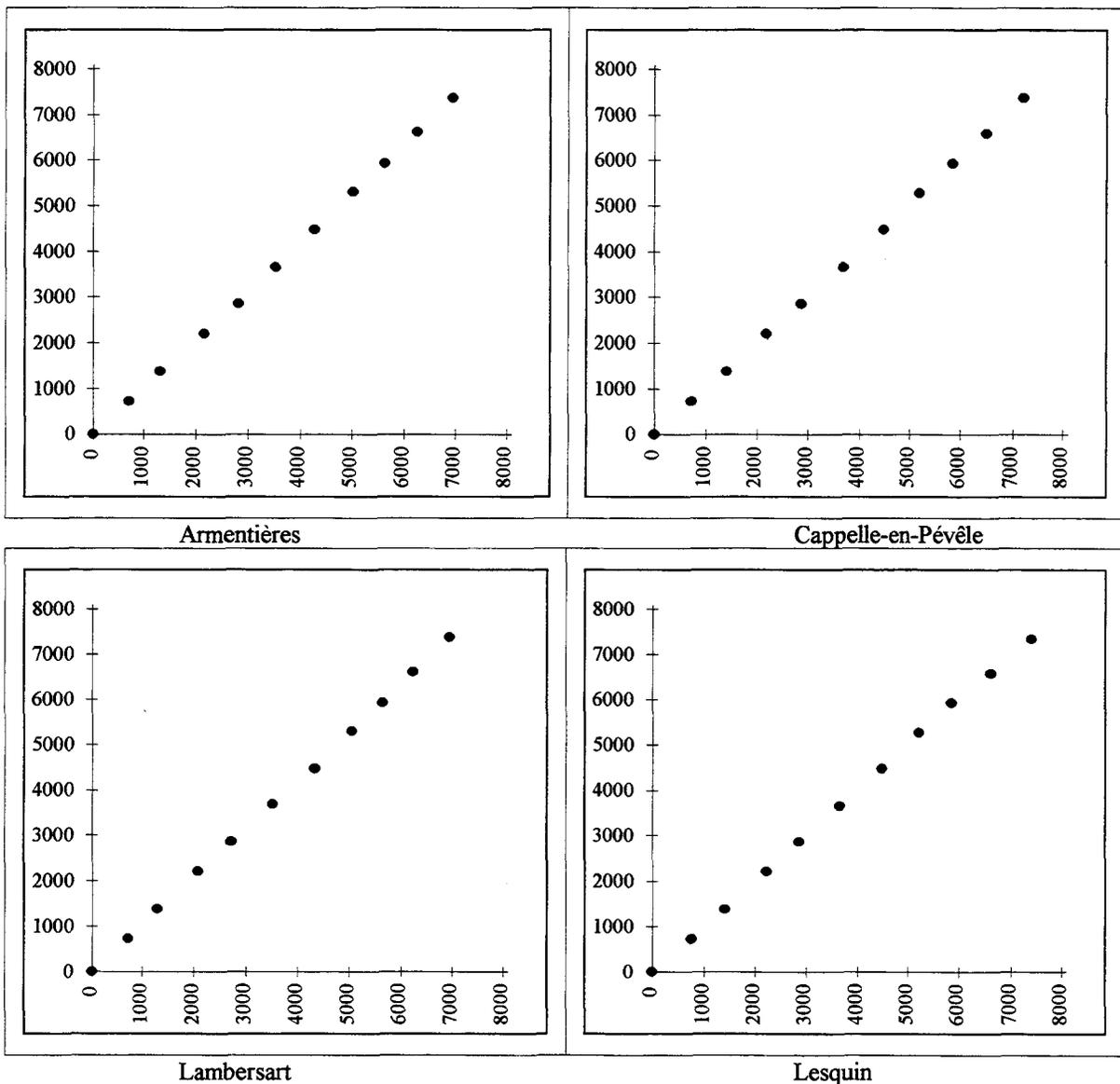
$$X = \sum X_i \quad \text{et} \quad Y = \sum Y_i \quad (2)$$

Les points de coordonnées (X, Y) sont ensuite tracés sur un graphique cartésien. Si une erreur systématique importante par rapport à l'index spatial (moyenne des valeurs des stations voisines) se produit à partir d'une date donnée, apparaît un changement de pente.

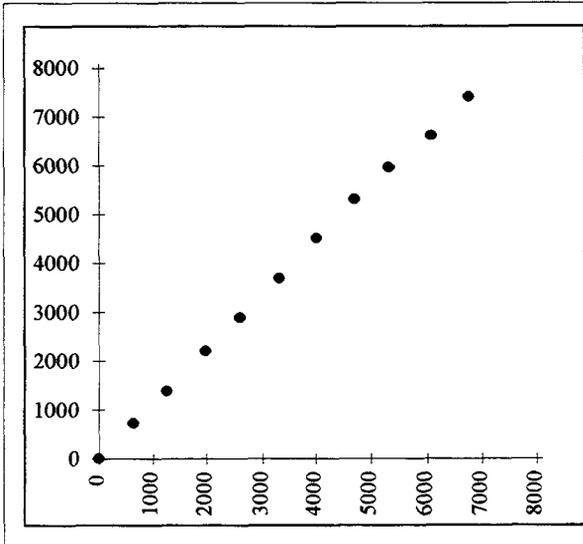
Chaque station retenue a fait l'objet de ce test, les résultats sont présentés par un tableau (Annexe n°9) et par les graphiques obtenus (Graphique n°43) puisque ce sont surtout les graphes qui permettent de connaître le résultat du test.

Au vu des graphes, l'ensemble des stations présente des données correctes puisque toutes affichent une seule droite, soit une pente constante. Cette méthode a l'avantage d'être rapide, simple à mettre en oeuvre et d'avoir des résultats faciles à interpréter.

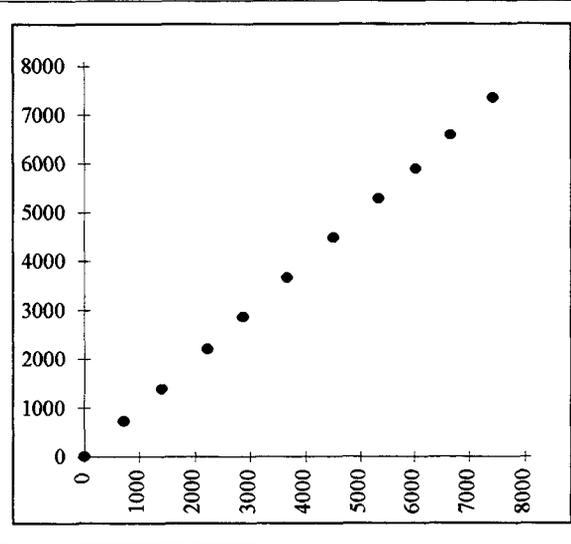
Graphique n°43 : Résultats du test du double cumul : présentation graphique.



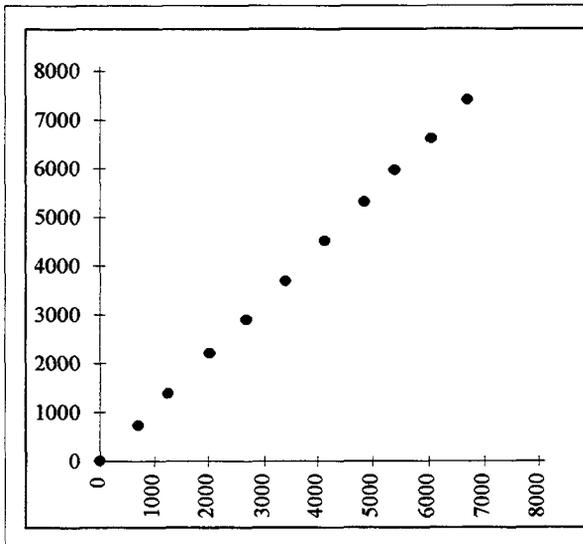
DEUXIEME PARTIE - CHAPITRE 4



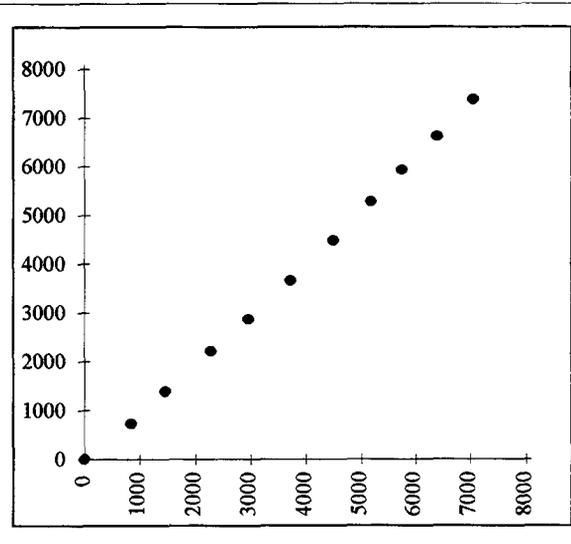
Mons-en-Pévèle



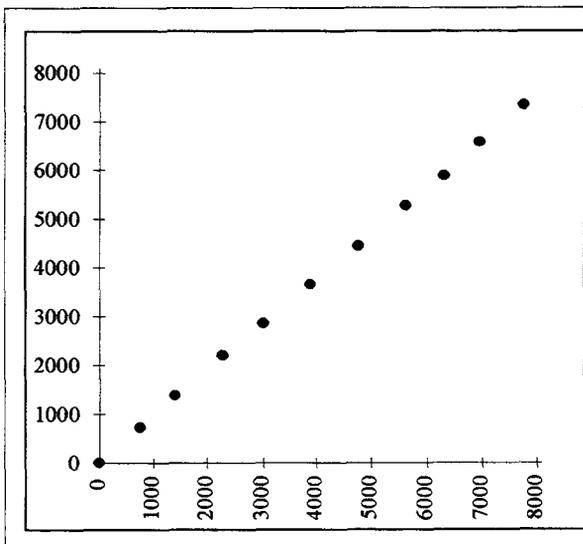
Roubaix



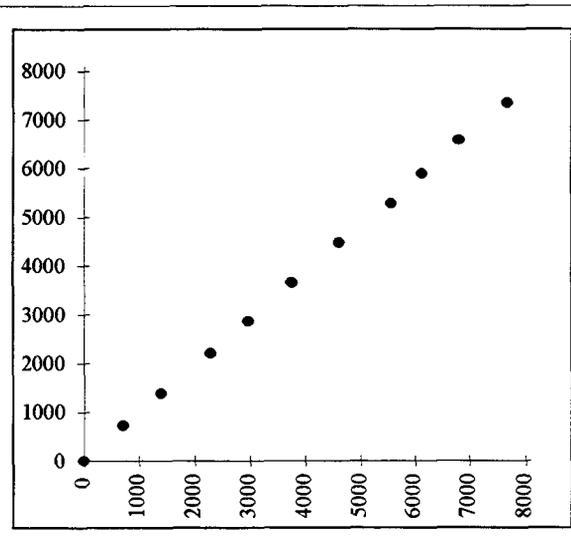
Seclin



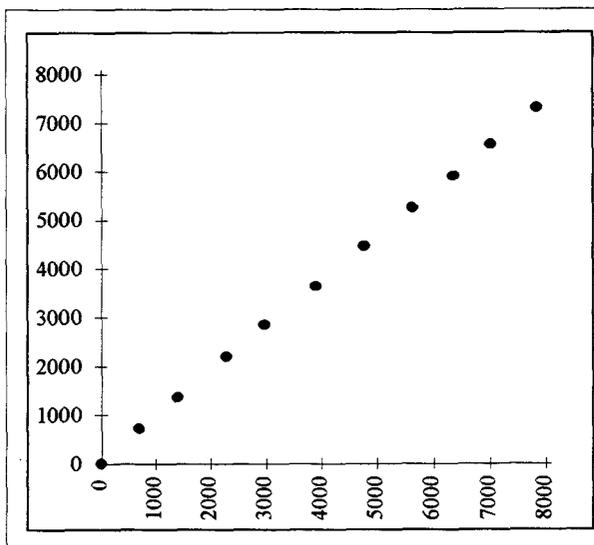
Wavrin



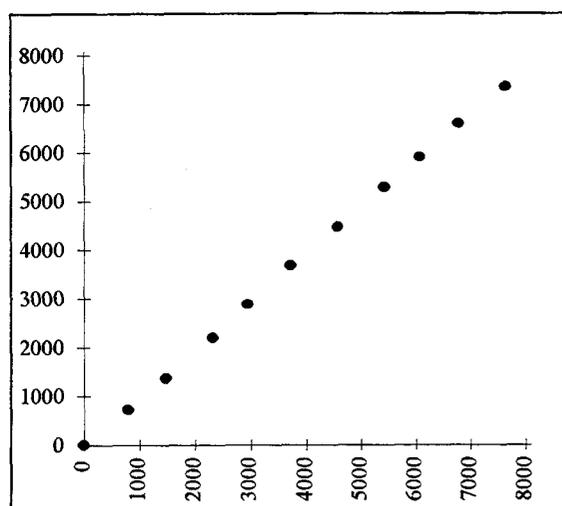
Antoing



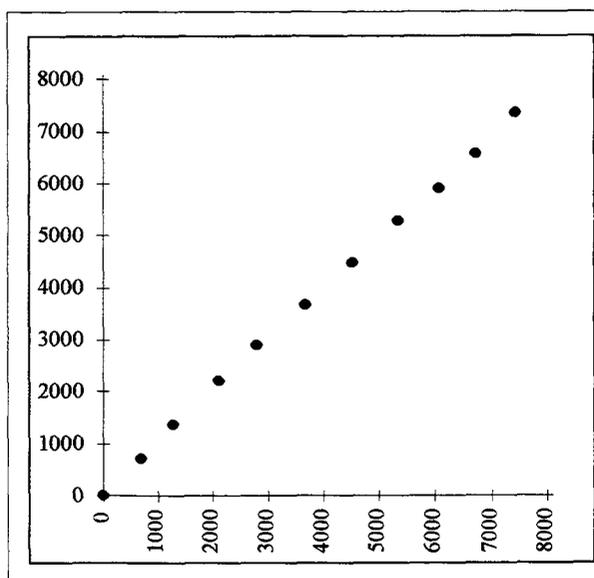
Comines



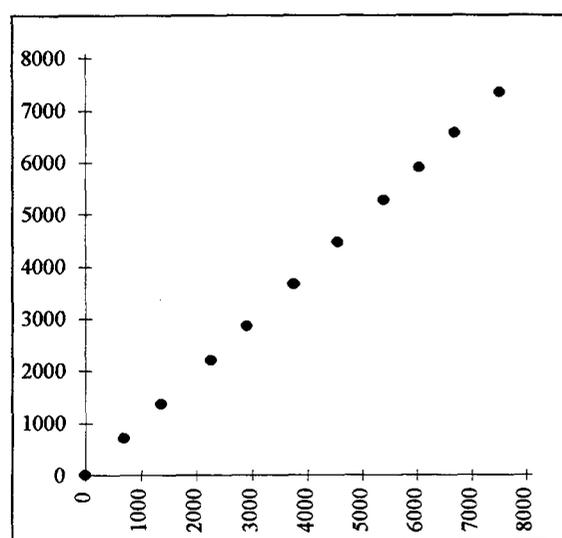
Courtrai



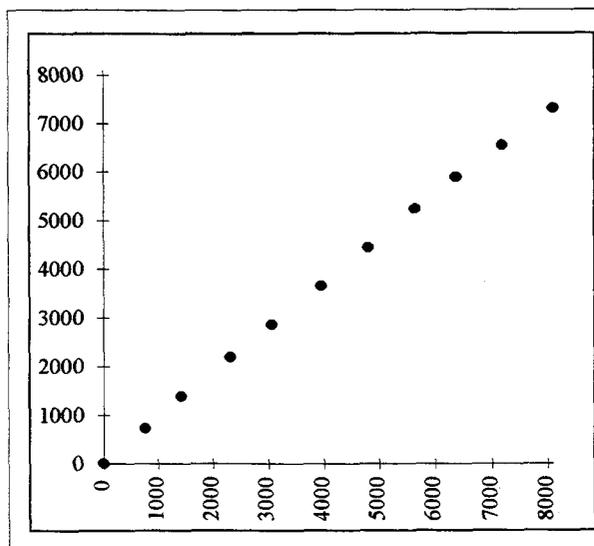
Geluvelde



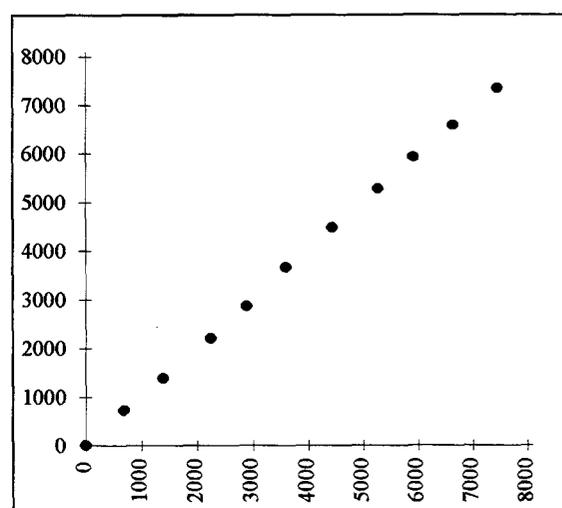
Kain



Menen



Péronne-lez-Antoing



Vlamertinge

Si cette méthode est simple, elle a néanmoins pour grand défaut de comparer les valeurs à une moyenne, alors qu'il faudrait plutôt comparer l'erreur à l'écart-type. C'est pourquoi, une autre méthode "plus puissante" a été appliquée pour vérifier la validité des données; cette méthode étant celle du cumul des résidus.

4.3.2. SECOND TEST : LA METHODE DU CUMUL DES RESIDUS.

Il faut savoir que toute anomalie détectée avec la méthode précédente l'est aussi par la méthode du cumul des résidus, l'inverse n'étant pas vrai dans tous les cas.

Ce sont les mêmes données X_i et Y_i qui sont utilisées pour cette méthode, présentée dans le cours de BOIS P (1987), et à partir desquelles est extraite la série des résidus E_i :

$$E_i = [X_i - r S_x] / [S_y(Y_i - Y) - X] \quad (3)$$

où r est le coefficient de corrélation entre X et Y , et S_x et S_y les écart-types des séries X et Y .

Ces résidus E_i sont ensuite cumulés :

$$Z_i = \sum E_i \quad (4)$$

Ainsi, $Z_0 = 0, Z_1 = E_1, \dots, Z_n = 0$.

Cette variable Z trace un chemin AB aléatoire et le point courant M doit se trouver à l'intérieur d'une ellipse. Pour j donné, la loi de probabilité de Z_j est une loi normale de moyenne 0 et d'écart-type S_j :

$$S_j = S_\varepsilon \sqrt{[j (n - j) / (n - 1)]} \quad (5)$$

où $S_\varepsilon = S_y \sqrt{(1 - r^2)}$ est l'écart-type résiduel.

Si le seuil de probabilité f est fixé, Z_j a une probabilité $(1 - f)$ de se trouver à l'intérieur du segment $A_j B_j$ centré sur l'axe des j :

$$A_j B_j = t(f) S_\varepsilon \sqrt{[j (n - j) / (n - 1)]} = t(f) S_j \quad (6)$$

où $t(f)$ est la variable de Student.

Les points $A_j B_j$ dessinent une ellipse critique du cumul qui ne doit être franchie que rarement. La probabilité choisie ici est de 1%, ce qui veut dire que la probabilité que Z_j soit à

l'intérieur de l'ellipse est de 99 %. La valeur de $t(f)$ prise dans la table des centiles pour la distribution t de Student sera dans la colonne $t = 0.99$. Reste à choisir le nombre de degrés de liberté, ici fixé à 3. Ainsi la valeur de $t(f)$ est de 4.54.

Pour chaque station, ont été calculés les E_i , puis les Z_i et enfin les $A_j B_j$, et les graphes correspondants ont été réalisés (Graphique n°44).

L'observation des résultats du test du cumul des résidus permet de distinguer :

- les stations sans anomalie, au nombre de 12 (Armentières, Lambersart, Lesquin, Mons-en-Pévèle, Roubaix, Seclin, Antoing, Comines, Geluvel, Kain, Menen et Vlamertinge);

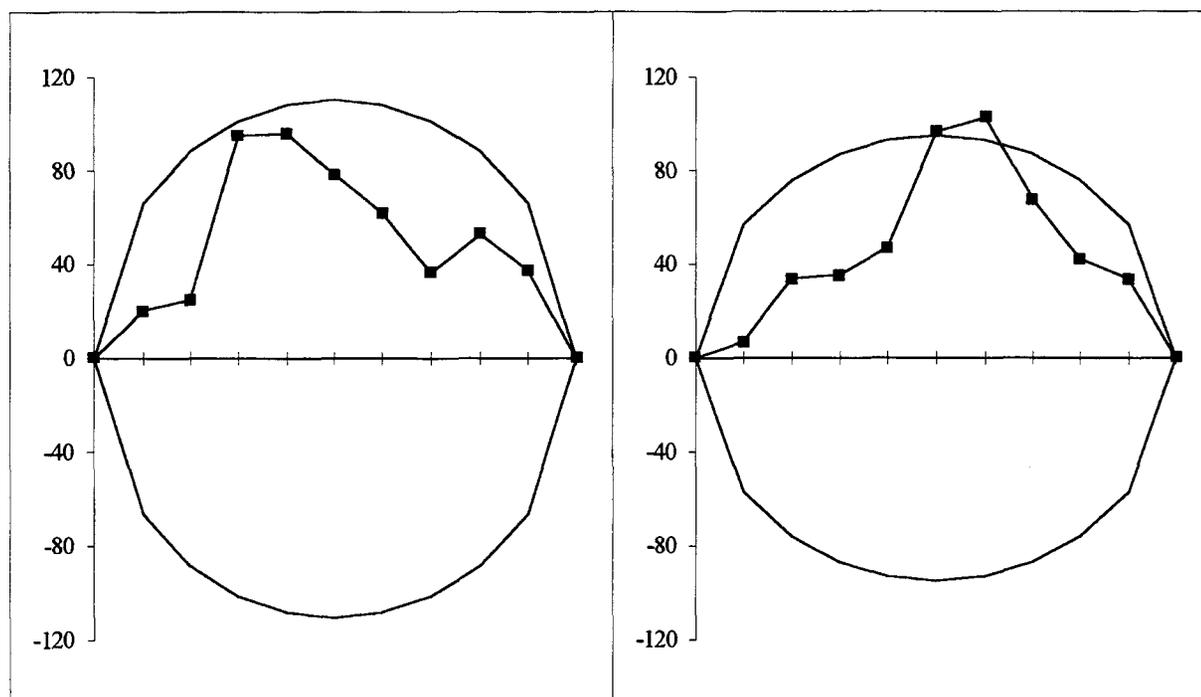
- les stations avec anomalie, au nombre de 4 (Cappelle-en-Pévèle, Wavrin, Courtrai, Péronne-lez-Antoing).

Parmi les stations présentant une anomalie, seules les stations de Cappelle-en-Pévèle et Péronne-lez-Antoing montrent une anomalie quelque peu prononcée, alors que les autres stations affichent au contraire, une anomalie presque négligeable.

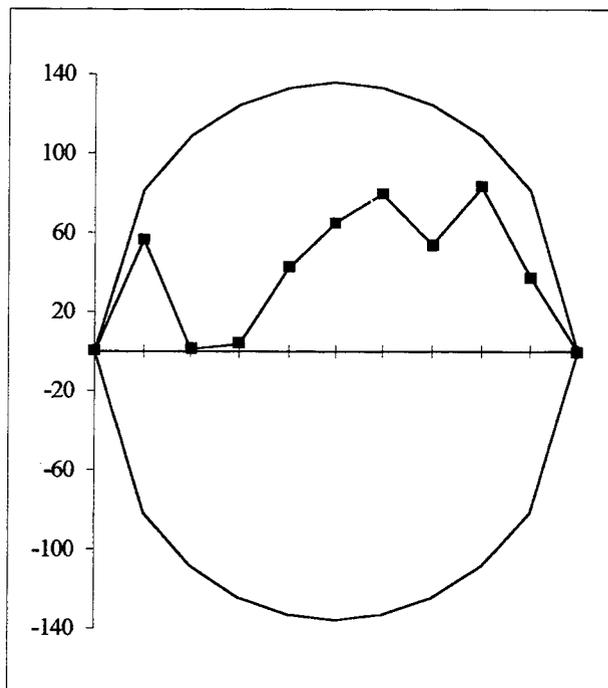
Graphique n°44 : Méthode du cumul des résidus, ellipse critique du cumul calculée pour une probabilité de 99 % avec 3 degrés de liberté.

ARMENTIERES

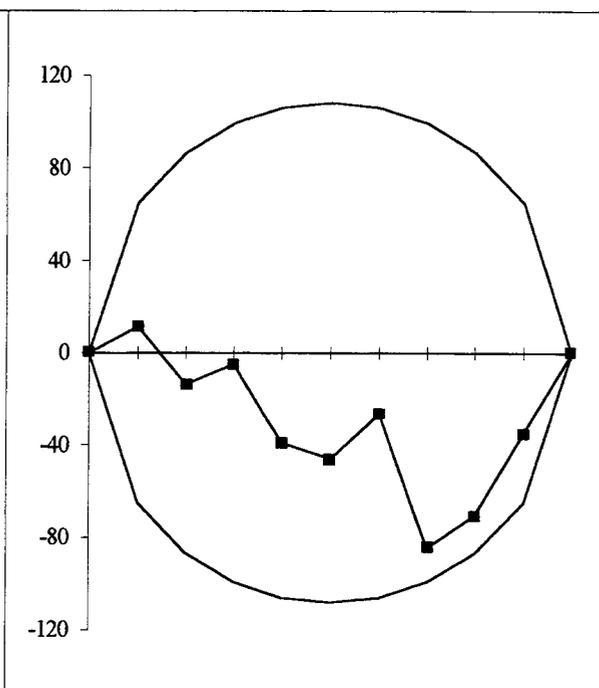
CAPPELE-EN-PEVELE



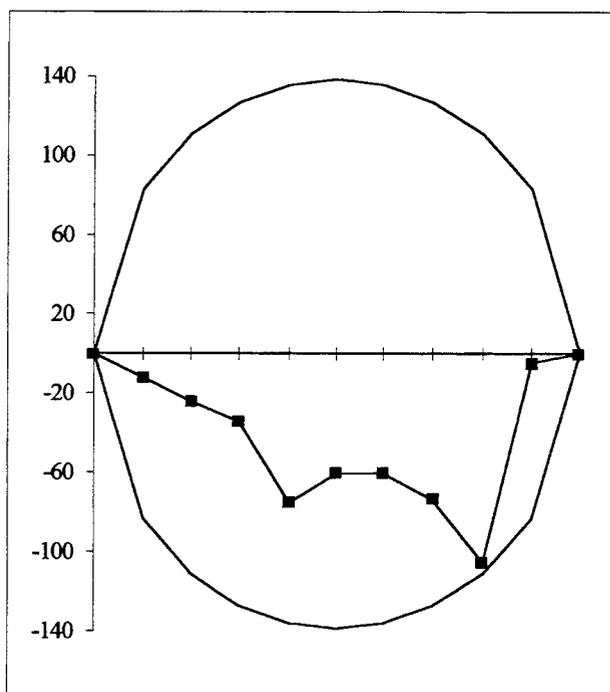
LAMBERSART



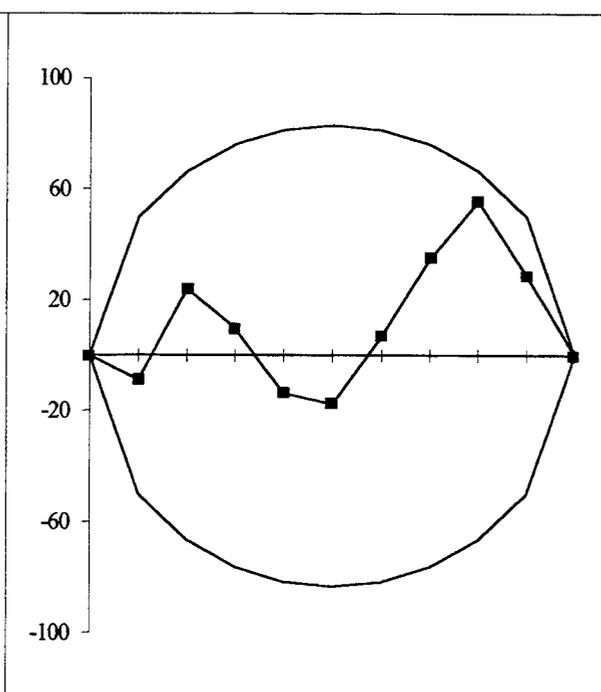
LESQUIN



MONS-EN-PEVELE

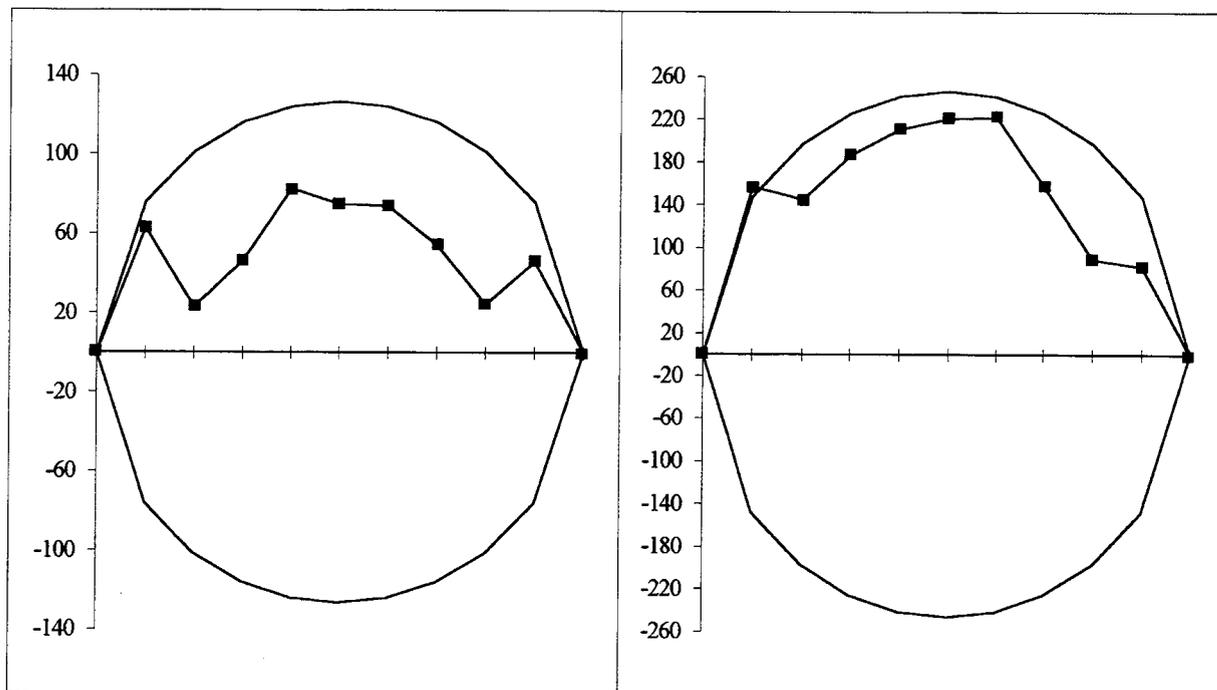


ROUBAIX



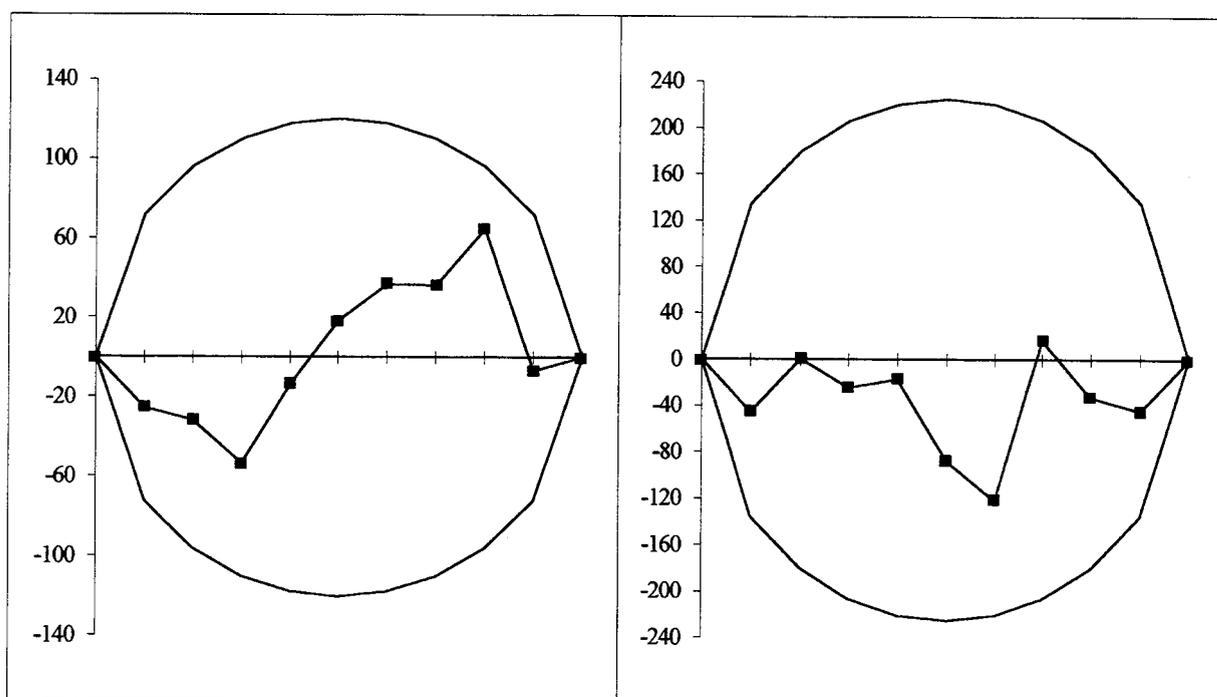
SECLIN

WAVRIN



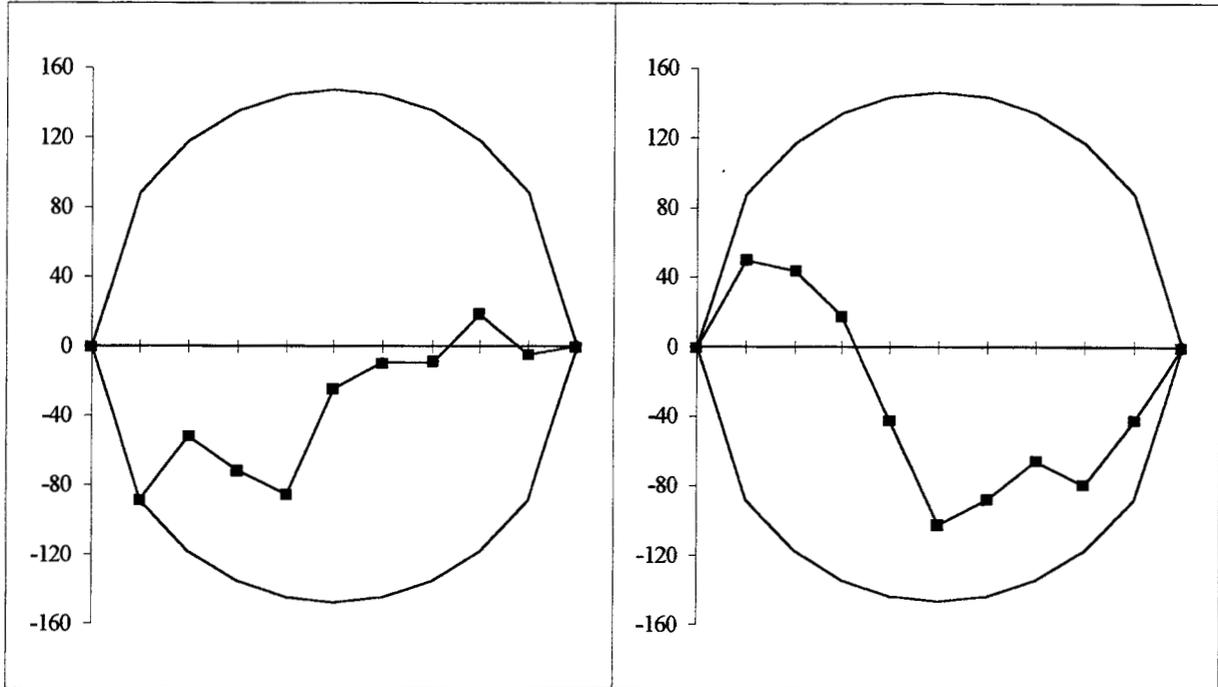
ANTOING

COMINES



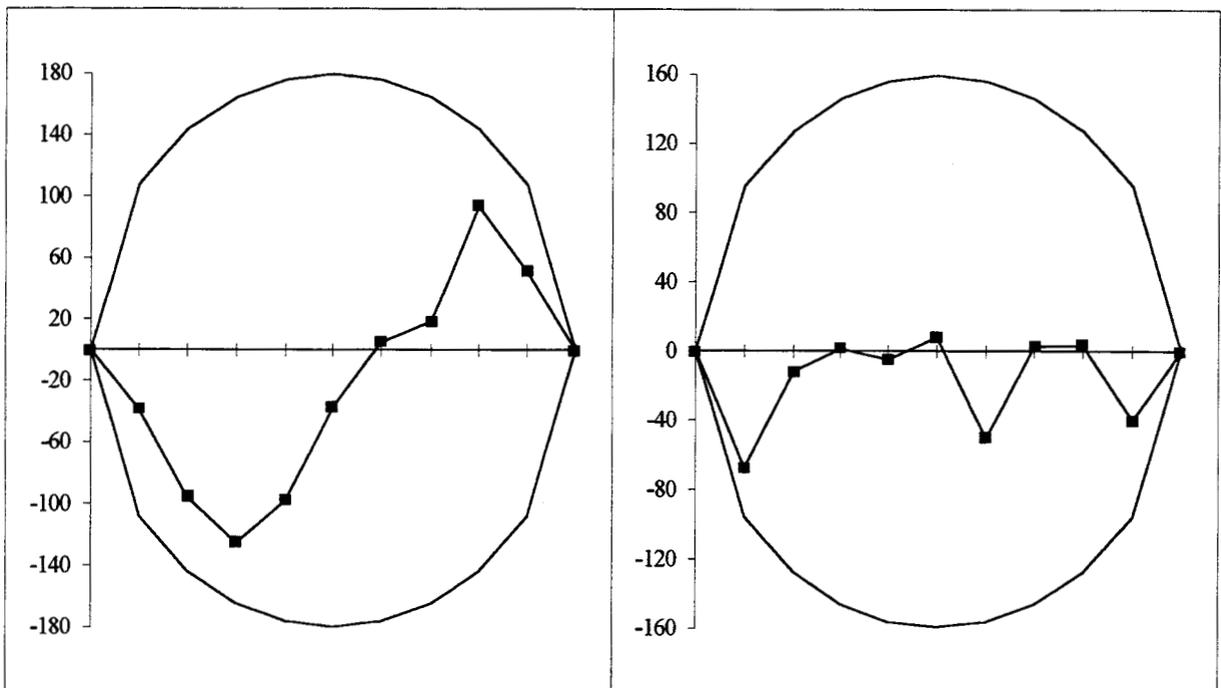
COURTRAI

GELUVELD



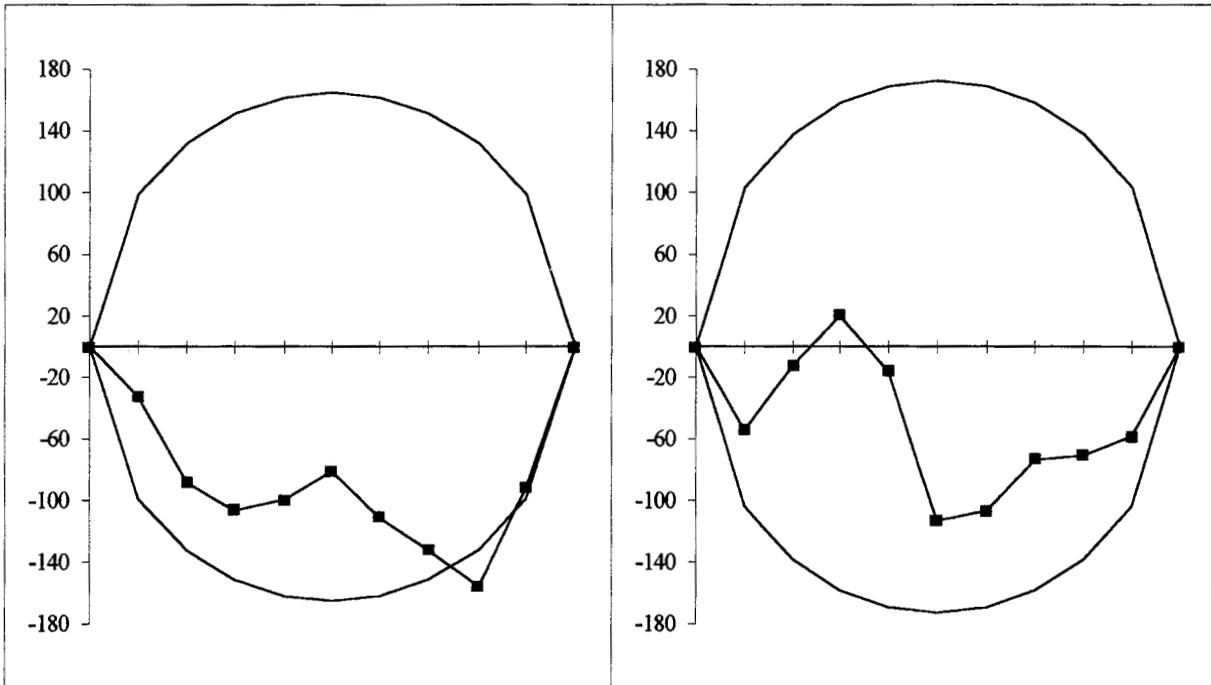
KAIN

MENEN



PERONNE-LEZ-ANTOING

VLAMETINGE



L'utilisation des données de ces stations est donc envisageable puisque aucune station ne présente d'anomalie flagrante : aucun changement de pente n'a été observé dans les graphes de la méthode du double-cumul. Par ailleurs, parmi les 4 stations où des anomalies ont été détectées par la méthode du cumul des résidus, seules 2 stations semblent avoir une anomalie plus prononcée sans toutefois être rédhitoire. Aussi, l'analyse spatiale des précipitations, objet du chapitre suivant, pourra s'appuyer sur les données de ces stations sans qu'il soit *a priori* indispensable d'ôter l'une ou l'autre des stations.

CHAPITRE 5

LA REPARTITION SPATIALE DES PRECIPITATIONS AU SEIN DE LA REGION LILLOISE

5.1. PRECIPITATIONS ANNUELLES ET MENSUELLES.....	161
5.1.1. L'ANALYSE DE LA PLUVIOMETRIE ANNUELLE POUR LA DEFINITION DE ZONES PLUVIOMETRIQUES HOMOGENES.....	161
5.1.2. DEFINITION DU REGIME PLUVIOMETRIQUE MENSUEL DE LA REGION LILLOISE.	167
5.2. PRECIPITATIONS JOURNALIERES ET DUREE DES SEQUENCES PLUVIEUSES ET SECHES.	170
5.2.1. HAUTEURS JOURNALIERES.....	170
5.2.2. LES JOURS DE PRECIPITATIONS, ET SEQUENCES PLUVIEUSES ET SECHES.	173
5.2.3. TYPOLOGIE DES SEQUENCES PLUVIEUSES.	176
5.3. LE RESEAU DE PLUVIOMETRES, UN OUTIL INSUFFISANT POUR L'HYDROLOGIE URBAINE.....	182
5.3.1. PRESENTATION DE L'EPISODE DU 24 AOUT 1987.....	182
5.3.2. ANALYSE DE L'EPISODE.....	183

Les tests de validité effectués sur les données du réseau de pluviomètres franco-belge de la région lilloise ont permis de vérifier la bonne qualité des données et ont montré qu'il était possible d'utiliser l'ensemble des stations disponibles.

Il s'agit ici d'étudier la répartition spatiale des précipitations au sein de la région lilloise, et de montrer en quoi un réseau de pluviomètres semble peu en adéquation avec les besoins de l'hydrologie urbaine, à savoir une connaissance fine des précipitations (hauteur, durée et intensités des précipitations) sur des pas de temps fins inférieurs au quart d'heure. Cette analyse spatiale s'appuiera uniquement sur les hauteurs précipitées par période de 24 heures et le nombre de jours de pluie, qui sont les seules variables disponibles pour ce réseau de stations pluviométriques.

Après avoir rapidement évoqué la répartition spatiale des précipitations à l'échelle annuelle, l'analyse spatiale, à cette échelle temporelle, tentera de distinguer des zones pluviométriques homogènes au sein de la région lilloise par une analyse en composantes principale et une classification ascendante hiérarchique. Puis l'analyse à l'échelle mensuelle cherchera à définir le régime pluviométrique de cette région.

Mais la connaissance des précipitations à ces deux échelles temporelles étant assez éloignée des réels besoins de l'hydrologie urbaine, il nous faudra étudier les précipitations journalières qui répondent déjà mieux à ces besoins, tout en sachant que cette échelle temporelle est encore trop imprécise.

Les précipitations journalières, d'abord abordées par leurs volumes, sont ensuite étudiées selon leur fréquence d'apparition (nombre de jours de pluie), puis une classification multicritères des jours pluvieux est mise en place afin de distinguer différents types où la probabilité d'apparition de problèmes de gestion sur les réseaux d'assainissement pluvial ou unitaire est forte, modérée ou faible.

Ces jours pluvieux s'organisent en périodes de n jours consécutifs et concernent un espace, c'est-à-dire qu'ils forment des "séquences pluvieuses spatiales", qui après avoir été définies, sont classées selon différents paramètres, pour là encore distinguer celles qui comportent un risque d'occasionner des problèmes sur les réseaux, ou encore des inondations, de celles qui n'en comportent aucun.

Enfin, si un réseau de pluviomètres apporte des connaissances sur les répartitions spatiales des précipitations et permet d'élaborer des classifications des jours pluvieux et des séquences pluvieuses, il semble néanmoins mal adapté aux besoins de l'hydrologie urbaine, ce qui sera démontré à l'aide d'un exemple.

5.1. PRECIPITATIONS ANNUELLES ET MENSUELLES.

5.1.1. L'ANALYSE DE LA PLUVIOMETRIE ANNUELLE POUR LA DEFINITION DE ZONES PLUVIOMETRIQUES HOMOGENES.

La moyenne annuelle de la période 1982-1991 pour la région lilloise est de 736 mm, soit 100 mm de plus que la hauteur moyenne annuelle de la normale 1951-1980 de la station de Lesquin. La surpluviosité de cette décennie, déjà démontrée pour la seule station de Lesquin dans la première partie, est donc aussi effective pour l'ensemble de la région lilloise.

Le Tableau n°58 informe sur la moyenne annuelle de chaque station¹ sur la période 1982-1991, en classant les stations dans un ordre croissant, et la Carte n°5 replace ce classement dans un contexte spatial.

Tableau n°58 : Précipitations moyennes annuelles, hauteurs annuelles minima et maxima des stations de la région lilloise (1982-1991), en millimètres.

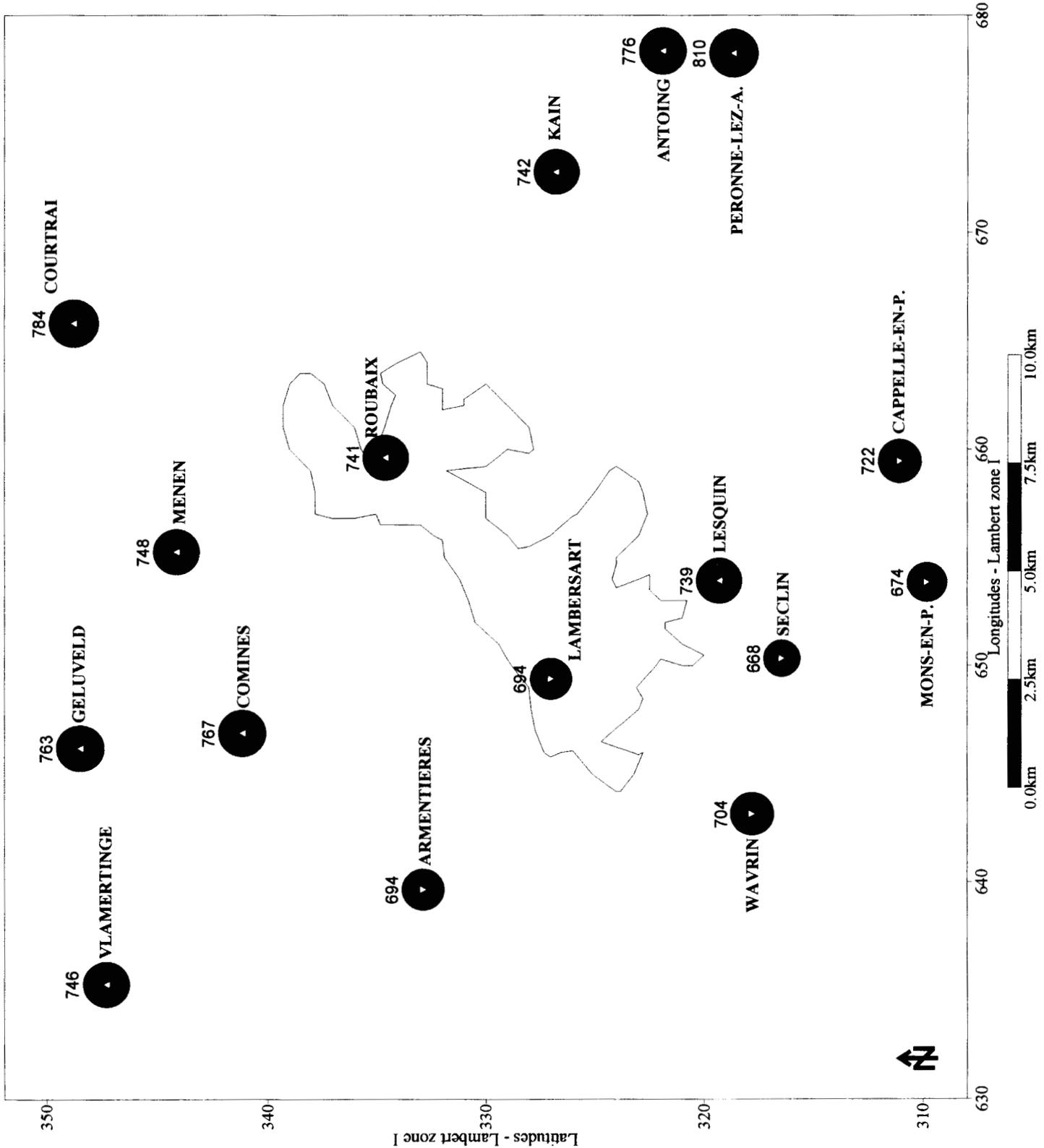
SEC	MON	LAM	ARM	WAV	CAP	LES	ROU	KAIN	VLA	MEN	GEL	COM	ANT	COU	PER
668	674	694	694	704	722	739	741	742	746	748	763	767	776	784	809
548	592	552	620	552	625	644	648	599	642	634	622	587	639	683	681
782	741	808	851	838	810	830	842	875	869	877	869	977	896	905	922

Si les précipitations moyennes annuelles semblent au premier abord assez similaires d'une station à l'autre, il faut noter un écart important (140 mm) entre la moyenne annuelle la plus faible (Seclin, 668 mm) et la plus forte (Péronne-lez-Antoing, 809 mm). Entre ces deux extrêmes, il est possible de définir 5 groupes de stations dont les hauteurs annuelles moyennes sont assimilables :

- groupe 1, Seclin et Mons;
- groupe 2, Lambersart, Armentières et Wavrin;
- groupe 3, Cappelle, Lesquin, Roubaix, Kain, Vlamertinge et Menen;
- groupe 4, Geluvelde, Comines, Antoing et Courtrai;
- groupe 5, Péronne-lez-Antoing.

¹Les abréviations utilisées pour les noms des stations correspondent à leurs trois premières lettres.

Carte n°5 : Précipitations moyennes annuelles (1982-1991) pour les stations de la région lilloise.



La Carte n°5 représente les précipitations moyennes annuelles observées à chaque station (cercle noir proportionnel à la hauteur), et signale si la moyenne annuelle de la station est située au-dessus ou en dessous de la "moyenne régionale" de la période (triangle blanc, respectivement, Δ et ∇). Les groupes définis ci-dessus ont été reportés afin de les localiser. Il ne s'agit bien évidemment que d'une représentation cartographique d'indices de pluviosité puisque les données représentées sont ponctuelles et que leur regroupement ne fait en aucun cas office d'interpolation spatiale.

Cette carte permet d'avoir une vision globale des précipitations moyennes annuelles de la région lilloise, et appelle plusieurs remarques :

- deux stations, celles qui constituent les extrêmes (Seclin et Péronne) posent question dans la mesure où leurs moyennes annuelles sont assez éloignées de celles des stations à proximité (respectivement, 71 et 33 mm).

- les stations dont la moyenne annuelle est supérieure à la moyenne régionale sont toutes des stations belges auxquelles il faut adjoindre Roubaix et Lesquin. Parmi ces dernières, les stations plus éloignées de la moyenne régionale contournent l'agglomération par le Nord-Est en formant un arc de cercle de Comines à Péronne-lez-Antoing.

- enfin, il semble qu'il y ait une croissance des précipitations selon un gradient Sud-Ouest-Nord-Est. Cette hypothèse est à prendre avec précaution dans la mesure où ce gradient est potentiellement accentué par l'éventuelle sous-estimation des précipitations dans les stations françaises (Voir Chapitre 4).

La répartition moyenne présentée ci-dessus n'est bien évidemment pas reproduite à l'identique chaque année, mais elle permet de déterminer les grandes tendances de la répartition spatiale des précipitations annuelles. Par ailleurs, s'il est impossible de nier l'existence d'une variabilité interannuelle, celle-ci est assez faible en regard des coefficients de variation qui se situent entre 8 et 15 %, selon les stations. La variabilité spatiale d'une année à l'autre est elle-aussi assez faible, puisque les coefficients de variation s'échelonnent entre 5 et 10 % selon les années.

Afin de regrouper les stations qui se ressemblent ou qui ont des caractères pluviométriques communs, une analyse en composantes principales puis une classification ascendante hiérarchique ont été entreprises sur les données annuelles de la période 1982-1991.

Cette carte permet d'avoir une vision globale des précipitations moyennes annuelles de la région lilloise, et appelle plusieurs remarques :

- deux stations, celles qui constituent les extrêmes (Seclin et Péronne) posent question dans la mesure où leurs moyennes annuelles sont assez éloignées de celles des stations à proximité (respectivement, 71 et 33 mm).

- les stations dont la moyenne annuelle est supérieure à la moyenne régionale sont toutes des stations belges auxquelles il faut adjoindre Roubaix et Lesquin. Parmi ces dernières, les stations plus éloignées de la moyenne régionale contournent l'agglomération par le Nord-Est en formant un arc de cercle de Comines à Péronne-lez-Antoing.

- enfin, il semble qu'il y ait une croissance des précipitations selon un gradient Sud-Ouest-Nord-Est. Cette hypothèse est à prendre avec précaution dans la mesure où ce gradient est potentiellement accentué par l'éventuelle sous-estimation des précipitations dans les stations françaises (Voir Chapitre 4).

La répartition moyenne présentée ci-dessus n'est bien évidemment pas reproduite à l'identique chaque année, mais elle permet de déterminer les grandes tendances de la répartition spatiale des précipitations annuelles. Par ailleurs, s'il est impossible de nier l'existence d'une variabilité interannuelle, celle-ci est assez faible en regard des coefficients de variation qui se situent entre 8 et 15 %, selon les stations. La variabilité spatiale d'une année à l'autre est elle-aussi assez faible, puisque les coefficients de variation s'échelonnent entre 5 et 10 % selon les années.

Afin de regrouper les stations qui se ressemblent ou qui ont des caractères pluviométriques communs, une analyse en composantes principales puis une classification ascendante hiérarchique ont été entreprises sur les données annuelles de la période 1982-1991.

Les variables retenues sont, pour chaque station, les hauteurs annuelles de 1982 à 1991, la hauteur annuelle moyenne, l'écart-type, le minimum et le maximum de la période, les stations constituant les individus à classer.

Les deux premiers axes contribuent à 72 % de la variance, et opposent les stations de la manière suivante :

- l'axe 1 oppose les stations ayant un minimum faible et un écart-type fort aux stations ayant un minimum fort et un écart-type faible;

- l'axe 2 oppose les stations ayant une moyenne faible et un maximum faible aux stations ayant une moyenne forte et maximum fort.

En croisant les deux axes, il est possible de déterminer 4 groupes de stations ayant des caractères pluviométriques communs pendant la période 1982-1991 (Tableau n°59).

Tableau n°59 : Groupes de stations définis par les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales.

Axe 2 ↓	Axe 1 →	Minimum faible Ecart-type fort	Minimum fort Ecart-type faible
Moyenne faible Maximum faible		SECLIN LAMBERSART WAVRIN	MONS-EN-P. CAPPELLE-EN-P. ARMENTIERES LESQUIN
Moyenne forte Maximum fort		KAIN MENEN ANTOING COMINES GELUVELD	ROUBAIX VLAMERTINGE COURTRAI PERONNE

La classification ascendante hiérarchique, basée sur les mêmes individus et les mêmes variables, ordonne les stations essentiellement selon la hauteur moyenne sur la période et distingue 4 groupes de stations bien regroupées géographiquement :

- Groupe 1 : Seclin, Lambersart, Wavrin, Armentières et Mons-en-P., aux hauteurs moyennes assez faibles;

- Groupe 2 : Cappelle-en-P., Lesquin et Roubaix, aux hauteurs moyennes modérées;

- Groupe 3 : Vlamertinge, Menen, Geluvelde, et Comines, aux hauteurs moyennes assez fortes;

- Groupe 4 : Kain, Courtrai, Antoing et Péronne-lez-A., aux hauteurs moyennes fortes;

En définitive, l'analyse en composantes principales (A.C.P.) et la classification ascendante hiérarchique (C.A.H.) opposent surtout les stations françaises et les stations belges, et permettent de distinguer trois grands groupes de stations pour lesquels la pluviométrie annuelle peut être considérée comme homogène : les stations situées au vent de l'agglomération lilloise (hauteurs moyennes faibles), celles situées sous le vent (hauteurs moyennes fortes) et enfin, les stations intermédiaires.

La détermination de ces 3 groupes incite à penser que l'agglomération influence la répartition spatiale des précipitations. L'orientation SW-NE étant celle des vents dominants sur la région lilloise, il est possible que les masses nuageuses subissent l'influence urbaine pendant leur parcours du SW vers le NE.

En effet, l'agglomération peut être à l'origine d'une accentuation des précipitations en renforçant à la fois l'ascendance des masses d'air par la rugosité du bâti urbain et à l'îlot de chaleur urbain, et la condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'air par la présence de poussières constituant des noyaux de condensation.

Mais cette influence de l'agglomération est mise en évidence à l'échelle annuelle pour laquelle l'hétérogénéité spatiale des précipitations est peu marquée, et constitue donc une hypothèse plus qu'une certitude dans la mesure où les groupes établis sont assez proches les uns des autres. Pour accepter ou refuser cette hypothèse, il faudrait mener une étude plus approfondie du climat urbain de l'agglomération lilloise, et ce, sur une plus grande période. Le but n'étant pas ici de définir les caractéristiques pluviométriques du climat urbain de l'agglomération lilloise, cette hypothèse est formulée sans être confirmée.

Finalement, pendant la période étudiée, les hauteurs annuelles moyennes des différentes stations sont assez proches de celle de Lesquin, ce qui induit que la période 1982-1991 présente un caractère de surpluviosité par rapport à la normale de Lesquin et ce sur l'ensemble de la région lilloise. En d'autres termes, le caractère de surpluviosité de la décennie, observé au niveau ponctuel à Lesquin, acquiert ici une valeur spatiale, puisqu'il est présent pour l'ensemble des stations.

Par ailleurs, le gradient SW-NE, et les différents groupes déterminés par l'A.C.P. et la C.A.H. opposent surtout stations françaises et stations belges. Cette opposition pouvant être autant attribuée à une éventuelle sous-estimation des précipitations pour les stations françaises qu'à un potentiel effet urbain, celle-ci ne constitue ici qu'une hypothèse, qui demande à être vérifiée.

Si l'analyse des précipitations de la période 1982-1991 à l'échelle annuelle cherchait surtout à montrer les nuances au sein de la région lilloise, et à confirmer le caractère de surpluviosité observé à Lesquin pour cette décennie, l'analyse à l'échelle mensuelle a pour objectif de vérifier que l'ensemble des stations offre le même type de schéma de répartition mensuelle des précipitations.

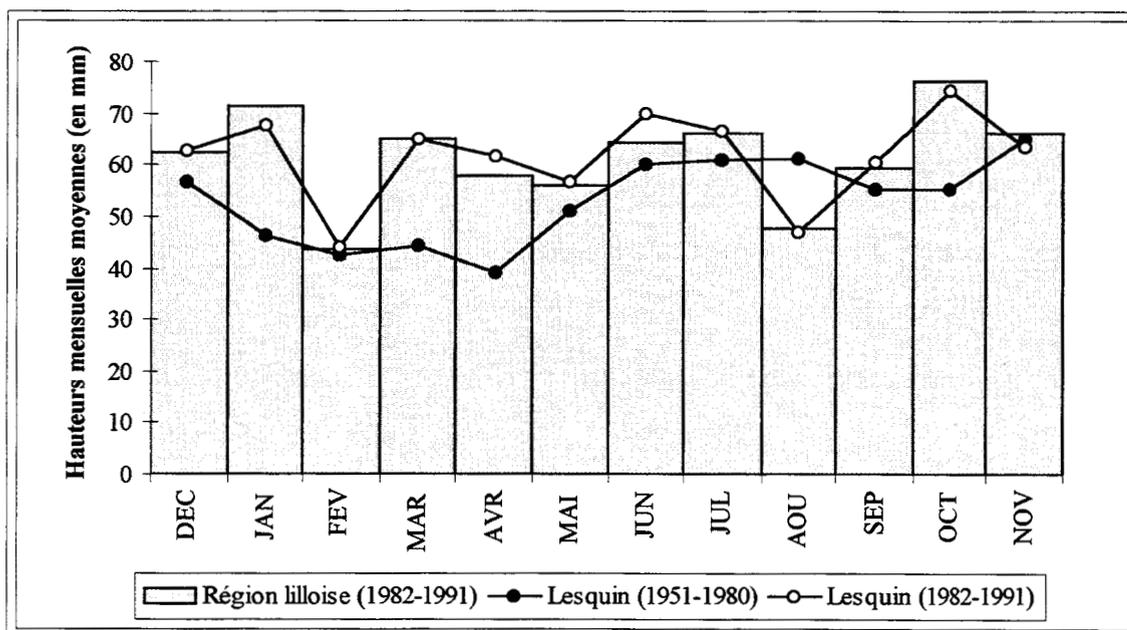
5.1.2. DEFINITION DU REGIME PLUVIOMETRIQUE MENSUEL DE LA REGION LILLOISE.

A l'échelle mensuelle, les données des stations sont globalement assez proches de celles de la station de Lesquin.

Ainsi, pour la période 1982-1991, le schéma moyen de répartition des précipitations à l'échelle mensuelle décrit pour Lesquin (Chapitre 2) est valable pour l'ensemble des stations, soit pour la région lilloise. En effet, comme le montre le Graphique n°45, les moyennes mensuelles, toutes stations confondues, sont très proches de celles de Lesquin pour la période 1982-1991.

Finalement, le régime pluviométrique mensuel moyen de la région lilloise montre les mêmes écarts vis-à-vis de la normale que celui de Lesquin (Chapitre 2).

Graphique n°45 : Régime pluviométrique mensuel moyen pour la région lilloise (1982-1991), et la station de Lesquin (1982-1991 et normale climatologique 1951-1980), en millimètres.



Le Tableau n°60 montre bien qu'il existe, malgré la présence de quelques petites nuances, de fortes similitudes entre les stations, et les diagrammes mensuels, présentés à l'Annexe n°10, le confirment.

Quant aux variations spatiales, traduites par le coefficient de variation calculé pour chaque moyenne mensuelle (Tableau n°60), celles-ci sont assez faibles, de l'ordre de 4 à 10%.

Tableau n°60 : Hauteurs moyennes mensuelles, moyenne spatiale et coefficient de variation spatiale (1982-1991).

Stations	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
SECLIN	63	40	58	56	53	53	60	47	53	70	57	58
MONS-EN-P.	59	40	55	57	52	60	62	52	55	64	60	56
LAMBERSART	66	43	62	56	49	65	65	40	53	73	61	59
ARMENTIERES	69	41	56	58	56	53	62	43	57	73	66	60
WAVRIN	67	42	62	58	62	59	59	44	59	69	62	62
CAPPELLE-EN-P.	67	43	64	55	58	72	65	50	56	70	61	62
LESQUIN	68	44	65	62	57	70	66	47	61	74	63	63
ROUBAIX	73	42	67	61	53	69	66	48	57	79	62	62
KAIN	76	46	71	56	55	62	63	49	58	77	65	65
VLAMERTINGE	74	43	61	58	50	58	64	51	72	81	72	62
MENEN	78	42	67	57	55	59	75	48	61	78	68	59
GELUVELD	73	42	65	55	52	67	73	45	66	84	77	63
COMINES	73	43	64	59	59	63	74	51	66	82	73	61
ANTOING	77	50	75	57	63	70	64	47	58	80	67	69
COURTRAI	79	43	68	62	55	69	75	53	62	85	70	65
PERONNE-LEZ-A.	79	53	81	61	66	75	66	48	58	82	72	70
Moyenne	71.3	43.6	65.1	58.0	55.8	64.0	66.2	47.7	59.4	76.3	66.0	62.2
Coeff. de variation	8 %	8 %	10 %	4 %	8 %	10 %	8 %	7 %	8 %	8 %	8 %	6 %

Les précipitations mensuelles ayant été décrites dans le détail pour la station de Lesquin, il est plus intéressant de comparer les stations de la région lilloise, non pas à la moyenne régionale mais à la station de Lesquin, car il semble plus adéquat de quantifier les écarts vis-à-vis d'une station bien connue.

Les écarts entre les hauteurs mensuelles moyennes des différentes stations avec celles de Lesquin sont faibles. En effet, si l'on calcule l'écart absolu moyen par rapport à Lesquin, en se basant sur les hauteurs moyennes mensuelles, il apparaît que l'intervalle de variation de l'écart absolu moyen (par rapport à Lesquin) tous mois confondus est assez restreint : de 2.3 mm pour Roubaix à 6.5 pour Péronne-lez-Antoing (Tableau n°61). De même, l'écart absolu moyen inter-stations varie dans un intervalle de faible amplitude : de 2.6 mm (en février) à 7.2 mm (en juin).

Tableau n°61 : Ecart absolu par rapport à Lesquin des valeurs moyennes mensuelles, écarts absolus moyens par station et par mois, en millimètres (1982-1991).

	ANT	ARM	CAP	COM	COU	GEL	KAIN	LAM	MEN	MON	PER	ROU	SEC	VLA	WAV	Moy.
JAN	9.0	1.2	0.4	5.3	11.3	5.6	8.7	1.7	10.6	8.3	11.1	5.9	4.6	6.3	0.8	6
FEV	6.6	2.8	1.3	1.2	1.3	2.0	2.2	0.4	1.3	3.3	9.1	1.5	3.6	0.6	1.8	2.6
MAR	10.5	8.5	1.2	0.6	3.2	0.6	6.1	2.7	1.9	9.4	15.8	2.5	7.1	3.6	3.2	5.1
AVR	4.3	3.9	6.9	2.4	0.1	6.7	5.4	5.3	5.0	4.7	0.5	1.0	5.3	3.7	4.0	4
MAI	6.1	0.1	1.5	2.2	1.5	4.2	2.0	7.5	2.0	4.3	9.3	3.6	4.0	6.6	5.4	4
JUN	0.4	16.8	1.7	6.6	0.7	2.6	7.7	5.0	10.6	9.9	4.6	1.2	17.1	11.9	10.6	7.2
JUL	2.9	4.6	1.6	7.1	8.5	6.4	3.6	1.2	8.7	4.7	0.5	0.5	6.0	2.0	7.9	4.4
AOU	0.0	4.4	3.0	4.1	5.8	1.8	1.8	7.3	0.9	5.0	0.6	1.1	0.1	3.6	2.8	2.8
SEP	2.6	3.8	4.8	5.1	1.2	5.6	2.6	7.4	0.8	5.7	2.7	3.1	7.1	11.6	1.7	4.4
OCT	5.3	0.9	4.1	7.3	10.4	9.7	2.3	1.1	4.0	10.0	8.0	5.2	4.6	6.3	5.4	5.6
NOV	4.0	2.7	2.5	9.5	6.3	13.3	1.3	2.2	4.9	3.2	8.7	1.2	6.7	8.9	1.0	5.1
DEC	6.3	3.1	0.7	1.9	1.8	0.1	2.5	3.5	3.2	6.3	7.1	0.4	5.1	0.6	0.9	2.9
Moy.	4.8	4.4	2.5	4.4	4.3	4.9	3.9	3.8	4.5	6.2	6.5	2.3	5.9	5.5	3.8	4.5

Ainsi, le schéma moyen de répartition des précipitations mensuelles observé à Lesquin pour la période 1982-1991 est reproduit de manière quasi-identique pour les autres stations de la région lilloise, et les nuances spatiales dans la pluviométrie moyenne mensuelle de la région lilloise sont peu marquées.

Aussi bien à l'échelle annuelle qu'à l'échelle mensuelle, les hauteurs précipitées aux différentes stations de la région lilloise sont globalement assez proches les unes des autres sans pour autant être totalement identiques. En effet, si les hauteurs moyennes sont assimilables, il existe néanmoins une variabilité spatio-temporelle, bien que celle-ci soit peu marquée à l'échelle annuelle ou mensuelle; ce qui semble assez normal dans la mesure où ces deux échelles temporelles ne mettent en évidence que les variations spatiales de grande ampleur.

Finalement, les précipitations moyennes annuelles de la période 1982-1991 sont assez similaires d'une station à l'autre, et le caractère de surpluviosité par rapport à la normale (Lesquin, 1951-1980) observé pour Lesquin au Chapitre 2 acquiert ici une valeur spatiale, puisqu'il semble exister pour l'ensemble des stations.

Quant au schéma de répartition mensuelle des précipitations il est assez analogue d'une station à l'autre. En d'autres termes, à ces deux échelles temporelles, les variations spatiales sont peu marquées et la pluviométrie annuelle ou mensuelle peut donc être considérée comme homogène au sein de la région lilloise.

Mais s'il apparaît une homogénéité dans la répartition spatiale des précipitations annuelles ou mensuelles, celle-ci a peu de chances de se manifester à l'échelle journalière puisque pour cette dernière l'hétérogénéité spatiale constitue le principal caractère de la répartition des précipitations.

Si la présentation de la pluviométrie à ces deux échelles temporelles permet de fixer quelques éléments de base sur la répartition spatiale des précipitations au sein de la région lilloise, elle se révèle beaucoup trop sommaire vis-à-vis des besoins de l'hydrologie urbaine. En effet, pour répondre à ces besoins, il est nécessaire d'aboutir à une connaissance fine des précipitations à la fois dans le temps et dans l'espace.

Les données fournies par un réseau de pluviomètres ne permettent pas d'atteindre le degré de précision des mesures réalisées à l'aide de pluviographe, puisque que la plus petite échelle temporelle de ces données est quotidienne. Si cette échelle temporelle est encore trop grande, ces données quotidiennes peuvent tout de même apporter des éléments d'information sur les volumes précipités sur 24 heures, et sur la répartition spatiale des précipitations journalières, ce qui constitue une approche des précipitations déjà beaucoup plus adaptée aux besoins de l'hydrologie urbaine que celle réalisée à l'aide des précipitations mensuelles ou annuelles.

Il est en effet possible, à partir de données journalières, d'établir une classification des jours pluvieux selon leur impact sur la gestion des réseaux d'assainissement et des stations d'épuration, en utilisant simultanément différents critères tels que la hauteur moyenne des stations, le coefficient de variation inter-stations et le nombre de stations concernées par les précipitations. De même, à partir de ces données journalières, il est possible de définir des séquences pluvieuses à caractère spatial.

5.2. PRECIPITATIONS JOURNALIERES ET DUREE DES SEQUENCES PLUVIEUSES ET SECHES.

Les précipitations journalières sont d'abord abordées par leurs volumes et leurs fréquences d'apparition (nombre de jours de pluie) afin de donner quelques ordres de grandeur. Puis une classification multicritères est réalisée pour les jours pluvieux et les "séquences pluvieuses spatiales" après avoir défini ce à quoi elles correspondent.

5.2.1. HAUTEURS JOURNALIERES.

Si les hauteurs journalières peuvent atteindre des valeurs maximales de l'ordre de 90 millimètres, les hauteurs moyennes sont comprises entre 3.3 (à Vlamertinge) et 4.9 mm (à Comines), elles avoisinent donc en moyenne les 4 mm par 24 heures.

Le Tableau n°62 confirme un fait déjà observé à Lesquin (Chapitre 2) : une forte concentration des hauteurs journalières dans les faibles valeurs, l'obliquité à gauche étant une

constante pour l'ensemble des stations (mode < médiane < moyenne, et γ_1 positif). Ainsi, seulement 10 % des hauteurs journalières dépassent les 10 mm, et 50 % sont inférieures à environ 3 mm.

Tableau n°62 : Paramètres statistiques des précipitations journalières pour les stations de la région lilloise.

	Moy.	Mode	Min.	D1	Q1	Méd	Q3	D9	Max.	σ	γ_1	γ_2	Effectif
PER	3.5	0.1	0.1	0.1	0.3	1.6	4.9	9.4	35.4	4.7	2	8	2328
VLA	3.3	0.2	0.1	0.2	0.4	1.4	4.2	8.7	43.7	4.9	3	14	2259
ARM	3.9	0.3	0.1	0.3	0.8	2.3	5.3	9.9	45.6	4.6	3	12	1799
CAP	4	0.2	0.1	0.3	0.8	2.4	5.5	9.5	61.5	4.7	3	18	1826
COU	4.4	0.3	0.1	0.4	1	2.6	6.1	10.6	62.5	5.2	3	16	1790
GEL	4.5	0.5	0.1	0.4	1	2.7	5.8	10.5	44.8	5.2	3	9	1712
KAIN	4.6	0.5	0.1	0.3	1.1	3	6.4	10.5	39.6	4.9	2	8	1630
LAM	4	0.2	0.1	0.3	0.8	2.4	5.5	9.4	55	4.8	3	14	1731
LES	4.3	0.2	0.1	0.3	0.8	2.6	6	10.4	37.8	4.9	3	7	1734
MEN	4.2	0.3	0.1	0.4	0.9	2.4	5.6	10.2	54.5	5.1	3	16	1780
MON	3.8	0.5	0.1	0.3	0.8	2.2	5.2	9.1	88	4.7	6	63	1785
WAV	4	0.3	0.1	0.3	0.8	2.4	5.4	9.9	79.2	4.9	4	41	1756
SEC	4	0.4	0.1	0.4	1	2.5	5.3	9.3	44.3	4.3	2	9	1686
ROU	3.9	0.1	0.1	0.2	0.6	2.2	5.3	9.5	62	5.0	3	21	1921
ANT	5	1	0.1	0.7	1.5	3.4	6.8	11.2	44.5	4.9	2	7	1568
COM	4.9	1	0.1	0.7	1.4	3	6.7	11.3	47.7	5.4	3	10	1560

D1 et D9, 1^{er} et 9^{ème} déciles, Q1 et Q3, 1^{er} et 3^{ème} quartiles, σ écart-type, γ_1 et γ_2 , coefficients d'asymétrie et d'aplatissement de Fisher.

Si les stations présentent une distribution des hauteurs journalières assez analogue, il est possible de distinguer dans le détail trois groupes de stations :

- le premier groupe, constitué des stations de Péronne-lez-A. et de Vlamertinge, connaît une concentration élevée dans les très faibles valeurs, la médiane étant plus faible que pour les autres stations (environ 1.5 mm) et un nombre très élevé de jours de pluie (environ 2200);

- à l'opposé, le deuxième groupe, Antoing et Comines, présente lui une concentration beaucoup moins forte dans les très faibles valeurs, la médiane étant plus élevée que pour les autres stations (environ 3 mm) et un nombre faible de jours de pluie (environ 1600);

- et en situation intermédiaire, à la fois pour la concentration dans les faibles valeurs et le nombre de jours de pluie, le troisième groupe composé des stations restantes.

L'observation des histogrammes des hauteurs journalières (présentés à l'Annexe n°11) confirment ces différents groupes de stations, et ces derniers permettent une visualisation rapide des différents types de distributions.

Il apparaît nettement sur ces histogrammes que la classe modale est pour l'ensemble des stations, sauf Comines et Antoing, constituée par les hauteurs journalières inférieures à 1 millimètre, et ce de manière accentuée pour les stations de Péronne-lez-A. et Vlamertinge, celles-ci présentant parmi ces hauteurs inférieures à 1 mm, une part disproportionnée de hauteurs de l'ordre de 0.1 à 0.2 mm (respectivement 24 et 18 %), par rapport aux autres stations.

Il s'agit probablement de surestimation de traces de précipitations effectuée par les observateurs qui notent 0.1 mm plutôt que des traces tout en croyant bien faire. Ce type de surestimation est facilement décelable à l'échelle journalière mais apparaît peu à l'échelle mensuelle et annuelle et peut entraîner à ces deux pas de temps des erreurs d'interprétation. Par ailleurs, à l'échelle journalière, il est impossible de faire la part des hauteurs d'eau réellement collectées et celles qui sont surestimées, ces surestimations entraînant en outre un accroissement artificiel du nombre de jours de pluie. Aussi, pour les analyses ultérieures, ces deux stations ne seront plus utilisées.

L'analyse des hauteurs précipitées à Lesquin à l'échelle journalière (Chapitre 2) avait déjà montré le fait qui réapparaît ici : la majorité du volume total des précipitations est constituée par du cumul de faibles hauteurs journalières, ainsi environ 60 à 65 % du volume total des précipitations annuelles correspond au cumul de précipitations journalières de moins de 10 mm, alors que les précipitations journalières de plus de 30 mm ne correspondent qu'à une très faible part du volume annuel, 2 à 5 %.

Cette constatation permet d'ores et déjà de montrer que le risque de précipitations occasionnant des problèmes de gestion des volumes dans les réseaux d'assainissement est assez faible sans pour autant être nul. La classification des jours pluvieux présentée aux paragraphes qui suivent permettra de distinguer ces jours pluvieux où le risque se manifeste.

5.2.2. LES JOURS DE PRECIPITATIONS, ET SEQUENCES PLUVIEUSES ET SECHES.

Si le nombre de jours pluvieux (hauteur supérieure à 0.1 mm), pour chaque station prise une à une, varie de manière assez importante d'une station à l'autre (de 1560 à 1921 jours), leur distribution selon la hauteur est équivalente, et se décompose comme suit pour les 14 stations prises en compte :

- 70 % des jours pluvieux ont des hauteurs inférieures à 5 mm;
- 20 % ont des hauteurs comprises entre 5 et 10 mm;
- 8 % ont des hauteurs comprises entre 10 et 20 mm;
- et seulement 2 % ont des hauteurs supérieures ou égales à 20 mm.

L'hétérogénéité spatiale du nombre de jours de pluie au sein de la région lilloise apparaît nettement, et il est impossible de déterminer des zones pour lesquelles la fréquence d'apparition des précipitations soit homogène.

Mais plutôt qu'étudier la répartition spatiale du nombre de jours de pluie, il est plus intéressant d'élaborer un classement des jours de pluie selon 3 critères (un jour de pluie étant défini de la manière suivante, au moins une station présente une hauteur précipitée de 0.1 mm et plus) :

- la hauteur moyenne de l'ensemble des stations, qui permet de classer les jours de pluie selon leur impact plus ou moins important sur les réseaux, puisque l'on approche par la hauteur précipitée le volume ruisselé qui atteint les réseaux et les stations d'épuration;
- le coefficient de variation, qui traduit la dispersion spatiale des hauteurs précipitées, et donc une plus ou moins grande hétérogénéité spatiale;
- le nombre de stations où il pleut, qui traduit la plus ou moins forte extension spatiale de la pluie.

Ce classement selon 3 critères (Tableau n°63) permet en effet de distinguer les jours pluvieux pour lesquels le risque de problèmes sur les réseaux est important de ceux qui comportent moins ou pas de risque.

Les jours pour lesquels le risque de rencontrer des problèmes de gestion sur les réseaux est le plus élevé sont :

- d'une part, ceux qui associent une hauteur moyenne conséquente (15 mm et plus), une extension spatiale forte (plus de 11 stations), et un coefficient de variation faible (moins de 50 %), puisqu'ils correspondent à des jours où il pleut beaucoup, sur une vaste surface, et ce de manière homogène sur la région, et pour lesquels le risque est donc généralisé, (2 % des jours pluvieux de la décennie);

- d'autre part, ceux qui associent une hauteur moyenne élevée (plus de 15 mm), une extension spatiale modérée ou faible (de 6 à 10 stations ou 5 et moins), et un coefficient de variation plus élevé (de 50 à 150 %, ou plus de 150 %), puisqu'ils correspondent à des jours où il pleut beaucoup voire énormément dans certains secteurs et très peu voire pas dans d'autres, ce qui induit des risques potentiellement plus élevés que précédemment, mais ceux-ci sont par contre très localisés, (cette catégorie n'est pas représentée dans les jours pluvieux de la décennie).

Tableau n°63 : Classification selon 3 critères des jours pluvieux (1982-1991).

Nombre de stations	Coefficient de variation	Hauteur moyenne			Totaux
		< 5	[5 - 15[	≥ 15
≤ 5	< 50				594
	[50-150[	16		
	≥ 150	578			
[6-10]	< 50				297
	[50-150[	222		
	≥ 150	72	3		
≥ 11	< 50	449	385	49	1506
	[50-150[	529	82	5
	≥ 150	6	1		
Totaux		1872	471	54	2397

A l'opposé, les jours où la hauteur moyenne est faible (moins de 5 mm), correspondant à 78 % des jours pluvieux de la décennie, présentent peu de risque qu'ils aient une extension spatiale faible, modérée ou forte, et qu'ils soient hétérogènes ou homogènes dans leur répartition spatiale, à l'exception des jours où la faiblesse de la hauteur moyenne est le résultat d'une chute de pluie forte mais extrêmement localisée, c'est-à-dire que seules une ou deux stations enregistrent des précipitations importantes (2 cas soit 0.1 % des jours pluvieux de la décennie).

Entre ces deux extrêmes, les jours où la hauteur moyenne varie entre 5 et 15 mm, occasionnent potentiellement des problèmes mais ceux-ci sont de faible ampleur, lorsque leur extension spatiale est forte (plus de 11 stations) et leur répartition spatiale assez homogène

(coefficients de variation faibles). Cette catégorie de jours pluvieux regroupe les 20 % restants.

Finalement, les jours pluvieux où la probabilité que surviennent des problèmes de gestion des réseaux sont peu nombreux : 2 % comportent un risque généralisé et 0.1 % un risque localisé.

Si le risque que se présentent des problèmes est peu fréquent mais réel, celui-ci se situe dans un contexte géographique qui tend à en diminuer l'ampleur. En effet, il faut souligner ici que la région prise en compte n'est pas totalement imperméabilisée, puisque les zones urbanisées ne représentent qu'environ 20 % du territoire de la Communauté Urbaine de Lille, ainsi cette zone comporte une forte proportion de zones rurales, ce qui induit un coefficient d'imperméabilisation moyen très faible (de l'ordre de 0.2, d'après VERSMESSEN P., 1991), avec des variations importantes d'un bassin versant à l'autre (de 0.03 à 0.95 pour certains sous-bassins de l'agglomération lilloise ou du bassin de l'Espierre²).

Le risque est donc faible en termes d'apparition, et se concentre surtout sur les zones fortement urbanisées. Ainsi, une dernière distinction peut être entreprise entre, d'une part, les jours pluvieux pour lequel le risque est généralisé à l'ensemble de la région lilloise et qui auront donc toutes les chances d'entraîner des problèmes sur les réseaux, et d'autre part, les jours pluvieux pour lesquels le risque est restreint dans l'espace, et où il faudra que les zones affectées par les précipitations soient situées dans des secteurs urbanisés pour occasionner d'éventuels problèmes.

Si ce classement des jours pluvieux a permis de distinguer plusieurs catégories de jours pluvieux selon le risque d'apparition de problèmes sur les réseaux, il est intéressant de poursuivre les investigations en abordant les jours pluvieux n'ont plus dans leur unicité mais dans leur regroupement en séquences pluvieuses et en intégrant un facteur important en termes de pollution pluviale, la durée des séquences sèches.

Les séquences pluvieuses ou sèches sont déterminées par la présence ou l'absence de précipitations à chaque station prise une à une, et suivent la définition de DAUPHINE A. déjà utilisée au Chapitre 2.

Là encore, séquences pluvieuses et séquences sèches offrent des distributions analogues d'une station à l'autre (Tableaux n°64 et 65) et il apparaît clairement une

²Voir carte des bassins versants de la C.U.D.L. (Chapitre 6).

prépondérance des séquences courtes aussi bien pour les périodes de pluie que pour les périodes de temps sec.

Tableau n°64 : Répartition des séquences pluvieuses selon leur durée (en jours) pour les différentes stations de la région lilloise (1982-1991), en %.

Durée	ROU	MON	SEC	CAP	LAM	WAV	COU	ARM	GEL	MEN	LES	ANT	KAI	COM
de 1 à 4	72	76	76	76	76	76	77	77	77	79	79	79	80	83
de 5 à 9	21	19	20	18	19	18	19	18	18	16	17	17	17	14
de 10 à 14	5	4	3	3	4	4	4	4	3	4	3	3	2	3
de 15 à 19	1	1	0	2	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
20 et plus	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Tableau n°65 : Répartition des séquences sèches selon leur durée (en jours) pour les différentes stations de la région lilloise (1982-1991), en %.

Durée	ANT	WAV	SEC	KAI	LAM	GEL	COM	MON	CAP	COU	LES	ARM	ROU	MEN
de 1 à 4	72	73	73	74	74	74	74	75	75	76	76	76	76	77
de 5 à 9	17	18	18	17	17	16	16	16	17	17	15	17	17	15
de 10 à 14	6	5	5	5	5	6	5	5	5	4	5	3	4	5
de 15 à 19	4	2	3	3	3	3	4	3	2	3	3	3	2	3
20 et plus	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1

Ces séquences pluvieuses ou sèches se manifestant sur un espace, il nous faut donc intégrer leur dimension spatiale. Pour cela, il s'avère plus pertinent de définir ce qu'est une "séquence spatiale" et d'en étudier les caractères, plutôt que d'étudier de manière fragmentée, soit station par station, des séquences dont les durées sont déterminées unilatéralement pour chacune d'entre elles, c'est-à-dire sans tenir compte des autres stations.

Ainsi, après avoir défini ce que recouvre la notion de "séquence spatiale", pluvieuse ou sèche, l'élaboration d'une typologie autorisera une vision beaucoup plus synthétique des séquences, et permettra de distinguer les types de séquences les plus pénalisants en matière de gestion des eaux pluviales aussi bien en termes de volumes qu'en termes de qualité.

5.2.3. TYPOLOGIE DES SEQUENCES PLUVIEUSES.

Avant de définir la "séquence spatiale" en elle-même, il est utile de préciser comment sont appréhendés les jours pluvieux ou secs composant ces séquences. Ainsi, comme cela a déjà été fait au Chapitre 3, les jours pluvieux, dont la hauteur est inférieure à 1 mm pour toutes les stations, sont considérés comme des jours secs, pour les deux raisons suivantes :

- d'une part, parce que ces très faibles hauteurs correspondent bien souvent à des "précipitations occultes", et qu'elles sont soumises à des pourcentages d'erreurs d'autant plus élevés que les hauteurs sont faibles;

- et d'autre part, parce que ces volumes, même s'ils correspondent effectivement à des précipitations, n'occasionnent que d'infimes débits assimilables aux débits de temps sec.

La succession de n jours pluvieux, où des précipitations sont observées pour au-moins une station, détermine la "séquence pluvieuse spatiale" qui n'est interrompue que lorsque toutes les stations sans exception présentent des précipitations nulles ou inférieures à 1 mm.

Le terme de "séquence pluvieuse spatiale" semble adéquat puisqu'il intègre deux notions : la notion de séquence pluvieuse et la notion d'espace affecté par les précipitations, et se rapporte donc bien à la dimension spatio-temporelle des précipitations

Un certain nombre de paramètres caractérisent les séquences pluvieuses spatiales ainsi définies : durée de temps de pluie, durée de temps sec, hauteur moyenne sur la séquence, hauteur minimale et maximale, coefficient de variation (dispersion spatiale), indice d'extension spatiale (nombre moyen de stations affectées pendant la séquence), et la saison. Avant d'effectuer un choix parmi ces différents caractères pour établir la classification, il nous faut en connaître les distributions (Tableau n°66).

Tableau n°66 : Distribution des séquences pluvieuses spatiales selon différents caractères (1982-1991).

Caractères	Durée de temps de pluie	Durée de temps sec	Hauteur moyenne	Dispersion spatiale	Extension spatiale
Moyenne	3.7 jours	3.6 jours	14.6 mm	53 %	11.7 stations
Minimum	1 jour	1 jour	0.1 mm	5 %	1 station
Maximum	24 jours	22 jours	116.9 mm	361 %	14 stations
10 %	1 jour	1 jour	0.6 mm	13 %	8 stations
25 %	1 jour	1 jour	2.0 mm	18 %	11 stations
50 %	2 jours	2 jours	7.5 mm	31 %	13 stations
75 %	5 jours	5 jours	20.7 mm	60 %	14 stations
90 %	8 jours	8 jours	40.1 mm	118 %	14 stations

Le Tableau n°66 souligne la similitude des distributions des durées de temps de pluie et des durées de temps sec, qui montrent toutes deux une concentration dans les faibles valeurs, les séquences pluvieuses ou sèches sont globalement de courte durée. Ainsi, les

précipitations apparaissent fréquemment dans la région lilloise, mais se succèdent rarement plus de 8 jours.

La concentration dans les faibles valeurs s'observe aussi pour la hauteur moyenne par séquence puisque 75 % des séquences ont une moyenne régionale inférieure à 20 mm.

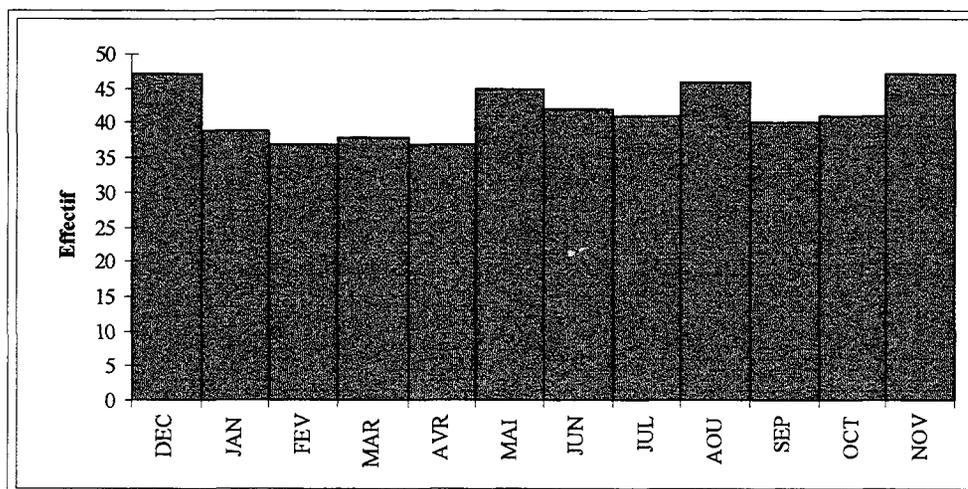
Quant à la dispersion spatiale des hauteurs précipitées, abordée à l'aide du coefficient de variation, celui-ci peut atteindre des sommets (360 %) mais elle est plus souvent assez restreinte puisque pour 75 % des séquences le coefficient de variation est inférieur à 60 %.

Enfin, la distribution des séquences selon leur extension spatiale, approchée par le nombre de stations concernées par la pluie, montre que lorsqu'il pleut dans la région lilloise c'est sur l'ensemble du territoire, puisque seulement 10 % des séquences ont une faible extension spatiale (moins de 8 stations).

Finalement, les séquences pluvieuses de la région lilloise sont assez courtes (durées de temps de pluie courtes) mais fréquentes (durées de temps sec courtes), elles apportent des volumes d'eau assez faibles, connaissent une dispersion spatiale assez modérée dans l'ensemble mais qui peut être parfois extrêmement importante, et concernent le plus souvent l'ensemble du territoire.

La répartition saisonnière des séquences est assez équilibrée, puisque la saison estivale (suivant la définition du Chapitre 2, soit de juin à novembre) compte 255 séquences et la saison hivernale (de décembre à mai) 248.

Graphique n°46 : Répartition mensuelle des séquences pluvieuses de la décennie 1982-1991 dans la région lilloise.



De même, la répartition mensuelle n'offre que des variations de faible amplitude d'un mois à l'autre (Graphique n°46), et les séquences pluvieuses apparaissent donc avec des fréquences similaires, avec une légère infériorité pour les mois d'hiver et de début de printemps (janvier, février, mars et avril).

De nombreux paramètres caractérisent donc les séquences pluvieuses et il paraît judicieux de ne retenir que les plus pertinents, c'est-à-dire les durées de temps sec, la hauteur moyenne sur la séquence, l'extension spatiale et la dispersion spatiale (coefficient de variation).

En effet, la hauteur moyenne et l'extension spatiale permettent d'approcher les volumes d'eaux pluviales correspondants à ces séquences, la durée de temps sec permet d'estimer la charge en polluants de ces eaux pluviales, et le coefficient de variation indique la plus ou moins grande dispersion des hauteurs précipitées.

La durée de temps de pluie n'a pas été prise en compte pour élaborer la typologie des séquences pluvieuses spatiales dans la mesure où ce caractère n'offre que peu de variations d'une séquence à l'autre, et où il est plus intéressant de tenir compte de la durée de temps sec précédent la séquence pluvieuse. En effet, même si la durée des séquences peut atteindre 24 jours, la plus grande majorité d'entre elles (90 %) ont une durée inférieure ou égale à 8 jours, et parmi elles, un tiers sont des séquences d'une journée. Si les séquences courtes se répartissent assez uniformément dans les différents types, les séquences longues (plus de 10 jours) correspondent des types bien définis : les séquences ayant une hauteur moyenne forte, une extension spatiale élevée et une dispersion spatiale faible.

Chacun des caractères retenus connaît une multiplicité de réalisations, et il nous faut donc effectuer des regroupements en classes. Les classes définies (Tableau n°67) sont :

- pour la hauteur moyenne, moins de 10 mm, de 10 à 30, 30 mm et plus;
- pour la durée de temps sec, moins de 5 jours, 5 à 15, 15 jours et plus;
- pour l'extension spatiale, moyenne de 1 à moins de 6 stations, de 6 à moins de 11, et plus de 11 stations;
- pour la dispersion spatiale; coefficient de variation inférieur à 50 %, compris entre 50 et 150 %, supérieur à 150 %.

L'utilisation de ces 4 critères sur la population des 497 séquences aboutit à la définition de 37 types (Tableau n°67).

Le risque que ces séquences pluvieuses occasionnent des problèmes sur les réseaux et/ou aux stations d'épuration, aussi bien en termes de volumes qu'en termes de qualité, est fonction de plusieurs caractères :

- les risques de débordement sur les réseaux et de surplus à la station d'épuration sont surtout fonction de la hauteur précipitée, de l'extension spatiale, et de la dispersion spatiale des précipitations;

- les risques de forte pollution des eaux pluviales est surtout fonction de la durée de temps sec, et de l'intensité des précipitations qui ne peut être estimée ici.

Tableau n°67 : Classification des séquences pluvieuses spatiales selon 4 critères (1982-1991).

		<10			[10-30[			≥ 30			Sous totaux	TOTAUX
		<50	[50-150[	≥ 150	<50	[50-150[	≥ 150	<50	[50-150[	≥ 150		
< 6	<5		1	18							19	27
	[5-10[		1	5							6	
	≥ 10		1	1							2	
[6-11[	<5	17	27	11	6	2					63	97
	[5-10[	7	10	4	4		1				26	
	≥ 10	1	3		1	1					6	
≥ 11	<5	95	42	1	87	4		53			282	373
	[5-10[	18	7		19			16			60	
	≥ 10	10	7		8	2		4			31	
Sous-totaux		148	99	40	125	9	1	75	0	0	497	
TOTAUX		287			135			75				

En d'autres termes, les séquences présentant le plus de risques, aussi bien quantitatifs que qualitatifs sont celles pour lesquelles, il pleut beaucoup, de manière homogène sur une grande surface (faible dispersion spatiale et forte extension spatiale) après une longue durée de temps sec. Ces séquences à haut risque sont peu fréquentes pendant la décennie (4 cas soit 0.8 %). Les séquences pour lesquelles il existe un risque de débordement ou de surplus aux stations et où le risque de pollution est moindre représentent quant à elles 14 % des séquences; ce sont les séquences présentant les mêmes caractéristiques que les séquences à haut risque excepté leur durée de temps sec beaucoup plus courte, de 5 à 10 jours (3 %), ou moins de 5 jours (11 %).

Il faut noter que dans ces séquences à risque élevé se concentrent les séquences les plus longues, ce qui était assez prévisible dans la mesure où les importants volumes précipités sur la région sont plutôt imputables à un cumul de jours pluvieux qu'à des jours où il pleut d'importants volumes qui sont, on l'a vu, assez peu représentés.

Si ces séquences longues apportant des volumes conséquents sur de grandes surfaces peuvent être à l'origine de problèmes de gestion sur les réseaux d'assainissement, elles correspondent par ailleurs, aux séquences pouvant être à l'origine d'inondations, et ce surtout par leur aspect cumulatif.

Enfin, il faut préciser que ces séquences à risque se répartissent de manière assez égale entre la saison estivale (52 %) et la saison hivernale (48 %), et qu'aucun mois n'est épargné, même si le mois de juillet et les mois d'automne (septembre, octobre, novembre) sont plus touchés.

L'étude des précipitations journalières au sein de l'agglomération réalisée ici à l'aide d'un réseau de pluviomètres a permis de mettre en place une typologie des jours pluvieux, ou encore d'étudier les précipitations journalières selon leur répartition spatio-temporelle en séquences pluvieuses de n jours successifs.

Les typologies, mises en place aussi bien pour les jours pluvieux que pour les séquences pluvieuses spatiales, ont permis de distinguer les types de jours pluvieux ou de séquences pluvieuses pouvant occasionner des problèmes de gestion sur les réseaux d'assainissement et d'en estimer la fréquence pendant la décennie 1982-1991, cette dernière étant d'ailleurs assez faible.

Si ces typologies comportent un intérêt certain vis-à-vis des besoins des hydrologues urbains, elles paraissent bien insuffisantes dans la mesure où il est impossible d'estimer l'intensité réelle des précipitations et d'avoir une connaissance fine du déroulement spatio-temporel de la pluie. En effet, ces données journalières ne permettent en aucun cas de préciser les durées de précipitations, ni les périodes de la journée pendant lesquelles il pleut. Or, en hydrologie urbaine, il est utile de connaître à la fois les durées de précipitations, et les pointes d'intensité, et pour ces dernières, leur durée, leur localisation et leur extension spatiale, données qui ne sont pas accessibles par un réseau de pluviomètres, mais qui le sont par un réseau de pluviographes.

Le paragraphe qui suit montrera, à l'aide d'un exemple, les insuffisances d'un réseau de pluviomètre, en comparant les informations fournies par les pluviomètres et celles fournies par le pluviographe de Lesquin.

5.3. LE RESEAU DE PLUVIOMETRES, UN OUTIL INSUFFISANT POUR L'HYDROLOGIE URBAINE.

Si le réseau de pluviomètres utilisé ici a permis de définir, à l'échelle de la région lilloise, les jours pluvieux ou les séquences pluvieuses comportant des risques de problèmes de gestion du réseau d'assainissement et/ ou des risques de pollution des eaux pluviales, que permet-il en matière d'analyse des répartitions spatiales des précipitations pour un événement?

Parmi les 49 jours pluvieux pour lesquels le risque est généralisé, c'est-à-dire où il a plu de manière assez homogène sur la région lilloise, un jour a été choisi afin de répondre à la question posée ci-dessus; il s'agit du 24 août 1987, qui, pour ce type de jours pluvieux, présente la hauteur moyenne sur la région la plus élevée (33.8 mm), mais ceci ne comporte en fait que peu d'importance, dans la mesure où l'objectif est ici de montrer les limites d'un réseau de pluviomètres.

5.3.1. PRESENTATION DE L'EPISODE DU 24 AOUT 1987.

Les hauteurs précipitées pendant cette journée offrent peu de variations d'une station à l'autre, la dispersion spatiale des hauteurs est donc faible (coefficient de variation de 14 %), le minimum est de 24.3 mm (Wavrin), le maximum de 41 (Menen). Par ailleurs, l'ensemble des stations est concerné par les précipitations, l'extension spatiale est donc élevée.

Ces précipitations du 24 août 1987 se placent dans un contexte pluvio-orageux, bien qu'aucun orage ne soit signalé à Lesquin pour ce jour, mais cela ne signifie pas qu'il n'y ait pas eu d'activité orageuse ailleurs sur la région. En effet, pour qu'un orage soit répertorié dans les données de Lesquin, il faut que des éclairs ou des coups de tonnerre soient observés de la station. Aussi, seuls les orages se manifestant à proximité de la station sont répertoriés.

Le contexte météorologique de cette journée est le suivant (Cartes du Météo-Hebdo du 24.08.87 à 12 HTU, Surface et Surface 500 hPa, Annexe n°12) : une large dépression peu marquée (1005 hPa) centrée sur les Alpes occupe l'ensemble du territoire et s'étend bien au delà des frontières vers l'Est et vers le Sud. Cette dépression est accompagnée de deux perturbations en cours d'occlusion, où seuls les fronts froids sont encore actifs.

En altitude, un bas géopotentiel surmonte la dépression de surface, il est constitué d'air assez froid et forme une goutte froide centrée sur les Charentes, et un vaste haut géopotentiel recouvre l'Europe de l'Est. Ces deux centres d'action déterminent un flux de Sud assez puissant. Il y a donc une forte instabilité des masses d'air et celle-ci est renforcée par l'existence d'une goutte froide.

Cet épisode pluvieux a touché l'ensemble du pays et n'a épargné que la Bretagne et la Vendée et les pluies ont été assez importantes et durables, localement exceptionnelles sur le Centre et la Région Parisienne (84.7 mm à Paris-Montsouris).

Cet épisode pluvieux n'est pas précédé d'une période de temps sec dans la mesure où il s'inscrit au milieu d'une séquence pluvieuse de 7 jours qui appartient à la catégorie des séquences pluvieuses pour lesquelles des problèmes quantitatifs peuvent survenir mais où les problèmes qualitatifs sont écartés.

5.3.2. ANALYSE DE L'EPISODE.

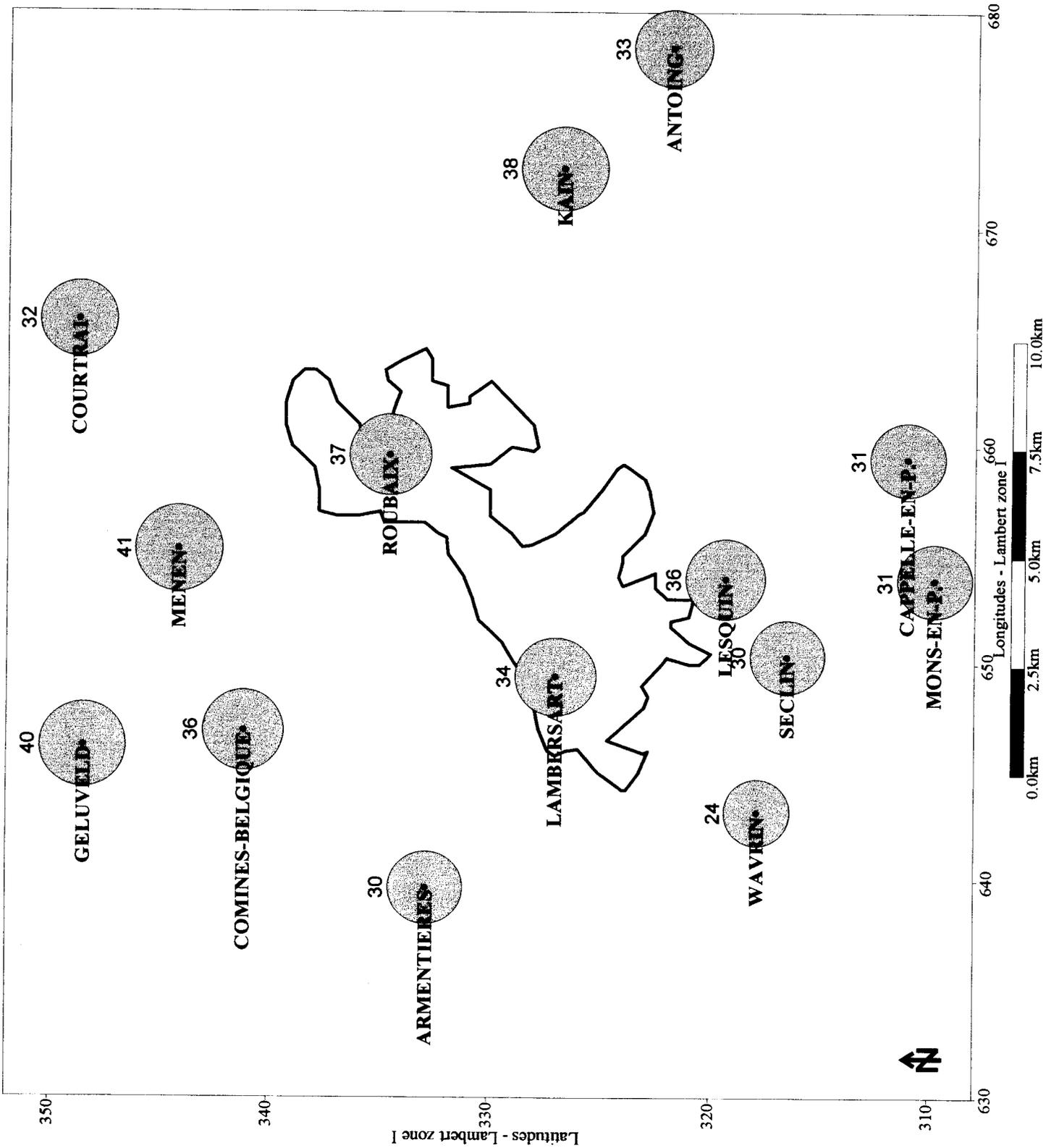
La carte de répartition des précipitations au sein de la région lilloise (Carte n°6) confirme la faible dispersion spatiale déduite d'un faible coefficient de variation spatial, et montre une zone plus arrosée dans le secteur de Menen-Geluveld.

Si le cumul sur 24 heures des précipitations est connu en différents points de la région lilloise à l'aide de ce réseau de pluviomètres, ce dernier ne permet pas de connaître ni le déroulement de la pluie, soit la durée réelle des précipitations mais aussi le moment de la journée où elles ont lieu, ni les variations d'intensité des précipitations au cours de l'épisode. Ces deux types d'information sont accessibles lorsque les précipitations sont mesurées à l'aide de pluviographes.

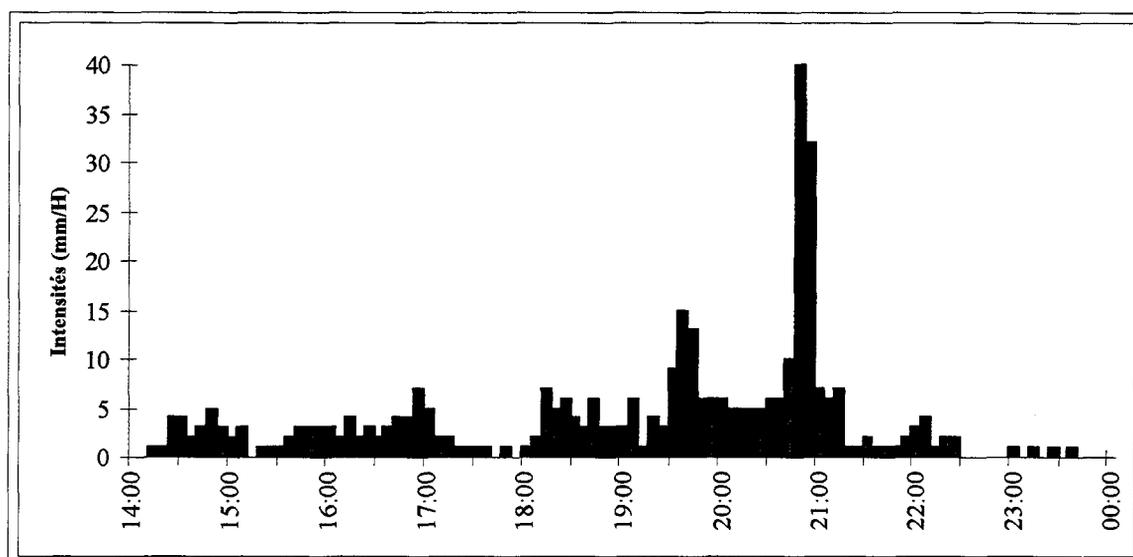
En effet, si pour cet épisode, les données du pluviographe de Lesquin sont utilisées, il est alors possible de connaître le déroulement de la pluie et ses variations d'intensité (Graphique n°47).

Cet épisode pluvieux commence vers 14 heures et se termine vers minuit, sa durée est donc d'environ 10 heures. Il connaît des intensités qui varient de 1 à 40 mm.H⁻¹, cette pointe d'intensité ayant lieu peu avant 21 heures.

Carte n°6 : Répartition spatiale des précipitations du 24 août 1987 dans la région lilloise.



Graphique n°47 : Variation de l'intensité moyenne sur 6 minutes pour l'épisode du 24 août 1987, à Lesquin.



En définitive, cet épisode associe une extension spatiale forte (toutes les stations sont touchées) à des pointes d'intensité localement fortes et succède à une courte durée de temps sec (un peu moins de 30 heures). Ainsi, les risques de pollution sont faibles et par contre les risques de débordement sont importants.

Par ailleurs, il est démontré que l'analyse de l'épisode pluvieux du 24 août 1987 est beaucoup plus riche lorsqu'on utilise les données fournies par le pluviographe de Lesquin. En effet, si le réseau de pluviomètres permet de connaître la répartition spatiale des précipitations, il ne fournit ni les durées de précipitations, ni les variations de l'intensité.

Finalement, l'analyse de cet épisode du 24 août 1987 souligne bien les insuffisances d'un réseau de pluviomètres, qui ne permet d'établir la répartition spatiale des précipitations qu'à une échelle temporelle encore trop inadaptée, parce que trop imprécise vis-à-vis des besoins de l'hydrologie urbaine, qui nécessitent la connaissance du déroulement des précipitations non pas à l'échelle de la journée mais à l'échelle de l'heure voire du quart d'heure, pas de temps tout à fait à la portée d'un pluviographe.

Aussi, en comparaison d'un réseau de pluviomètres, un réseau de pluviographes semble posséder bon nombre d'atouts pour l'étude spatio-temporelle, à des pas de temps fins, des précipitations.

En conclusion, si l'étude des données d'un réseau de pluviomètres permet d'établir des zones de pluviométrie homogène à l'échelle annuelle, de définir le régime pluviométrique

mensuel de la région lilloise, c'est l'étude des données journalières qui s'avère la plus intéressante vis-à-vis des besoins de l'hydrologie urbaine.

Ainsi, l'étude des jours pluvieux et leur classification sur plusieurs critères, et en particulier les critères spatiaux (coefficient de variation spatiale, et extension spatiale), a permis de distinguer les jours pluvieux qui connaissent un risque d'entraîner des perturbations du fonctionnement des réseaux d'assainissement, des stations d'épuration, ou encore être l'origine d'inondations, de ceux qui n'en connaissent pas, ce qui répond déjà mieux aux besoins de connaissance de la pluie en hydrologie urbaine.

Ces jours pluvieux s'organisent en séquences pluvieuses de n jours consécutifs, et concernent un espace plus ou moins important, c'est pourquoi il fallait définir des séquences pluvieuses spatiales permettant d'intégrer la dimension spatio-temporelle des précipitations. La classification de ces séquences pluvieuses spatiales répond elle aussi aux besoins de connaissance de la pluie, car il est possible de répertorier les séquences à risques et leur fréquence.

Quels que soient les atouts que l'on puisse trouver à ces classifications, il paraît évident que l'approche des précipitations à l'échelle journalière ne constitue pas une approche assez fine, alors que l'analyse de données d'un pluviographe autorise une approche beaucoup plus fine, en informant à la fois sur les durées de pluie ou de temps sec, les hauteurs et les intensités de précipitations. Aussi, comme l'a montré l'exemple du 24 août 1987, un réseau de pluviomètres ne permet pas une connaissance du déroulement de la pluie, même s'il en donne une répartition spatiale. En d'autres termes, l'utilisation d'un réseau de pluviographes permet d'aborder les précipitations à des échelles temporelles fines (quart d'heure voire quelques minutes) et d'en connaître les variations spatiales, il est donc sans conteste mieux adapté pour atteindre le degré de connaissance de la pluie utile à la gestion des eaux pluviales.

Le réseau de pluviomètres utilisé pour l'analyse des répartitions spatiales des précipitations au sein de la région lilloise est le résultat d'une combinaison de deux réseaux pluviométriques distincts : celui de la Banque Pluviométrique Régionale et celui de l'Institut Royal Météorologique de Belgique. Ce réseau franco-belge résulte de la réunion de réseaux qui n'ont ni l'un ni l'autre été conçu pour étudier la pluviométrie de la métropole lilloise, et c'est pourquoi il comporte quelques défauts : certains secteurs sont équipés de stations très proches les unes des autres et d'autres secteurs ne sont équipés d'aucune station (secteur au Nord-Est de l'agglomération). Par ailleurs, ce réseau est composé de pluviomètres de modèle différent de part et d'autre de la frontière, et il semble que le modèle de pluviomètre français sous-estime légèrement les précipitations par rapport au modèle belge. Malgré les défauts que comporte ce réseau franco-belge, celui-ci a été estimé capable de fournir une information de qualité correcte sur la répartition spatiale des précipitations au sein de la région lilloise.

Avant une quelconque utilisation des données, il était essentiel d'une part, de remplacer les valeurs manquantes, et d'autre part, une fois les séries complétées, de tester leur validité. La méthode de la régression linéaire, utilisée pour remplacer les valeurs manquantes, se base sur la corrélation existant entre deux stations ce qui implique l'utilisation d'une station dont le "comportement" est proche, et permet d'intégrer la variabilité géographique des précipitations.

Pour vérifier la validité des données deux tests simples ont été utilisés : le test du double-cumul qui donne de bons résultats pour l'ensemble des stations, et le test du cumul des résidus, plus puissant, qui détecte des anomalies de très faible ampleur pour quatre stations. Néanmoins, à l'issue de ces deux tests, et vu la faiblesse des anomalies, l'option prise a été de conserver l'ensemble des stations pour les analyses ultérieures.

L'analyse en composantes principales et la classification ascendante hiérarchique des précipitations annuelles ont permis la distinction de trois zones pluviométriques homogènes : une première zone située au Sud-Ouest de l'agglomération lilloise, une seconde zone formant un croissant qui l'entoure par le Nord-Est, et une troisième en situation intermédiaire entre ces deux zones, soit en grande partie au niveau de l'agglomération elle-même. Un gradient positif orienté Sud-Ouest-Nord-Est, soit de la première vers la troisième zone, se manifeste et incite à formuler l'hypothèse que l'agglomération joue un rôle dans la répartition des précipitations de la région lilloise. Cette hypothèse n'a pas été vérifiée parce qu'il ne s'agit pas ici de définir le climat urbain de l'agglomération lilloise, mais d'aboutir à une connaissance fine de la pluie répondant aux besoins de l'hydrologie urbaine.

L'analyse des précipitations mensuelles a ensuite permis de constater que le régime pluviométrique mensuel moyen varie peu, voire pas, d'une station à l'autre. Ainsi, il est possible de définir le régime pluviométrique mensuel de la région lilloise pour la décennie 1982-1991. Celui-ci se caractérise par de faibles variations d'un mois à l'autre, avec tout de même des précipitations plus abondantes pendant les mois d'automne et les mois d'été, qu'en hiver ou au printemps, exception faite des mois perturbant ce schéma, c'est-à-dire janvier, mars et août.

L'étude des répartitions spatiales des précipitations à l'échelle annuelle ou mensuelle offre peu d'informations susceptibles de répondre aux préoccupations de l'hydrologue urbain, alors que celle des précipitations journalières permet d'y répondre plus efficacement. En effet, l'étude des précipitations journalières s'est surtout axée sur la mise en place de typologies permettant de distinguer les jours pluvieux ou les séquences pluvieuses spatiales, selon les volumes précipités mais aussi et surtout selon leur extension et leur variabilité spatiale, et les durées de temps sec les précédant.

A partir de ces critères, il est ainsi possible, non seulement de classer les jours pluvieux ou les séquences pluvieuses en fonction du risque qu'elles induisent ou non des problèmes de gestion des eaux pluviales urbaines (dans les réseaux d'assainissement ou les stations d'épuration, ou des pollutions du milieu naturel), mais d'en déterminer la fréquence. Ainsi, les jours pluvieux ou les séquences pluvieuses comportant de tels risques sont assez peu représentés pendant la décennie étudiée, mais ne doivent pas être pour autant négligés dans la mesure où ils conditionnent à la fois le mauvais fonctionnement des réseaux et des stations d'épuration et apportent des volumes d'eaux pluviales plus ou moins polluées au milieu naturel.

Si ces typologies permettent de cerner les épisodes pluvieux à risques, leur degré de précision est bien inférieur à la typologie des séquences pluvieuses réalisée au chapitre 3 à l'aide des données du pluviographe de Lesquin. Ainsi, il paraît évident que les données d'un réseau de pluviomètres, même à l'échelle journalière, fournissent une information insuffisante pour répondre aux préoccupations des hydrologues urbains, comme l'a d'ailleurs montré l'analyse de l'épisode du 24 août 1987, et donc qu'un réseau de pluviographes présente en comparaison de bien meilleures potentialités

Le territoire de la C.U.D.L. s'est équipé depuis 1992 d'un réseau de pluviographes auquel il fallait s'intéresser, même si le fait qu'il soit récent ne permet pas d'envisager un traitement statistique des données qu'il fournit. Aussi, ce réseau de pluviographes sera utilisé pour tester un autre outil complémentaire : le radar d'Abbeville.

La validité des données de ce radar, pour le territoire de l'agglomération lilloise, n'ayant pas encore été testée dans le but de les utiliser, non pas pour effectuer une prévision des précipitations, mais pour mieux connaître leur répartition à des échelles fines de temps et d'espace, il nous faudra montrer s'il est envisageable de les utiliser pour répondre à cette deuxième préoccupation.

TROISIEME PARTIE

ETUDE DE FAISABILITE DE L'UTILISATION DES IMAGES DU RADAR D'ABBEVILLE POUR L'HYDROLOGIE URBAINE

CHAPITRE 6

La mesure radar, complément d'une mesure au sol.

CHAPITRE 7

Quelle adéquation entre le radar d'Abbeville et le réseau de pluviographes de la C.U.D.L.?

CHAPITRE 8

Le radar d'Abbeville pour l'étude des séquences pluvieuses de l'agglomération lilloise : atouts et faiblesses.

Dans le contexte du développement de l'hydrologie urbaine et comme de nombreuses collectivités locales, l'agglomération lilloise s'est dotée d'un réseau de pluviographes, ces derniers apportant une réponse adéquate aux besoins de connaissance de la principale entrée de l'hydrosystème urbain, la pluie. En effet, ces réseaux de pluviographes, qui autorisent une connaissance précise de la pluie dans son déroulement (hauteur et durée de la pluie, pointes d'intensités) tout en permettant une approche spatiale, ont fait leurs preuves.

Mais si ces réseaux apportent des réponses aux besoins des hydrologues urbains, ils ne sont pas pour autant dénués de contraintes qui limitent la densité des réseaux : difficultés d'implantation des pluviographes en milieu urbain, auxquelles s'ajoute un coût économique important pour l'installation mais surtout pour la maintenance des pluviographes. Ainsi, l'intérêt qu'ont porté les hydrologues urbains à la technologie radar trouve en partie son origine dans le fait qu'elle apporte une solution à cette limitation de la densité des réseaux. Mais, ce n'est bien évidemment qu'un des atouts de la technologie radar qui permet en outre, une connaissance fine des intensités de précipitations, une appréhension directe et rapide de leurs répartitions spatiales et une prévision à courte échéance, et ce avec une résolution spatiale élevée et donc adaptée aux bassins versants urbains bien souvent de petite taille.

De nombreux travaux, portant sur la connaissance de la pluie en milieu urbain à des échelles fines de temps et d'espace, ont montré l'intérêt d'une association entre ces deux types de mesure, et ainsi, certaines collectivités locales, comme par exemple le département de Seine-Saint-Denis, l'utilisent de manière opérationnelle pour gérer leur réseau d'assainissement. Si depuis 1992, un réseau de pluviographes a vu le jour au sein du territoire de la Communauté Urbaine de Lille, l'utilisation de ce dernier n'est pas encore associée à la technologie radar. C'est pourquoi, une étude sur la faisabilité d'utiliser le radar d'Abbeville, radar météorologique le plus proche, en complément du réseau de pluviographes, pour l'étude des répartitions spatiales des précipitations au sein de l'agglomération lilloise a été entreprise ici.

L'étude menée ici constitue donc une première étape vers l'utilisation de la technologie radar pour répondre aux besoins de l'hydrologie urbaine de la métropole lilloise, et a été conçue comme une étude préliminaire à l'utilisation opérationnelle de celle-ci. Ainsi, l'objectif est ici de savoir s'il est possible d'utiliser les images du radar d'Abbeville pour les besoins de l'hydrologie urbaine. Aussi, il s'agit de répondre aux

questions suivantes : le radar "voit-il" bien les masses précipitantes surplombant l'agglomération lilloise, en estime-t'il correctement l'intensité ?

Avant d'entrer dans le vif du sujet, c'est-à-dire réaliser un certain nombre d'expériences permettant de répondre aux questions posées, le chapitre 6 cherchera à expliciter la complémentarité entre mesure au sol et mesure radar. Une fois les intérêts d'un réseau de pluviographes rappelés, le réseau de la C.U.D.L. et la méthode de validation des données sont décrits, puis la qualité des données est abordée à l'aide du taux de fonctionnement des pluviographes. Quant à la mesure radar, celle-ci est d'abord présentée dans ses principes généraux, puis on insistera sur ses limites et ses atouts, pour enfin présenter le radar d'Abbeville : caractéristiques du radar lui-même, sources d'erreur potentielles et caractéristiques des images.

Après cette entrée en matière, les chapitres suivants décrivent les expériences menées pour répondre aux questions posées ci-dessus. L'étude entreprise ici cherchant à vérifier la pertinence d'une utilisation du radar d'Abbeville, on s'attachera surtout à l'aspect qualitatif des données qu'il fournit en les comparant aux données collectées par le réseau de pluviographes. Pour atteindre l'objectif fixé, il est nécessaire de sélectionner quelques événements pluvieux pour lesquels on cherchera à vérifier d'une part, la qualité des données du radar pour la surface concernant l'agglomération lilloise dans sa globalité, et d'autre part, l'existence d'une relation entre les données du radar et celles des pluviographes à l'échelle du pixel, en utilisant le test d'indépendance du Khi-carré. Enfin, pour montrer que le radar n'est en aucun cas un outil infaillible et pour souligner le fait qu'il doit être utilisé avec précaution et en complément d'un réseau de pluviographes, deux événements proposant une réponse différenciée du radar seront analysés plus précisément en recherchant les facteurs influençant la réponse du radar.

CHAPITRE 6

LA MESURE RADAR, COMPLEMENT D'UNE MESURE AU SOL

6.1. LA MESURE DES PRECIPITATIONS PAR UN RESEAU DE PLUVIOGRAPHES.....	194
6.1.1. INTERETS D'UN RESEAU DE PLUVIOGRAPHES.....	194
6.1.2. PRESENTATION DU RESEAU DE LA C.U.D.L.	196
6.1.3. METHODE DE VALIDATION DES DONNEES.	201
6.1.4. LES TAUX DE FONCTIONNEMENT DES PLUVIOGRAPHES.....	203
6.2. LA MESURE RADAR.	205
6.2.1. PRINCIPES GENERAUX ET EQUATION DU RADAR.....	205
6.2.2. LES LIMITES DE LA MESURE RADAR.....	211
6.2.3. LES ATOUTS DE LA MESURE RADAR.	217
6.3. LE RADAR D'ABBEVILLE.	219
6.3.1. CARACTERISTIQUES DU RADAR D'ABBEVILLE.....	219
6.3.2. LES SOURCES D'ERREURS POTENTIELLES POUR LE RADAR D'ABBEVILLE.....	220
6.3.3. CARACTERISTIQUES DES IMAGES DU RADAR D'ABBEVILLE.....	222

Le but de ce chapitre est de cerner la complémentarité entre la mesure radar, réalisée en altitude, et la mesure au sol, effectuée à l'aide d'un réseau de pluviographes, et ce en exposant leurs atouts et défauts respectifs.

Dans un premier temps, le réseau de pluviographes, mis en place par le Service Assainissement de la Communauté Urbaine de Lille, fera l'objet d'une description : bref historique, localisation des stations et qualité des mesures, abordée à l'aide du taux de fonctionnement des pluviographes.

Puis dans un second temps, la mesure des précipitations à l'aide de la technologie radar est abordée dans ses principes et ses limites. Les principes généraux de la mesure radar sont rappelés afin de bien comprendre à quoi correspondent les valeurs mesurées. Quant aux sources d'erreurs ou limites de ce type de mesure, elles sont abordées afin de signaler qu'il ne s'agit en aucun cas d'une technique de mesure parfaitement exacte, fait dont il faudra tenir compte dans les analyses ultérieures.

Enfin, dans un troisième temps, il s'agit de présenter le radar d'Abbeville dont les données ont été utilisées dans cette étude, en soulignant les potentielles sources d'erreurs auxquelles il est soumis.

6.1. LA MESURE DES PRECIPITATIONS PAR UN RESEAU DE PLUVIOGRAPHES.

6.1.1. INTERETS D'UN RESEAU DE PLUVIOGRAPHES.

De nombreux auteurs soulignent qu'un réseau de pluviographes répond de manière satisfaisante aux besoins de l'hydrologie urbaine.

La demande de l'hydrologue urbain, en matière de pluviométrie, est de connaître à la fois, les hauteurs précipitées, et ce dans des laps de temps très courts, et leur répartition spatiale, afin de gérer au mieux le réseau d'assainissement qu'il soit unitaire ou séparatif.

Le pluviographe est un appareil de mesure qui par son principe de fonctionnement permet d'obtenir l'information demandée par les hydrologues : la mesure du pluviographe associe une hauteur de pluie à un laps de temps, et permet donc de calculer une intensité moyenne. Par ailleurs, cette mesure est située dans le temps et peut être synchronisée avec

d'autres appareils de métrologie (tels que les limnigraphes mesurant les débits dans les réseaux).

En milieu urbain, les bassins versants sont assez petits et imperméabilisés, ce qui implique des temps de concentration assez courts, d'où la nécessité de pouvoir travailler en termes de pluviométrie avec des pas de temps courts, nécessité à laquelle le pluviographe répond bien.

Aussi, lorsque se met en place un réseau de pluviographes, celui-ci permet de multiplier de telles mesures ponctuelles et donc d'approcher la répartition spatiale des précipitations. "Or, la connaissance de la répartition des pluies sur un bassin versant urbain, et de leurs déplacements, est essentielle pour l'hydrologue puisqu'elle se traduit en termes, de débit dans tel collecteur ou tel autre, de remplissage de tel ou tel bassin de rétention et par suite de décisions à prendre sur la gestion des bassins et des déversoirs" (PROST T., 1989)

Ainsi, l'hydrologie urbaine sollicite "un réseau très dense d'observations pluviométriques bien synchronisées avec les enregistrements hydrométriques et à des pas de temps très courts (10, 5 minutes et moins)" (DACHARRY M., 1984) et "dans la plupart des cas pratiques, c'est une surveillance à la fois dans l'espace et dans le temps qui est nécessaire - la solution technique la plus évidente consiste à développer des réseaux de mesure pluviométrique au sol." (SAUVAGEOT H., 1983).

En outre, un réseau de pluviographes permet une évaluation différente des pluies de temps retour donné. En effet, lors de tels calculs, ce sont généralement les intensités maximales d'une seule station qui sont utilisées pour un secteur géographique donné. Or, lorsque le classement des intensités maximales s'effectue sur un réseau de pluviographes, il apparaît d'importantes différences entre ces derniers. Par exemple, dans l'agglomération nancéenne, sur un pas de temps horaire, les valeurs atteintes ou dépassées une fois en 10 ans varient du simple au double (de 26 mm.H⁻¹ pour l'un des pluviographes à 52 mm.H⁻¹ pour un autre), malgré la faiblesse des distances séparant les pluviographes (ROUSSEL I. et al., 1994).

L'intérêt d'un réseau de pluviographes, installé pour des études d'hydrologie urbaine et à des fins de gestion du réseau d'assainissement en temps réel ou non, est largement démontré par une multitude d'auteurs.

Tout comme la Communauté Urbaine de Lille, bon nombre de collectivités locales, telles que le département de Seine-Saint-Denis, la Communauté Urbaine de Bordeaux, le District Urbain de Nancy, la Communauté Urbaine de Lyon, la ville de Marseille et bien

d'autres, soucieuses d'améliorer la gestion de leurs réseaux d'assainissement, se sont dotées de tels réseaux au cours de ces dernières décennies.

Les paragraphes qui suivent permettent, d'une part, de décrire le réseau mis en place par la Communauté Urbaine de Lille sur son territoire tel qu'il était en 1994, d'autre part, d'expliquer la méthode de validation des données utilisée et enfin, d'informer sur la qualité de la mesure.

6.1.2. PRESENTATION DU RESEAU DE LA C.U.D.L.

Depuis mai 1992, un réseau de pluviographes se met en place au sein de la Communauté Urbaine de Lille afin d'optimiser la gestion du réseau d'assainissement et de limiter les problèmes liés aux inondations, pas nécessairement importantes mais parfois chroniques dans certains secteurs.

Comme le souligne le S.D.A.U.¹, la ressource en eau potable, constituée essentiellement par la nappe de la craie, est affectée par la pollution urbaine. Parmi les objectifs, inscrits dans ce schéma et visant à protéger la ressource en eau potable, ceux concernant la limitation des pollutions à la source sont essentiels, et constituent par ailleurs une réponse à la Directive de mai 1991 sur la collecte et le traitement des eaux résiduaires urbaines (91-271-CEE).

Cette limitation passe par la restauration des réseaux d'assainissement, par la mise en place de bassins de traitement des eaux pluviales, et par la protection des zones de champs captants. La mise en place de bassins de traitement se justifie dans la mesure où les eaux pluviales, chargées de polluants (métaux lourds, hydrocarbures) s'infiltrent dans les nappes d'eau souterraines.

Quant aux eaux de surface, elles subissent une détérioration due principalement à 2 causes : des eaux usées domestiques ou industrielles insuffisamment traitées avant leur rejet, et des eaux pluviales urbaines entraînant une pollution directe et indirecte.

L'amélioration de la qualité de ces eaux de surface induit d'une part, un meilleur assainissement des eaux usées, et d'autre part, le traitement des eaux pluviales et la limitation de l'imperméabilisation des sols. Ces objectifs de reconquête de la qualité des eaux souterraines comme des eaux de surface nécessitent la mise en place d'appareils de mesures, tels que des pluviographes, des limnigraphes... permettant la connaissance des flux à dépolluer.

¹Schéma directeur de développement et d'urbanisme de la métropole lilloise - 1994.

L'installation du réseau de pluviographes se fait progressivement au sein du territoire communautaire. Ainsi, à la fin de l'année 1994, 13 pluviographes équipent ce territoire, la densité étant de 1 pluviographe pour 50 km². Le Tableau n°68 précise la date de mise en fonctionnement de chaque pluviographe et souligne bien le fait que l'équipement du territoire se fait graduellement.

Tableau n°68 : Date de mise en fonctionnement des pluviographes.

N°	Nom du pluviographe	Date d'installation
P1	GRIMONPONT (Wattrelos)	18 mai 1992
P2	MARQUETTE	16 juillet 1992
P3	HOUPLIN-ANCOISNE	30 juillet 1992
P4	FACHES-THUMESNIL	9 septembre 1992
P5	SECLIN	9 septembre 1992
P6	HOUPLINES	29 octobre 1992
P7	SERGEANT (Mons-en-Baroeul)	29 octobre 1992
P8	FOREST	26 janvier 1993
P9	HALLUIN	28 janvier 1993
P10	LINSELLES	20 août 1993
P11	COMINES	17 janvier 1994
P12	JOUHAUX (Lille)	17 janvier 1994
P13	FOURNES	17 mars 1994

Entre parenthèses : nom de la commune lorsque le pluviographe porte un autre nom que celui de la commune où il est installé.

Lorsque l'installation d'un réseau de pluviographes est décidée à l'intérieur d'une collectivité locale, la première difficulté à vaincre est celle de trouver des emplacements nécessaires aux pluviographes.

Il faut, en effet, utiliser des emplacements qui répondent simultanément à deux critères : d'une part, respecter le plus possible les normes fixées par l'O.M.M., et d'autre part, protéger l'appareil de mesure contre les actes de vandalisme.

Ces deux critères permettant de définir les sites d'implantation possibles, il faut ensuite choisir ceux qui permettent d'aboutir à une répartition équilibrée des pluviographes sur le territoire.

La Carte n°7 permet de localiser les pluviographes au sein de la C.U.D.L. et de noter qu'il existe deux catégories principales de pluviographes : ceux qui sont situés à l'intérieur de l'agglomération urbaine et ceux qui sont situés à quelques kilomètres autour de

l'agglomération lilloise. Seul le pluviographe de Fournes-en-Weppes est situé en zone rurale, les postes de Seclin, Linselles, Halluin, Forest-sur-Marque, et Houplin-Ancoisne sont installés en zone périurbaine, les autres postes Marquette, Jouhaux, Grimonpont, Faches-Thumesnil, Houplines, Sergeant et Comines sont localisés en milieu urbain.

Il faut noter que dans le cas présent l'implantation des pluviographes s'est faite principalement sur les sites des stations d'épuration ou sur des sites dont la Communauté Urbaine de Lille a la maîtrise, et ne correspondent donc pas forcément à des sites choisis pour élaborer un réseau optimal vis-à-vis des objectifs poursuivis. Si la répartition des postes de mesure à l'intérieur de la C.U.D.L. est correcte :

- il n'y a pas de postes faisant double-emploi puisque les pluviographes les plus proches sont séparés par 3 kilomètres;

- il n'existe pas de secteur dépourvu de station de mesure, bien qu'il y ait deux secteurs favorisés (les secteurs SW et NE comptant respectivement 4 et 5 pluviographes, alors que les secteurs NW et SE n'en comptent que 2).

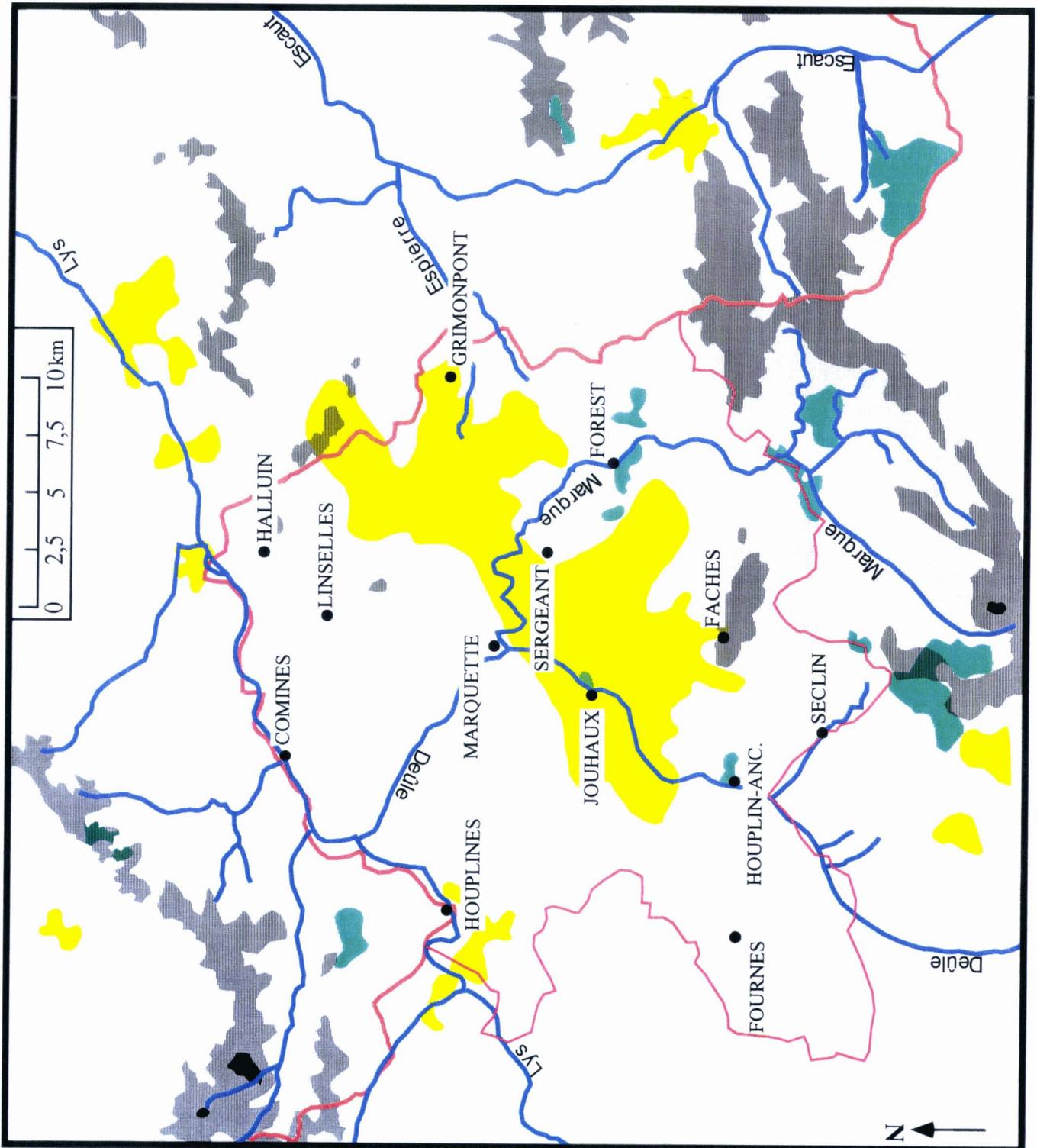
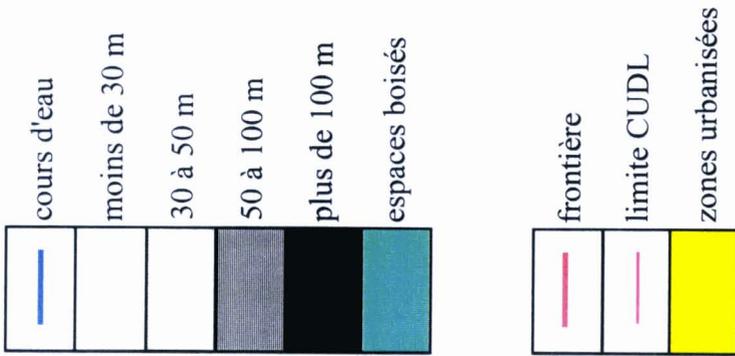
Néanmoins, lorsqu'on se place à l'échelle des bassins versants urbains, ce réseau présente quelques faiblesses. En effet, d'une part, si certains bassins versants sont équipés de 1 à 2 pluviographes, certains ne le sont pas du tout, et d'autre part, les bassins fortement urbanisés donc fortement imperméabilisés où se concentrent les problèmes semblent sous équipés, seulement 3 pluviographes pour les zones les plus urbanisées : "agglomération lilloise" et "Espierre" (Carte n°8).

Les appareils qui équipent les différents sites sont des pluviographes à augets basculeurs associés à un système électronique de mémorisation des données (CR2M) qui peut être interrogé soit à l'aide d'un ordinateur portable, soit à l'aide d'un modem.

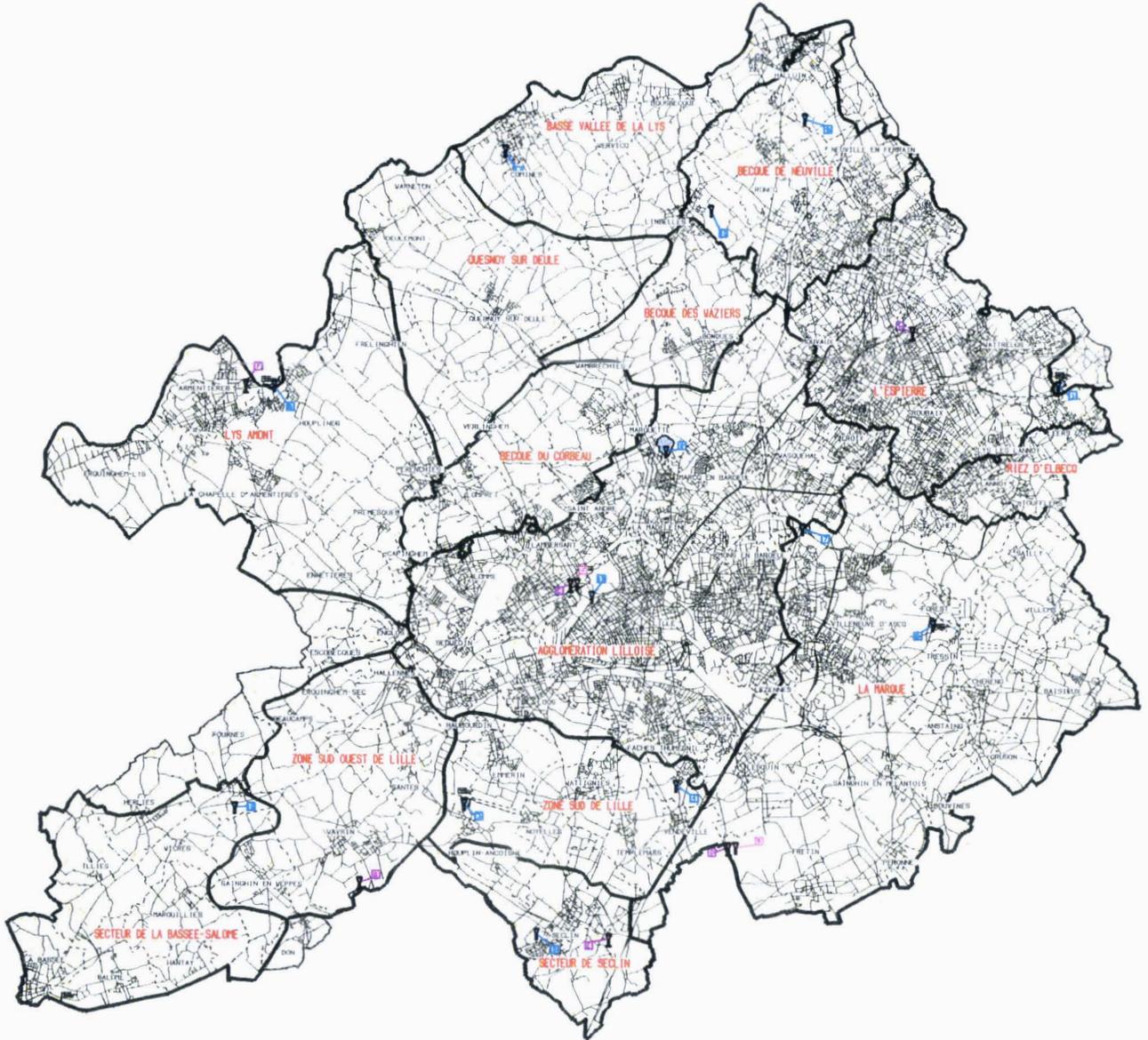
Avec le système CR2M la fréquence des interrogations peut descendre jusqu'à dix secondes, mais le délai le plus court est ici fixé à 1 minute, ce qui permet de connaître le nombre de basculements par minute. Le système CR2M permet le stockage et le transfert des données qu'il faut ensuite valider, ce qui revient à effectuer un tri parmi les données entre celles qui sont correctes et celles qui ne le sont pas, soit à émettre des critiques sur la qualité de ces données.

Le rapatriement des données est quotidien et s'effectue manuellement à l'aide d'un modem, et il est envisagé de mettre en place un système de rapatriement automatique des données, dans le cadre du projet de remplacement du parc actuel (installation de nouveaux pluviographes à pesée).

Carte n°7 : Localisation des pluviographes de la C.U.D.L.



Carte n°8 : Les bassins versants de la Communauté Urbaine de Lille.



ECHELLE : 1/200000
LE 17.05.94

INFOGRAPHIE CUDL

Deux pluviographes ont été installés en 1995 : un au Château d'eau de Mouvaux (en mai, bassin versant de l'Espierre², [656.7 ; 333.8] à 50 m d'altitude) et l'autre à l'Usine des Eaux du Nord de Prêmesques (en juin, bassin versant de la Lys amont, [643.5 ; 328] à 38 m d'altitude), auxquels s'ajoute un pluviographe mobile utilisé pour les études diagnostiques. Le service "Assainissement, Epuration et Métrologie" de la Communauté Urbaine de Lille envisage d'équiper d'autres bassins versants comme celui de Quesnoy-sur-Dêule, celui de l'agglomération lilloise (Lezennes, et Sequedin ou Englos), et celui de l'Espierre (Hem), se qui permettra de rééquilibrer l'équipement des divers bassins versants.

La méthode de validation présentée ci-dessous est toujours d'actualité et cette dernière est accompagnée d'un "journal de bord" sur lequel sont notés toutes les interventions sur le réseau.

6.1.3. METHODE DE VALIDATION DES DONNEES.

La validation des données est une étape incontournable de la mise en forme des données avant une quelconque utilisation ultérieure. La méthode de validation présentée ici est une méthode adaptée à l'utilisation ultérieure des données : ici, les données pluviographiques ne sont pas utilisées pour gérer en temps réel les réseaux d'assainissement mais pour comprendre leurs éventuels dysfonctionnements, et constituent jour après jour une banque de données sur laquelle il sera possible d'effectuer des traitements statistiques dans quelques années.

Les données étant utilisées *a posteriori*, une validation horaire ne semble pas indispensable et c'est pourquoi la validation des données est réalisée au pas de temps journalier, tout en sachant qu'il est toujours possible de connaître le déroulement d'un événement à un pas de temps plus fin (heure, quart d'heure ou minute....). De plus, le pas de temps journalier permet de comparer aisément les stations entre elles.

La méthode de validation entreprise comprend plusieurs étapes explicitées dans les paragraphes qui suivent.

Les données fournies par les pluviographes communautaires, connectés à un système CR2M, sont du même type que celles fournies par le pluviographe de Lesquin : il s'agit d'une hauteur d'eau cumulée sur un laps de temps donné (le plus petit étant ici la minute).

²Voir carte des bassins versants de la C.U.D.L. (Carte n°8).

Afin de pouvoir effectuer les cumuls de précipitations de 6 heures du jour à 6 heures du lendemain, conformément aux autres stations du réseau pluviométrique régional, l'extraction des données est réalisée au pas de temps horaire.

La validation journalière consiste à affecter des codes "erreur" ou des codes "qualité" en se basant sur des règles strictes. Les codes utilisés sont des lettres afin de supprimer tout risque de confusion avec les mesures de précipitations.

Ces codes sont issus d'une critique métrologique, associée à une critique hydrologique et une critique météorologique. L'affectation des lettres étant réalisée dans cet ordre.

La critique métrologique consiste à repérer, les dysfonctionnements du pluviographe, les opérations de maintenance, et à vérifier l'horloge. Si un pluviographe ne fonctionne pas, le ou les jours concernés n'apparaissent pas lors de l'extraction des données, et le code correspondant est "D" (pour dysfonctionnement). Aux opérations de maintenance, quelles qu'elles soient, du simple déchargement des données à des réparations plus complexes, correspondra le code "M". Enfin, le code "H" sera utilisé lorsque l'horloge est dérégulée.

La critique hydrologique consiste à apprécier les valeurs en ayant recours aux valeurs indiquées aux autres stations. Le code "C" (correct) correspondra aux journées pour lesquelles il n'existe aucune ambiguïté, aucune incertitude, la valeur est conforme à celles des autres stations. Le code "F" (faux) sera utilisé lorsque la valeur est aberrante, et que rien ne conforte l'idée qu'elle soit probable, le code "I" (incertain) lorsqu'un doute persiste quant à la validité de la donnée. Enfin, le code "Z" (basculément isolé) lorsque la valeur est de 0.2 mm et présente sur un seul poste.

La critique météorologique consiste à signaler des conditions météorologiques pouvant influencer la mesure ou l'expliquer. Les codes correspondent à des observations faites à la station de Lesquin ou de visu et sont : "V" pour vent fort, "N" pour les précipitations sous forme de neige, "G" pour les précipitations sous forme de grêle, "O" pour les orages et "B" pour le brouillard.

L'affectation de ces codes qualité permet d'une part, d'effectuer un classement des valeurs et d'élaborer une valeur synthétique : le taux de fonctionnement du pluviographe, et d'autre part, de choisir d'utiliser ou non la donnée dans des traitements ultérieurs en toute connaissance de cause.

Cette méthode de validation a été appliquée aux données des années 1993 et 1994, mais le détail des résultats n'est pas reporté ici dans la mesure où il constituerait un tableau

dont la lecture serait fastidieuse et peu instructive. Aussi, il est préférable de présenter un indice synthétique par pluviographe : son taux de fonctionnement pour chacune des deux années.

6.1.4. LES TAUX DE FONCTIONNEMENT DES PLUVIOGRAPHES.

Pour aboutir au taux de fonctionnement de chaque pluviographe, les valeurs sont classées selon 5 codes-qualité prioritaires : correct (C), faux (F), incertain (I), basculement isolé (Z) et dysfonctionnement (D).

Pour calculer le taux de fonctionnement l'effectif des valeurs ayant pour code-qualité "C" est rapporté à la période de fonctionnement, soit 365 jours dans le cas d'une année complète ou moins si le pluviographe a été installé en cours d'année.

Le Tableau n°69 permet de connaître le taux de fonctionnement global des deux années 1993 et 1994 pour l'ensemble des postes.

Tableau n°69 : Taux de fonctionnement global pour les deux années (1993 et 1994) des pluviographes de la C.U.D.L.

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13
67.1	68.4	76.2	32.7	57.4	73.2	21.8	65.8	60.6	66.5	62.8	79.4	91.4

Globalement, les taux de fonctionnement des pluviographes sont acceptables (60 à 80 %) voire même excellents (environ 90 %), et seuls deux pluviographes ont un taux de fonctionnement médiocre (inférieur à 35 %).

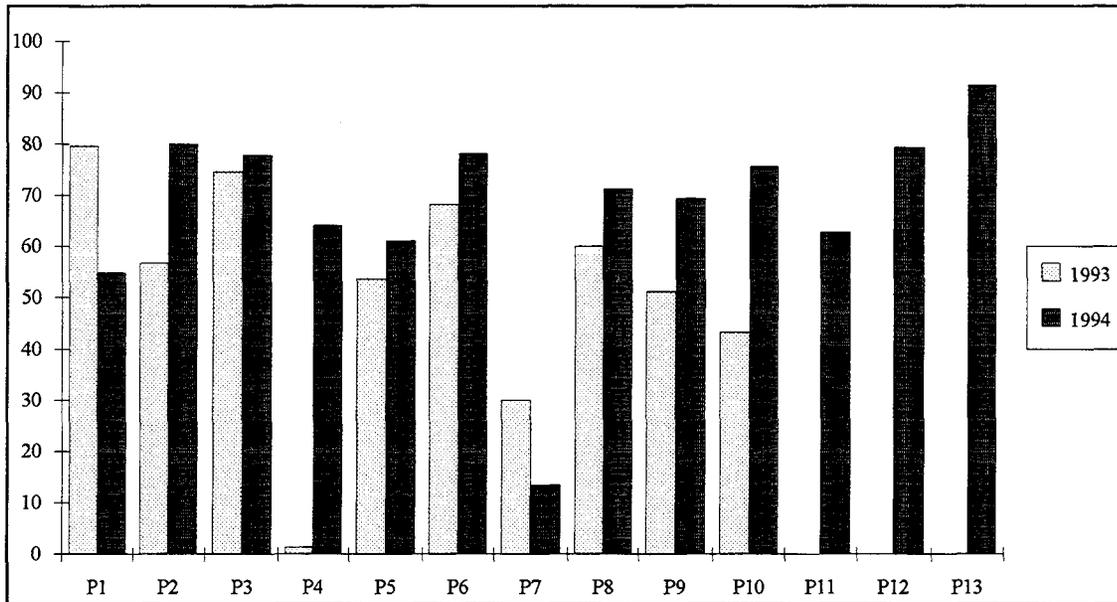
Néanmoins, l'existence de dysfonctionnements ou de mesures erronées constituera une contrainte dans le choix des événements ou périodes à étudier, puisqu'elle constitue un facteur limitant du nombre de points de mesure disponibles.

Le Graphique n°48 permet de présenter les taux de fonctionnements de manière plus précise en distinguant chacune des deux années. Il montre que la qualité de la mesure s'améliore puisque 8 postes sur 10 (présents les deux années) voient leur taux de fonctionnement augmenter, ce qui signifie que les données de l'année 1994 ont un meilleur potentiel d'utilisation ultérieure que celles de 1993.

Si la qualité de la mesure s'est améliorée, il est néanmoins difficile d'envisager une analyse systématique des données, puisque celle-ci risque d'être gênée par la présence de dysfonctionnements ou de mesures erronées affectant un ou plusieurs postes de manière assez fréquente. Cependant, l'utilisation ponctuelle de ces données, par exemple sur des séquences

de précipitations précises, est concevable dans la mesure où les codes-qualité associés aux données permettent d'effectuer un choix. Ainsi par la suite, les données issues de ce réseau récent ne seront prises en compte que pour l'étude de quelques événements, et ne seront en aucun cas soumises à des analyses statistiques.

Graphique n°48 : Taux de fonctionnement des pluviographes de la C.U.D.L. en 1993 et 1994.



En conclusion, si de tels réseaux de pluviographes possèdent des qualités indéniables pour les études menées en hydrologie urbaine car ils permettent une "bonne connaissance des précipitations et de leur évolution, cette connaissance occupant une place prépondérante dans la définition des stratégies de gestion des réseaux" (ANDRIEU H. et JACQUET G., 1987), il existe néanmoins quelques inconvénients. Parmi ceux-ci, il faut citer le coût qu'ils induisent aussi bien lors de l'implantation (coût des appareils) que lors de leur maintenance (déplacements, réparations, transmission des données, matériel informatique connecté au pluviographe...). Ou encore, le faible nombre de sites répondant à la fois, aux critères d'implantation d'un pluviographe, c'est-à-dire répondant le mieux possible aux normes O.M.M., et aux critères d'accès pour la maintenance, soit un accès facile mais néanmoins protégé du vandalisme.

De tels inconvénients limitent la densité des réseaux comme le signalent SAUVAGEOT H. (1983), ANDRIEU H. et JACQUET G. (1987) ou PROST T. (1989). Mais, comme le soulignent ces trois auteurs, il existe une solution à la limitation de la densité des réseaux de pluviographes : l'utilisation de la technologie radar.

"La télédétection à l'aide de radars météorologiques offre une solution élégante puisque, les signaux météorologiques étant interprétables en termes d'intensité de précipitations, elle permet une surveillance hydrologique sur de grandes étendues" (SAUVAGEOT H., 1983).

Dans la partie suivante, sont présentés les principes généraux de la mesure radar, les principales sources d'erreurs affectant cette mesure, et les atouts essentiels de cet outil.

6.2. LA MESURE RADAR.

C'est pendant la Seconde Guerre Mondiale et afin de détecter les avions que la technologie radar (RADio Detection And Ranging - détection et télémétrie par radio) a connu ses premières utilisations. Lors de ces prémices de la technologie radar, la détection de nuages constituait un sérieux inconvénient, c'est pourtant là qu'il faut chercher l'origine de l'application de cette technologie à la météorologie. Cette technologie a connu de nombreux développements et l'amélioration des performances des radars a conduit à la diminution des longueurs d'ondes utilisées : ondes métriques, décimétriques, puis centimétriques. Grâce à cette diminution des longueurs d'ondes apparurent les zones précipitantes, ce qui donna naissance aux applications du radar en météorologie. Ainsi, la mesure radar constitue, depuis les années 1960, un outil d'observation météorologique à part entière.

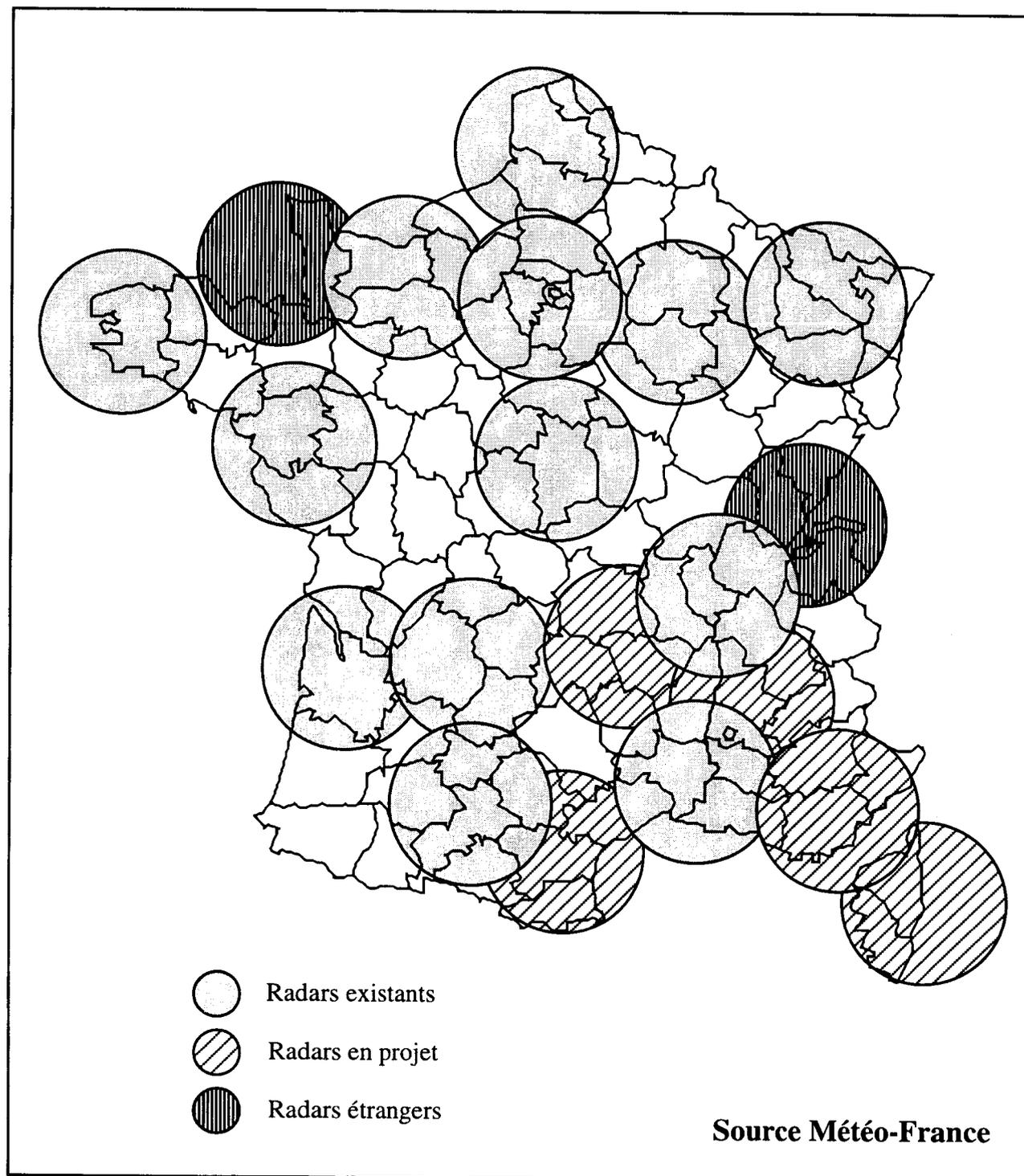
En France, comme dans d'autres pays, s'est développé un réseau de radars, mis en place et géré par Météo-France. Ce réseau, né dans les années 1980 et baptisé ARAMIS, compte 13 radars en 1993, auxquels s'ajoutent 2 radars étrangers et 5 radars en projet en 1994. Ce réseau permet un suivi des systèmes précipitants très utile pour la prévision météorologique.

La Carte n°9 localise l'ensemble des radars appartenant au réseau ARAMIS, et montre que la France dispose d'une bonne couverture de son territoire, même si quelques secteurs ne sont pas couverts. Ce réseau ARAMIS se compose de deux principaux types de radars : type "MELODI" et type "RODIN", qui diffèrent essentiellement par leur longueur d'onde d'émission, et l'angle d'ouverture du faisceau.

6.2.1. PRINCIPES GENERAUX ET EQUATION DU RADAR.

Le principe de la mesure radar (Figure n°6), découvert par HERTZ en 1922, est basé sur la réflexion des ondes électromagnétiques par certains corps.

Carte n°9 : Le réseau ARAMIS, portée utile environ 200 kilomètres, (1 : 7 150 000).



Ces ondes électromagnétiques sont émises par le radar dans l'atmosphère à intervalles réguliers (T_r). Ces dernières sont puissantes mais très brèves (durée d'impulsion : τ), et de fréquence élevée (f_0). Ces ondes électromagnétiques sont concentrées dans un faisceau de très faible ouverture (δ) par une antenne directive décrivant un cercle autour du radar.

Ce faisceau rencontre des cibles qui interceptent une partie du rayonnement émis par le radar et en rétrodiffusent une autre partie dans diverses directions. La fraction de rayonnement renvoyée en direction du radar constitue le signal utile (SAUVAGEOT H., 1983).

Il ne suffit pas d'intercepter ce signal utile, il faut être capable d'en localiser la provenance, ce qui revient à localiser la cible.

"La position de la cible (ou volume diffusant) est repérée par le site (α) et l'azimut (φ) du faisceau, ainsi que par le temps (T) écoulé entre l'émission de l'impulsion et la réception du signal" (FAURE D., 1993), durée qui peut être convertie en distance (d).

Le site (angle que fait le faisceau avec l'horizontale), l'azimut (angle que fait, dans un plan horizontal, la projection du faisceau avec le Nord géographique) et le temps écoulé entre émission et réception sont des valeurs mesurées au radar, elles sont donc connues.

Le volume diffusant est défini par sa section (s) ou résolution latérale et sa profondeur (p) ou résolution radiale, qui constituent, tout comme la distance (r) de la cible au radar, des inconnues.

Ces trois inconnues sont déterminées par les équations (1, 2, 3), en admettant l'hypothèse suivante : *sur des distances n'excédant pas quelques centaines de kilomètres, les ondes électromagnétiques se propagent en ligne droite et à vitesse constante ($C = 300\ 000$ km.s⁻¹).*

$$r = C \cdot T / 2 \quad (1)$$

$$s = r \cdot \delta = C \cdot T \cdot \delta / 2 \quad \text{à la distance } r \quad (2)$$

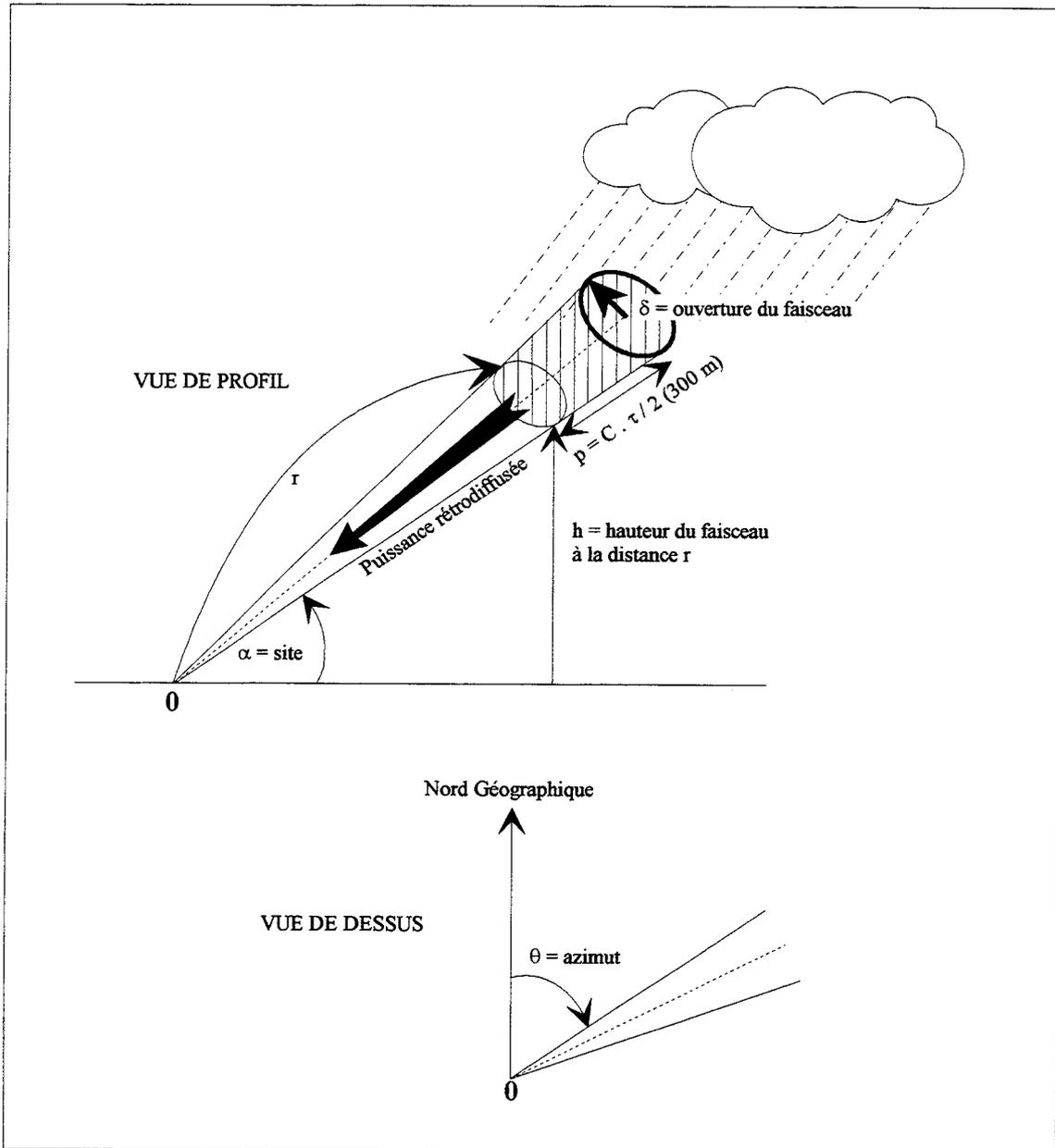
$$p = C \cdot \tau / 2 \quad \text{à toute distance} \quad (3)$$

Par ailleurs, il est possible de définir une "distance limite" ou portée maximale du radar (PM). En effet, il existe une distance maximale entre le volume diffusant et le radar, définie par la durée nécessaire au rayonnement électromagnétique rétrodiffusé pour atteindre le radar, durée qui doit être inférieure à l'intervalle de temps : ($T_r - \tau$) pour que l'onde

rétrodiffusée par la cible puisse être interceptée par le radar avant l'émission de l'impulsion suivante. Cette portée maximale (4) s'écrit :

$$PM = C \cdot (Tr - \tau) / 2 \quad (4)$$

Figure n°6 : Principe de la mesure radar.



D'après FAURE D. (1993)

Après avoir localisé la cible, il faut parvenir à transformer la réflectivité radar du volume diffusant en intensité de précipitations. Cette transformation est possible grâce à l'équation du radar.

Les zones cibles explorées par le faisceau du radar étant remplies par un grand nombre de diffuseurs indépendants, le signal reçu par le radar, à l'instant t et pour la distance r , est la somme des ondes renvoyées par chaque diffuseur situé dans le volume visé.

La relation entre l'intensité moyenne du signal rétrodiffusé (P_r) et les propriétés du volume diffusant, situé à la distance r , est exprimée par l'équation du radar (5) :

$$P_r = C_1 \cdot L^2 \cdot \eta / r^2 \quad (5)$$

où C_1 est une constante dépendant uniquement des caractéristiques techniques du radar utilisé (gain de l'antenne, longueur d'onde, largeur du faisceau...),

L^2 exprime l'atténuation par absorption et diffusion pendant le trajet aller-retour entre le radar et la cible, celle-ci dépend de la longueur d'onde et elle est considérée comme négligeable pour un radar de 10 cm de longueur d'onde,

η est la réflectivité radar qui ne dépend que des propriétés diffusantes de la cible, et r la distance.

La diffusion des ondes électromagnétiques liée aux hydrométéores (excepté la grêle) est située dans le domaine de diffusion de Rayleigh, c'est-à-dire que le rapport de la taille des diffuseurs à la longueur d'onde est inférieur à 1.

Ainsi, la section efficace de rétrodiffusion radar (σ) d'un diffuseur sphérique et homogène est donnée par l'approximation de Rayleigh (6) :

$$\sigma = (\pi^5 / \lambda^4) \cdot |K^2| \cdot D^6 \quad (6)$$

où D est le diamètre du diffuseur,

λ la longueur d'onde,

et $|K^2|$ est le facteur diélectrique du matériau constituant la sphère, sa valeur est proche de 0.93 pour l'eau.

"La réflectivité radar d'une population d'hydrométéores sphériques dont les propriétés physiques et la répartition sont homogènes au sein du volume de résolution est donnée par la relation" (7), (SAUVAGEOT H., 1983) :

$$\eta = \sum_i \sigma_i = (\pi^5 / \lambda^4) \cdot |K^2| \cdot \sum_i D_i^6 \quad (7)$$

la sommation portant sur le volume unité.

Le terme $\sum D_i^6$ appelé facteur de réflectivité radar et représenté par la lettre Z, qui s'écrit (8) :

$$Z = \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} D^6 \cdot N(D) dD \quad (8)$$

où $N(D) dD$ représente le nombre de gouttes de diamètre compris entre D et $(D + dD)$ contenues par unité de volume à un instant donné.

"Le facteur Z est une propriété moyenne de la population de diffuseurs répartie dans le volume d'impulsion." (SAUVAGEOT H., 1983). Il est enregistré par la chaîne d'acquisition du radar selon une échelle logarithmique et exprimé en dBZ :

$$Z \text{ (dBZ)} = 10 \cdot [\text{Log } Z \text{ (mm}^6 \cdot \text{m}^{-3})] \quad (9)$$

C'est cette valeur qui constitue la mesure radar. A partir du facteur de réflectivité radar (Z), il est possible d'estimer une intensité de précipitation équivalente R (en mm.H⁻¹). "Elle est définie comme la quantité d'eau traversant une surface unité pendant un temps donné et s'exprime" (10), (FAURE D., 1993) :

$$R = \pi / 6 \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} D^3 \cdot N(D) \cdot [v(D) - w] dD \quad (10)$$

où w représente la composante verticale de la vitesse de l'air, positive vers le haut, et $v(D)$ la vitesse limite de chute des particules de diamètre D, souvent estimée par une expression de la forme $v(D) = k \cdot D^L$ (L variant de 0.5 à 0.8 pour la pluie)

Pour la conversion des mesures de réflectivité radar en estimation d'intensité de précipitations, une relation semi-empirique du type $Z = a R^b$ est couramment employée.

"Les paramètres a et b de cette relation dépendent de la distribution granulométrique des gouttes donc du type de précipitations et sont généralement choisis *a priori* pour un événement pluvieux voire pour un ensemble d'événements pluvieux." (FAURE D., 1993)

Les plus courantes de ces relations $Z = a \cdot R^b$ sont les suivantes, (la relation de Marshall et Palmer étant de loin la plus utilisée) :

$$- Z = 140 \cdot R^{1.5} \text{ (Joss, 1975) pour la bruine;}$$

- $Z = 200 \cdot R^{1.6}$ (Marshall et Palmer, 1948) pour les pluies stratiformes;

- $Z = 486 \cdot R^{1.37}$ (Jones, 1956) pour les pluies convectives;

- $Z = 1780 \cdot R^{2.21}$ (Seklon et Srivastava, 1970).

Pour terminer cette présentation sur la mesure radar, il faut aborder les caractéristiques de l'imagerie. L'information fournie à l'utilisateur, après un certain nombre de traitements numériques, est la valeur d'un niveau de réflectivité, exprimé en dBZ, pour chaque pixel de l'image.

Selon le type de radar et le type de chaîne de traitement, le nombre de pixels varie ainsi que leur taille. Par contre, pour tous les types de radar, le radar est toujours au centre de l'image et la réflectivité d'un pixel est classée sur 16 niveaux.

Les principes de la mesure radar étant résumés ci-dessus, aborder, dans un second temps, les limites de la technologie radar s'avère un passage obligé dans la mesure où il est aberrant d'utiliser un outil sans en connaître les potentiels défauts.

6.2.2. LES LIMITES DE LA MESURE RADAR.

Si la détection des zones de pluie par la technologie radar présente des atouts intéressants, elle n'est cependant pas dépourvue de limites. En effet, les quelques sources d'erreurs affectant la mesure radar ne sont pas négligeables puisqu'elles sont susceptibles de fausser l'analyse des précipitations.

Les sources d'erreurs citées ci-dessous sont présentées par LEPAPE A. et al., (1991), qui constitue la principale référence utilisée pour ce paragraphe.

Ces sources d'erreurs ont en commun les conséquences suivantes :

- l'apparition d'échos en des endroits où il n'y a pas de précipitations;
- l'absence d'échos en des endroits où il y a des précipitations;
- des intensités d'échos surestimant ou sous-estimant les précipitations.

Les sources d'erreurs, telles que les échos fixes, l'effet de masque et les échos parasites, sont surtout liées aux facteurs environnementaux du radar lui-même.

Les échos fixes.

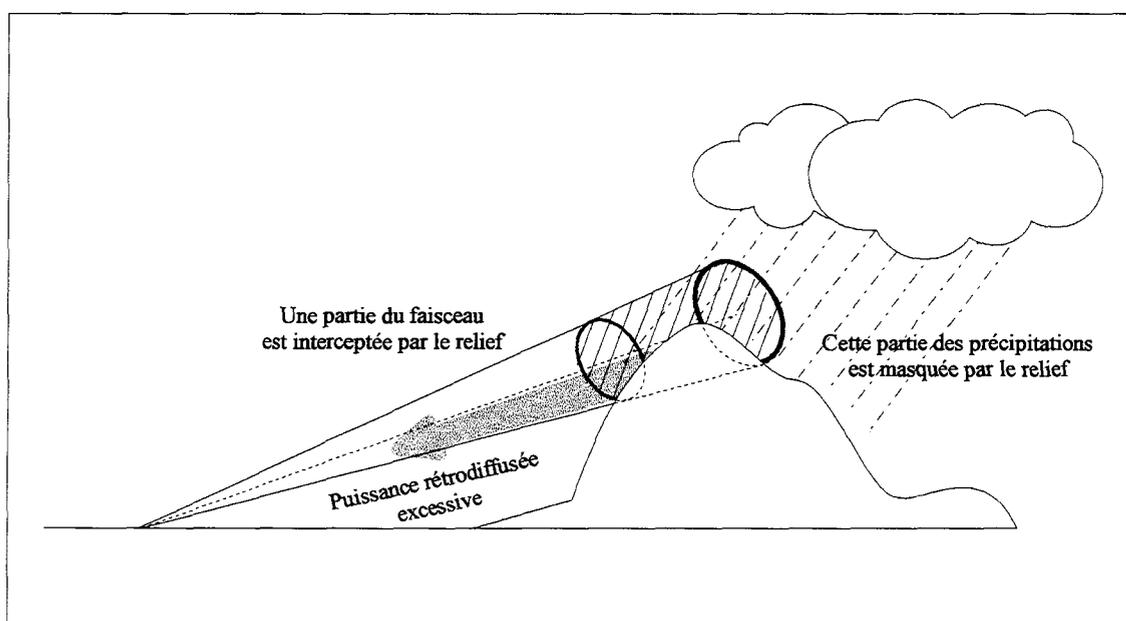
La première source d'erreur citée est celle liée aux échos fixes ou échos de sol. Ces derniers sont présents sur l'ensemble des images sous la forme d'une zone d'échos radar en rien différente des autres, exceptée sa constance d'une image à l'autre.

Ces échos fixes rendent une partie de l'image inexploitable puisqu'il est impossible de distinguer la pluie dans le ou les secteurs qu'ils couvrent. Ils sont le résultat de la présence d'obstacles tels que des reliefs, des bâtiments ou de la végétation, rencontrés par le faisceau. En effet, ces obstacles renvoient une partie du signal émis par le radar et faussent ainsi la mesure de la réflectivité liée aux précipitations (Figure n°7).

"Près du radar, la partie inférieure du faisceau peut se trouver au-dessous de l'altitude du radar. Si cette partie n'est pas masquée par des obstacles proches, elle va pouvoir se propager au ras du sol sur une grande distance et renvoyer l'image du sol vers le radar créant ainsi une vaste zone d'échos fixes." (LEPAPE A., et al., 1991).

Sur l'image, ces échos fixes se présentent comme une zone d'échos radars identique quelle que soit l'image.

Figure n°7 : Les échos fixes et l'effet de masque.



D'après FOURNIER T. (1988)

Ce schéma n'est fourni ici que pour illustrer la présentation des erreurs affectant potentiellement la mesure radar, il est bien évident que le faisceau ne rencontre pas de tels reliefs sur son parcours lorsqu'il vise l'agglomération lilloise (7.3.2.).

L'effet de masque.

Les obstacles (reliefs, bâtiments...) rencontrés par le faisceau créent non seulement des échos fixes mais sont aussi à l'origine d'une occultation partielle ou totale des zones situées derrière les obstacles : c'est l'effet de masque (Figure n°7).

Il existe deux types de masques : les masques totaux et les masques partiels. Dans le secteur de l'image concerné, les premiers se distinguent par une absence totale d'échos, alors que les seconds se caractérisent par une atténuation des échos.

Ces masques interdisent la localisation et le suivi des précipitations dans tout le secteur masqué lorsqu'il s'agit de masques totaux, ou conduisent à une sous-estimation des précipitations dans le secteur masqué lorsqu'il s'agit de masques partiels.

Les échos parasites.

Outre les échos fixes et les masques, il existe plusieurs sources d'échos parasites :

- les sources radioélectriques (faisceaux hertziens, ou radars proches travaillant sur la même fréquence) qui peuvent parasiter tout un secteur d'image ou créer une série d'échos organisés, ils seront facilement repérables grâce à leur géométrie (en spirale par exemple);

- et d'autres sources non météorologiques (avions, vols d'oiseaux en migration, leurres de l'armée de l'air...) à l'origine d'échos semblables à des échos de précipitations, qui ne seront donc pas identifiables sur l'image.

Les sources d'erreurs telles que la propagation exceptionnelle, la limite de portée, la bande brillante ou la virga sont des erreurs affectées surtout par les conditions météorologiques de la mesure.

La propagation exceptionnelle ou anormale.

Autre limite de la mesure radar : la propagation exceptionnelle ou anormale simule la présence de précipitations alors qu'il ne pleut pas, et dont les échos peuvent coexister avec des échos de précipitations.

La propagation anormale est liée aux variations brutales de l'indice de réfraction avec l'altitude. L'indice de réfraction de l'onde émise par le radar est en général voisin de 1, mais la

pression, la température et l'humidité sont trois facteurs qui le modifient. Ces trois facteurs varient avec l'altitude et entraînent donc des variations verticales de l'indice de réfraction, qui lorsqu'elles sont brutales, sont à l'origine de la courbure du faisceau émis par le radar vers le sol, ce qui induit des échos de sol à des distances inhabituelles. Le faisceau du radar est rabattu vers le sol lorsqu'il y a une forte augmentation de la température et une forte diminution de l'humidité avec l'altitude.

Il pourra donc y avoir des échos de propagation anormale dans deux types principaux de situations météorologiques : les situations orageuses d'été, surtout au lever du jour, et les situations anticycloniques d'hiver avec brouillards. C'est dans le premier type de situation que la propagation anormale est la plus gênante puisque les échos d'orages peuvent être mêlés à des échos de sol parasites difficiles à éliminer.

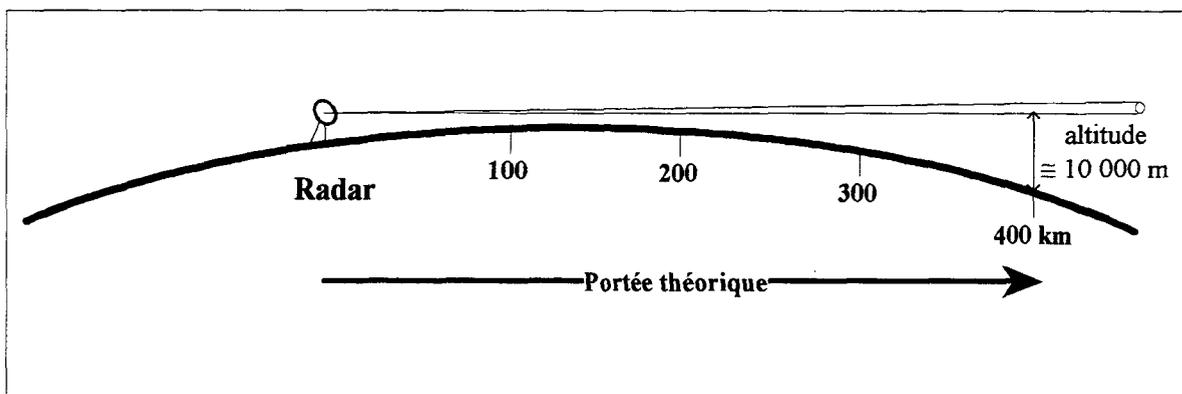
La limite de portée.

L'angle de site du faisceau du radar étant très faible (0.4° , soit pratiquement horizontal), et la terre courbe, l'altitude du faisceau est de plus en plus élevée lorsque la distance au radar augmente (Figure n°8), ce qui conduit à ne pas détecter les précipitations à partir d'une distance donnée constituant la limite de portée réelle du radar.

Ainsi, le faisceau peut passer au-dessus des précipitations : c'est le cas des précipitations issues de nuages à faible développement vertical (bruines et pluie faibles), ou atteindre le sommet des nuages précipitants d'où une estimation incorrecte de l'intensité.

La limite de portée du radar varie selon la saison : elle est nettement plus importante en été (250 km) qu'en hiver (100 km) car les nuages, plus froids l'hiver, peuvent précipiter avec une épaisseur moindre qu'en été.

Figure n°8 : Incidence de la courbure de la terre sur la limite de portée du radar.



D'après DUFIEF N. (1994)

La virga.

Il s'agit d'échos faibles liés à la détection de précipitations en altitude alors qu'il ne pleut pas au sol. La virga connaît deux causes :

- l'évaporation de la pluie provenant de nuages d'altitude lors de la traversée de couches atmosphériques trop sèches (la pluie forme des virgules sous les nuages d'où l'appellation "virga");

- l'élévation du faisceau détectant des précipitations en altitude sans connaître ce qui se passe en dessous.

La bande brillante.

Le phénomène de bande brillante est lié à l'altitude de l'isotherme 0°C. Elle se manifeste par une surintensification de la réflectivité radar sur une couronne ou une partie de couronne circulaire centrée sur le radar; cette surintensification peut entraîner une surestimation de l'intensité des précipitations.

La surintensification de la réflectivité a lieu quand les particules constituant la cible sont situées dans la zone de fusion, là où elles ne sont pas encore totalement fondues mais recouvertes d'une pellicule d'eau liquide. Dans l'équation du radar, ce phénomène se traduit par une valeur de Z (lié au diamètre des particules) grande puisque les particules sont encore composées de glace, et une valeur de la constante diélectrique K^2 (variable selon l'état de la particule, 0.93 pour l'eau et 0.197 pour la glace) importante puisqu'il y a une pellicule d'eau, ce qui a pour résultat une puissance rétrodiffusée forte. L'équation simplifiée du radar étant (11) :

$$P_r = (C \cdot K^2 \cdot Z) / r^2 \quad (11)$$

où C est la constante du radar, K^2 la constante diélectrique, Z le facteur de réflectivité, et r la distance.

A l'inverse, au-dessus de l'isotherme 0°C, la particule étant composée uniquement de glace, la valeur de Z est grande, celle de K^2 est petite, donc la puissance rétrodiffusée est faible, tout comme sous la zone de fusion, où la particule est devenue une gouttelette d'eau (Z est petit, et K^2 est grand).

Plus l'isotherme 0°C se situe près du sol et plus les effets de la bande brillante sont sensibles; ce type de situation étant plus fréquent en hiver.

L'identification de cette bande brillante est assez facile dans les précipitations d'origine frontale (la zone de fusion se situant dans les 400 premiers mètres sous l'isotherme 0°C), et en revanche très difficile dans les situations où les précipitations sont d'origine convective (l'altitude de la zone de fusion étant très variable spatialement).

Enfin, les sources d'erreurs telles que la limite de détection, l'atténuation sont plutôt imputables au fonctionnement même du radar.

La limite de détection des particules.

Sur l'image cette erreur n'a aucun aspect particulier, mais par contre des précipitations sont détectées au sol sans qu'il y ait d'échos. C'est souvent le cas des précipitations neigeuses.

Là aussi l'explication se trouve dans les variables de l'équation du radar. Les petites gouttes et par voie de conséquence les brouillards, les bruines ou les pluies faibles sont mal détectées puisque la valeur de Z, fonction de la taille des particules, est faible. Autre type de particule mal détectée, les particules de glace induisant une valeur de K^2 très faible, d'où des précipitations de neige sous-estimées.

Les précipitations liquides non détectées du fait de ces "faiblesses" du radar sont peu importantes en volume, et il s'agira bien souvent de précipitations neigeuses.

L'atténuation des précipitations.

Elle est due à une réduction de la puissance de l'onde émise par le radar pendant son trajet vers la cible par les gaz et les précipitations.

Ainsi, des cellules pluvieuses de forte intensité peuvent masquer d'autres cellules situées derrière elles, et ne sont donc pas détectées par le radar. Ce phénomène se produit parfois avec les radars RODIN et très rarement avec les radars MELODI, c'est la longueur d'onde qui fait ici la différence (respectivement 5 et 10 cm).

Le Tableau n°70 permet de réaliser une synthèse, fruit d'une réflexion personnelle, sur les sources d'erreurs affectant la mesure radar en répartissant celles-ci selon leurs causes et leurs effets sur la mesure.

Tableau n°70 : Répartition des sources d'erreurs selon leurs causes et effets.

Effets ↓	Causes ⇒	Environnement du radar	Conditions météorologiques	Fonctionnement du radar
Echos masquant potentiellement des précipitations		- Echos fixes - Effet de masque - Echos parasites		
Echos simulant des précipitations inexistantes			- Propagation anormale - Virga	- Virga
Absence de détection ou mauvaise détection des précipitations		- Limite de portée	- Limite de portée - Bande brillante - Atténuation	- Limite de détection des particules - Bande brillante - Atténuation

La description des différentes sources d'erreurs, de leurs causes et effets, a bien démontré que la technologie radar n'est en aucun cas infallible même si celle-ci constitue un outil intéressant pour différents utilisateurs tels que météorologues, climatologues et hydrologues, puisqu'elle permet le suivi spatial des cellules de précipitations tout en estimant leur intensité.

6.2.3. LES ATOUTS DE LA MESURE RADAR.

Malgré les limites que comporte la mesure radar, il est indéniable que cet outil offre de multiples avantages, et là encore bon nombre d'auteurs en sont d'accord.

Selon ANDRIEU H. (1987) "le radar météorologique...offre de nouvelles perspectives dans le domaine de la mesure et de la prévision des intensités pluvieuses".

En effet, GILET M. et CICCIONE M. (1983) expliquent que "par rapport au réseau météorologique conventionnel, le radar présente notamment les avantages suivants : une disponibilité immédiate de l'information, une fréquence de renouvellement des données de l'ordre de quelques minutes contre quelques heures pour le réseau actuel, une résolution spatiale de l'ordre du kilomètre, alors que le réseau pluviométrique a, au mieux, quelques dizaines de kilomètres de résolution et les mesures sont de nature ponctuelle, ce qui peut laisser échapper certains phénomènes (grains, orages), et une précision dans les mesures de lame d'eau intégrées dans l'espace et le temps qui peut être considérée comme comparable, sinon supérieure, à ce que fournit actuellement le réseau de stations de la Météorologie, dans la mesure où on souhaite obtenir des réponses en temps quasi réel".

JACQUET G. et al. (1983) mettent aussi en évidence que le radar est le seul instrument adapté à la prévision à courte échéance, permettant de gérer au mieux le réseau d'assainissement. Ils estiment que "la résolution du radar paraît satisfaisante pour des sous-bassins versants critiques en zone urbaine dont la taille ne descend guère en dessous de un ou deux kilomètres carrés".

Les atouts que possède le radar sont à l'origine du développement de son utilisation hydrologique. ANDRIEU H. (1987) cite diverses expériences comme "l'évaluation de lames d'eau moyennes sur de vastes superficies (WILSON, BRANDES, 1979), des études ont été menées dans le domaine de l'annonce et de la prévision des crues (COLLIER CG. et al., 1980) en Grande-Bretagne".

Il signale par ailleurs, "l'expérience française qui englobe la surveillance qualitative du bassin versant de la Dordogne (DUPOUYET JP., 1983) et les projets Hydromel (FROMENT G., 1981) et ARAMIS (GILET M. et CICCIONE M., 1983) de la Météorologie Nationale".

Les recherches sur l'utilisation du radar en hydrologie urbaine sont nombreuses et parmi elles, quelques unes se distinguent :

- rôle du radar à l'échelle d'une agglomération urbaine étudié à Montréal (AUSTIN GL. et al., 1974) et à Chicago (HUFF FA. et TOWER Y NG., 1978).

- évaluation d'un radar météorologique pour la mesure des précipitations, validation et étalonnage technique géostatistique, avec le radar de Dammartin (DELRIEU G., 1986);

- le radar météorologique de Trappes et l'estimation des intensités pluvieuses en Seine-Saint-Denis (ANDRIEU H. et JACQUET G., 1987);

- recherche d'une méthode optimale de prévision de pluie par radar en hydrologie urbaine (EINFALT T., 1988).

Si les expériences menées montrent que le radar constitue un outil appréciable, il faut souligner l'existence de contraintes lors de son utilisation en hydrologie urbaine.

La particularité de cette dernière réside dans "les caractéristiques des bassins versants, petits et très imperméabilisés, dont le temps de réponse excède rarement 45 minutes à une heure. Les conditions d'utilisation des données radar sont donc contraignantes : les intensités de la pluie doivent être évaluées sur des pas de temps courts (10 à 15 minutes) à l'échelle quasi-punctuelle de la maille radar. Pour le gestionnaire d'un grand réseau d'assainissement,

l'évaluation des intensités pluvieuses ne constitue qu'une étape, et l'intérêt du radar réside dans l'aide qu'il peut offrir pour appréhender en temps réel ou pour prévoir les débits à l'exutoire d'un bassin versant urbain" (ANDRIEU H., 1987).

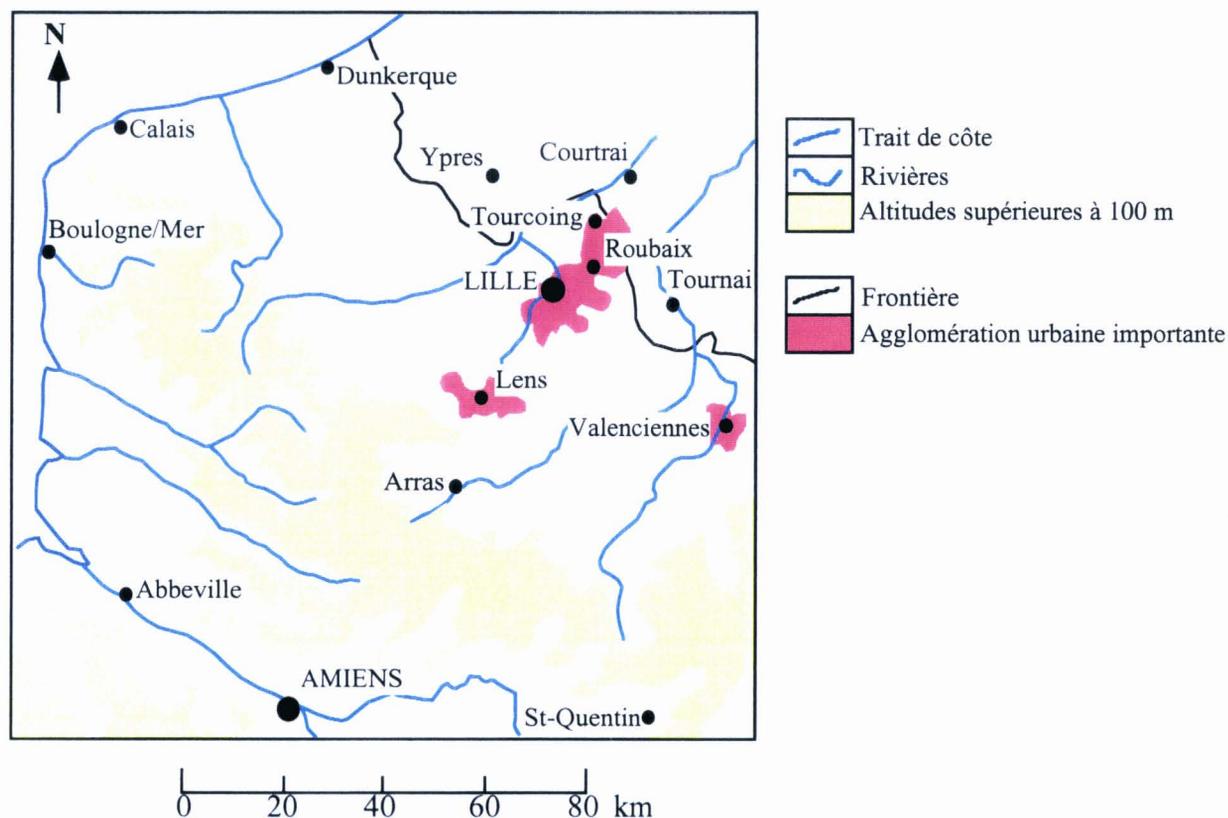
La mesure radar, ses limites et ses atouts étant connus, il est possible d'exposer les caractéristiques du radar d'Abbeville utilisé dans cette étude, ainsi que les potentielles sources d'erreurs auxquelles il est soumis.

6.3. LE RADAR D'ABBEVILLE.

6.3.1. CARACTERISTIQUES DU RADAR D'ABBEVILLE.

Le radar d'Abbeville est situé dans le département de la Somme, à 3.5 km au Nord de la ville d'Abbeville. Il est localisé dans la région de la Basse vallée de la Somme, sur le Plateau picard, plateau dont les altitudes varient d'environ 150-200 m à 40 m en s'inclinant vers la Manche. Les coordonnées géographiques du radar sont : 50°08'24" N, 1°50'24" E, et l'altitude est de 70 mètres.

Carte n°10 : Localisation du radar.



C'est un radar de type "RODIN", dont les caractéristiques principales sont détaillées ci-après.

Longueur d'onde et puissance du radar.

La longueur d'onde est de 5.2 cm, ce qui rend le radar sujet à l'effet d'atténuation par les précipitations. La puissance est de 250 KW.

Temps entre deux impulsions et durée de l'impulsion.

La fréquence de répétition, T_r , est de 330 Hz (temps entre 2 impulsions), et la durée d'impulsion, τ , est de 2 μ s.

Angle d'ouverture et angle de site.

L'angle d'ouverture du faisceau, δ , est de 1.3° et ce dernier se situe à une altitude de 84.5 m à l'emplacement du radar, et l'angle de site, α , est de 0.4°, soit un site bas et constant.

Résolution latérale et radiale.

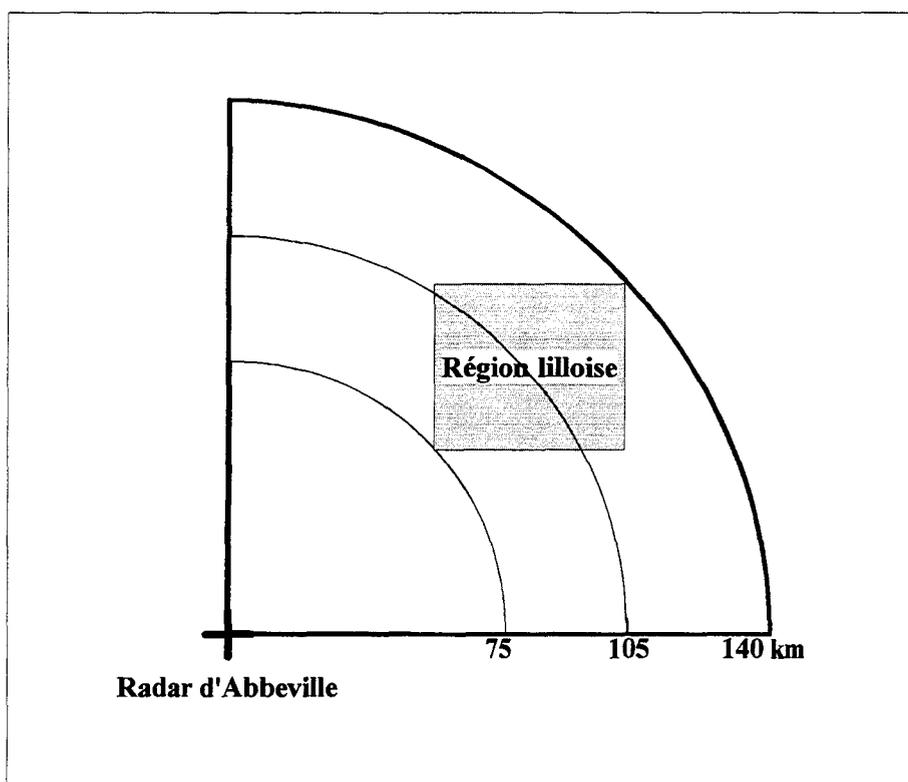
La section, s , ou résolution latérale est de 2.3 km à 100 km et la profondeur, p , ou résolution radiale est de 300 m;

6.3.2. LES SOURCES D'ERREURS POTENTIELLES POUR LE RADAR D'ABBEVILLE.

Le centre de la région lilloise délimitée sur la Figure n°9 se trouve à 105 kilomètres, le point le plus éloigné de la région se situant à 140 kilomètres et le plus proche à 75 kilomètres. La distance séparant l'agglomération lilloise du radar est donc inférieure à la portée maximale réelle du radar, qui est de 253 kilomètres.

Néanmoins, il est possible qu'en hiver le radar soit "aveugle" sur la région, et surtout sur la moitié Nord-Est, dans la mesure où la portée pendant cette saison est généralement réduite à 100 kilomètres.

Par contre, aucun problème ne se pose, pendant la saison estivale puisque la portée est estimée à 250 kilomètres, ce qui est largement supérieur à la distance séparant l'agglomération du radar.

Figure n° 9 : Distance du radar à la région lilloise.

L'angle de site étant de 0.4° , l'altitude du centre du faisceau est d'environ 1370 m à 100 kilomètres du radar, c'est-à-dire pratiquement au centre de la région lilloise, cette altitude variant entre 940 et 2200 mètres (respectivement à 75 et 140 kilomètres du radar). Ces altitudes étant calculées de la manière suivante :

$$\text{Altitude du faisceau} = (\sin \alpha \cdot r) + (r^2 / 17.10^6) + (a + h)$$

où α est l'angle de site (rad.), r la distance au radar (m), a l'altitude au site du radar (70 m), et h la hauteur de l'antenne (12 m), le facteur $1/17.10^6$ correspond à 2 fois le rayon de la terre corrigé (8500.10^3 m) et permet d'intégrer la rotondité de la terre.

Au vu de ces altitudes du faisceau, il est possible d'estimer quels sont les types de nuages repérables par le radar. Au-dessus de l'agglomération lilloise, le radar pourra distinguer de manière optimale les *strato-cumulus*, les *nimbo-stratus*, les *cumulus*, puis plus médiocrement, les *stratus*, les *altostratus*, les *altocumulus* et les *cumulo-nimbus* ayant un très fort développement vertical (plus de 5 km). Seuls les *cirrus*, les *cirrostratus* et les *cirrocumulus* sont invisibles puisque situés généralement au-dessus de 5 km, mais cette absence de détection de ces types de nuages ne nuit en rien puisqu'ils ne sont pas pluvieux.

La connaissance de l'altitude du faisceau permet de connaître d'éventuels effets de masque liés au relief. Il s'agit de savoir si le faisceau rencontre des reliefs pendant qu'il vise l'agglomération lilloise. Après avoir tracé sur une carte, la portion de cercle qui englobe la région lilloise, il faut regarder si dans ce secteur il existe des reliefs plus hauts que le faisceau. Après lecture de la carte, il ne semble pas qu'il y ait d'obstacle orographique susceptible de gêner la propagation du signal radar. Pour le secteur étudié, l'erreur liée à l'effet de masque n'est donc pas présente.

D'après Météo-France, les échos fixes de l'image du radar d'Abbeville concernent un rayon de quelques kilomètres autour du radar et quelques secteurs de la Manche. La zone de l'agglomération lilloise ne comporte pas d'échos fixes.

Il faut rappeler ici que le radar RODIN a une longueur d'onde de 5.2 cm, ce qui le rend sujet à l'effet d'atténuation par les précipitations, effet induit par une réduction de la puissance de l'onde émise par le radar, lors de son trajet à travers des cellules pluvieuses. Le radar devient donc pratiquement "aveugle" au-delà de ces cellules pluvieuses, et cette sous-estimation des précipitations ne peut que croître avec la distance.

En d'autres termes, si dans une situation donnée, il existe une cellule de précipitations intenses entre le radar et l'agglomération lilloise, le radar ne détectera pas ou mal d'éventuelles précipitations situées sur l'agglomération lilloise.

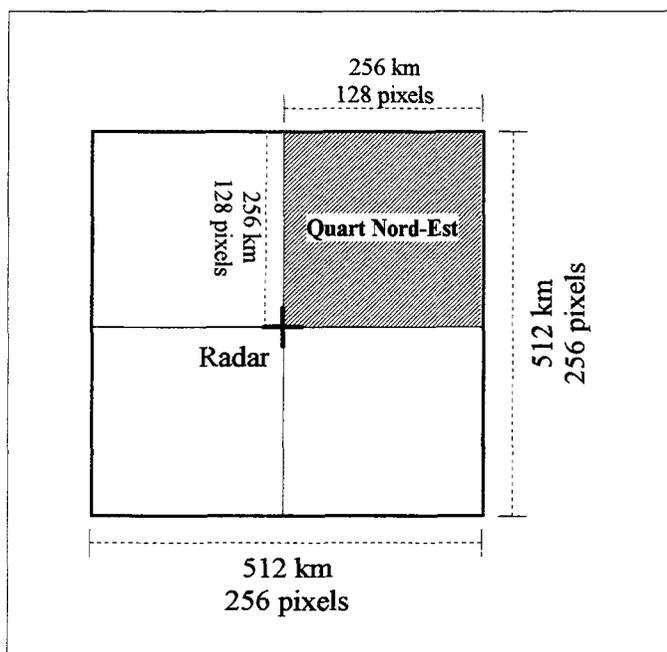
Les autres sources d'erreurs telles que celles liées aux échos parasites, à la propagation anormale, à la virga, à l'altitude de l'isotherme 0°C (la bande brillante) ou à la limite de détection des particules, peuvent potentiellement se produire sans pour autant qu'il soit possible d'en déterminer la fréquence puisqu'elles dépendent de facteurs indépendants de la localisation et de l'environnement du radar (facteurs météorologiques, ou limites de la mesure radar elle-même).

Finalement, la zone de l'agglomération lilloise est une zone où la détection par le radar des précipitations est correcte, bien que la limite de portée commence à être atteinte, et ce surtout en hiver.

6.3.3. CARACTERISTIQUES DES IMAGES DU RADAR D'ABBEVILLE.

Les images du radar d'Abbeville, comme toutes les images radars, proviennent d'une chaîne de traitement. Il s'agit ici de la chaîne de traitement nommée "CASTOR" qui fournit une image codée sur 16 niveaux de réflectivité, formant un carré de 512 km de côté, soit 256 pixels en X et en Y; un pixel ayant une surface de 4 km² (2 km x 2 km), voir Figure n°10.

Figure n°10 : Taille de l'image du radar d'Abbeville.



Dans l'étude réalisée ici, seul le quart Nord-Est a été utilisé puisque c'est dans ce secteur que se situe l'agglomération lilloise.

Les images fournies par Météo-France sont codées en 16 niveaux de réflectivité correspondant à des classes de réflectivité en dBZ. Le Tableau n°71 indique les correspondances entre niveaux de réflectivité, classes de réflectivité en dBZ et classes d'intensité en mm.H⁻¹, selon la relation $Z = a.R^b$ de Marshall - Palmer (où $a = 200$ et $b = 1.6$).

Tableau n°71 : Niveaux de réflectivité et intensités correspondantes selon la relation de Marshall-Palmer.

Niveaux	0	1	2	3
dBZ	0 - 8	8 - 16	16 - 20	20 - 24
mm.H⁻¹	< 0.1	0.1 - 0.4	0.4 - 0.7	0.7 - 1.2
Niveaux	4	5	6	7
dBZ	24 - 28	28 - 32	32 - 36	36 - 40
mm.H⁻¹	1.2 - 2.1	2.1 - 3.7	3.7 - 6.5	6.5 - 11.5
Niveaux	8	9	10	11
dBZ	40 - 44	44 - 48	48 - 52	52 - 56
mm.H⁻¹	11.5 - 20.5	20.5 - 36.5	36.5 - 64.8	64.8 - 115.3
Niveaux	12	13	14	15
dBZ	56 - 60	60 - 64	64 - 68	≥ 68
mm.H⁻¹	115.3 - 205.1	205.1 - 364.6	364.6 - 648.4	≥ 648.4

Les niveaux de réflectivité correspondant à des faibles intensités sont nombreux (7 sur 16 correspondent à des intensités inférieures à 6.5 mm.H^{-1}), et induisent un niveau de précision superflu.

Les 3 niveaux de réflectivité représentant les plus fortes intensités de précipitations, au-delà de 205 mm.H^{-1} , semblent inutiles dans la mesure où de telles intensités sont très rarement voire jamais mesurées au sol.

Enfin, il reste les 6 niveaux intermédiaires, correspondant aux intensités qui intéressent l'hydrologie urbaine (de 6.5 à 205 mm.H^{-1}), où l'intensité s'accroît très vite (quasiment un doublement à chaque classe), ce qui réduit la précision de la mesure.

Ainsi, si le radar permet de détecter un large panel d'intensités de précipitations, ce qui constitue un atout en termes de prévision météorologique, la répartition en 16 niveaux de réflectivité présentée ci-dessus semble mal adaptée aux besoins de l'hydrologue urbain. Il faudra néanmoins utiliser ces données radar telles qu'elles sont classées puisqu'il est impossible de changer la classification des réflectivités, tout en cherchant, si possible, à pallier cet inconvénient.

Comme il a été dit au début de ce chapitre, l'installation d'un réseau de pluviographes permet de répondre aux besoins de l'hydrologie urbaine, à savoir la connaissance des hauteurs précipitées sur des pas de temps très courts, et leur répartition spatiale.

Néanmoins, la réponse d'un réseau de pluviographes aux besoins de l'hydrologie urbaine est fragmentaire en ce qui concerne la répartition spatiale des précipitations, et c'est là le principal défaut que présente la mesure au sol.

Ce défaut, l'utilisation de données radar permet de l'amoindrir puisque celui-ci comble l'absence de données entre les mesures ponctuelles réalisées par les pluviographes. Le radar apporte donc une meilleure résolution spatiale, et il serait séduisant de n'utiliser que ce dernier. Or, comme le paragraphe sur la mesure radar l'a montré, celle-ci n'est pas dépourvue d'incertitudes ni de défauts, il serait donc délicat d'utiliser l'imagerie radar seule.

Si le radar peut compenser la faible résolution spatiale d'un réseau de pluviographes, il est évident que l'association de ces deux types de mesure offre des atouts intéressants. Ainsi, "l'information radar peut être considérée soit comme une donnée supplémentaire permettant d'interpoler entre les points de mesure du réseau au sol pour accroître la précision des mesures, soit comme un moyen de réduire la densité du réseau au sol, soit encore comme un moyen d'étendre les mesures au-delà du réseau au sol" (SAUVAGEOT H., 1983). Par ailleurs, l'utilisation d'images radar permet l'emboîtement des échelles, c'est-à-dire qu'il est à la fois

possible de visualiser un espace plus large que celui équipé par le réseau de pluviographes, ce qui permet de connaître le déroulement de l'épisode sur une vaste zone, ou de visualiser des petites zones telles que des bassins versants urbains avec une bonne résolution spatiale. Ainsi, l'imagerie radar permet de donner des informations voire une explication du déroulement de l'épisode pluvieux.

L'opportunité d'associer ces deux types de mesure dans le cadre de l'agglomération lilloise ne pouvait donc être écartée, c'est pourquoi une étude de la faisabilité de l'utilisation des images du radar d'Abbeville pour l'étude d'événements pluvieux au sein de l'agglomération est engagée. En d'autres termes, cette étude cherchera à répondre à la question suivante : est-il possible d'utiliser les images du radar d'Abbeville pour l'étude des précipitations dans l'agglomération lilloise?

CHAPITRE 7

MESURE RADAR ET MESURE AU SOL, QUELLE ADEQUATION ?

7.1. CHOIX DES EVENEMENTS.....	228
7.2. QUALITE GLOBALE DES DONNEES FOURNIES PAR LES PLUVIOGRAPHES ET LE RADAR.....	231
7.2.1. RECHERCHE DE POTENTIELS ECHOS FIXES ET DE L'EFFET D'ATTENUATION.	231
7.2.2. TEST DE LA QUALITE GLOBALE.	234
7.3. LE TEST DU KHI-CARRE POUR L'ETUDE DE LA RELATION ENTRE MESURE RADAR ET MESURE AU SOL.....	236
7.3.1. DONNEES DES TABLEAUX DE CONTINGENCE ET MISE EN PLACE DU TEST.....	236
7.3.2. RESULTATS DU TEST.	238
7.3.3. LES CONTRIBUTIONS AU X^2	240
7.3.4. INTENSITE DE LA RELATION ENTRE MESURE AU SOL ET MESURE RADAR.	243

Comme l'a montré le chapitre précédent, l'association des mesures effectuées par le radar et par un réseau de pluviographes permet d'enrichir la connaissance des précipitations sur un espace donné, et intéresse donc l'hydrologue urbain puisque celui-ci cherche à mieux percevoir les précipitations afin de permettre une gestion optimale des réseaux d'assainissement.

Le but de l'étude entreprise ici est de savoir s'il est envisageable d'utiliser l'imagerie du radar d'Abbeville pour l'étude des précipitations de l'agglomération lilloise à l'échelle de l'épisode ou de l'événement pluvieux.

Cette étude se place dans une démarche qualitative, en amont d'une démarche d'évaluation précise du radar d'Abbeville pour la mesure des précipitations et leurs variations spatiales au sein de l'agglomération lilloise, car cette démarche d'évaluation précise pourrait constituer l'objet d'une thèse à part entière.

Aussi, il s'agit ici d'effectuer une pré-étude sur la possibilité d'utiliser ou non les images du radar d'Abbeville pour qualifier et quantifier les précipitations en répondant aux besoins de l'hydrologie urbaine (connaissance des pointes d'intensité et de leur localisation, et surfaces affectées par la pluie).

Si le but est de tester la pertinence de l'utilisation de l'imagerie du radar d'Abbeville, il n'est en aucun cas de calibrer les images, à l'aide des pluviographes, en vue d'une comparaison précise des données fournies par le radar et le réseau de pluviographes.

Cette calibration requiert une densité de pluviographes assez élevée, de l'ordre d'un pluviographe pour 10 à 20 km² (SAUVAGEOT H., 1983), or ici la densité du réseau est assez faible puisqu'elle est d'environ un pluviographe pour 50 km². Ainsi, avant d'envisager une calibration des images du radar, il faudrait avant tout compléter le réseau de pluviographes.

Si la calibration des images ne paraît pas réalisable pour les événements choisis en raison du faible nombre de pluviographes disponibles, il est néanmoins envisageable de mener une comparaison qualitative de ces deux types de mesures complémentaires.

Celle-ci ne peut être réalisée qu'en un nombre fini de points de comparaison, représentés par les pluviographes et les pixels de l'image surplombant ces derniers, ce qui signifie qu'on admet implicitement que la mesure ponctuelle du pluviographe a une représentativité équivalente à la surface de la maille radar (4 km²), ce qui est inexact dans l'absolu.

Cette comparaison qualitative est réalisée pour 11 événements ou épisodes choisis à l'aide de deux critères, volume d'eau précipité et nombre de pluviographes disponibles, parmi les épisodes pluvieux de 1993 et 1994.

Dans un premier temps, la qualité globale des images de l'épisode est testée d'abord pour le radar seul à l'échelle du quart Nord-Est de l'image, puis pour le radar et les pluviographes à l'échelle de l'agglomération. Dans un second temps, la comparaison s'établit à l'échelle de la maille radar, à l'aide du test d'indépendance du Khi-carré, celui-ci étant bien adapté à la comparaison de données qualitatives.

Enfin, il faut préciser que les tests effectués ici sont conçus pour répondre à un double objectif : d'une part, répondre à la question : "y-a-t'il une relation entre la mesure radar et la mesure au sol" et, d'autre part, déterminer les épisodes qui feront l'objet d'une analyse plus précise au chapitre suivant.

7.1. CHOIX DES EVENEMENTS.

La sélection d'un certain nombre d'épisodes pluvieux constituant chacun une expérience est nécessaire pour répondre à l'objectif fixé dans cette étude puisqu'il est en effet impossible de se baser uniquement sur un seul épisode.

Pour effectuer cette sélection, il fallait établir les critères de choix et établir les contraintes auxquelles devaient répondre simultanément les épisodes pluvieux. Ainsi, ce sont deux contraintes qui vont permettre d'effectuer un choix parmi la multitude d'événements pluvieux ayant eu lieu en 1993 et 1994. Le choix des épisodes pluvieux est basé sur les données mesurées au sol par le réseau de pluviographes de la C.U.D.L.

La première contrainte est celle de la hauteur d'eau précipitée. Cette dernière doit être assez conséquente si l'on veut pouvoir comparer facilement les réflectivités radar aux données mesurées par le réseau de pluviographes de la C.U.D.L. En effet, il sera plus aisé de valider les réflectivités radar si l'on a affaire à des valeurs relativement grandes, puisque l'écho rétrodiffusé par la masse nuageuse et capté par le radar est proportionnel à la masse d'eau précipitante.

En définitive, plus le volume d'eau précipitée est grand et plus l'écho radar sera important et donc décelable sur l'image des réflectivités. D'où le choix d'un seuil minimal de 10 mm en moyenne sur l'ensemble des stations C.U.D.L. et ce sur un pas de temps de 24 heures.

Ce seuil, dont le choix peut paraître arbitraire, répond en fait à deux préoccupations : la première étant d'obtenir une hauteur d'eau précipitée assez conséquente, la deuxième étant

la volonté d'effectuer un choix parmi un petit nombre de situations. Par ailleurs, les pluies fines n'occasionnant pas ou peu de problèmes d'hydrologie urbaine, et ayant une hétérogénéité spatiale faible, ne constituent pas des épisodes pluvieux intéressants à étudier pour l'amélioration de la connaissance des épisodes pluvieux à risque.

L'occurrence des jours où les précipitations sont supérieures à 10 millimètres en moyenne sur l'ensemble des postes communautaires (pour 1993 et 1994) est faible (Tableau n°72), ce qui est conforme à notre deuxième préoccupation.

Tableau n°72 : Fréquence d'apparition des jours de pluie selon la hauteur précipitée en 1993 et 1994.

Classes	1993	1993	1994	1994
	Effectif	Fréquence	Effectif	Fréquence
≥ 10 mm	16	6.2 %	15	5.4 %
5-10 mm	33	12.7 %	33	11.9 %
2-5 mm	47	18 %	67	24.1 %
1-2 mm	26	10 %	42	15.1 %
0.1-1 mm	138	53.1 %	121	43.5 %
TOTAL	260	100 %	278	100 %

La deuxième contrainte est celle du nombre de pluviographes ayant fonctionné. En effet, il s'agit ici de maximiser le nombre de points de comparaison. Aussi, parmi les jours répondant à la première contrainte, ont été choisis les jours pour lesquels le plus grand nombre de pluviographes avait fonctionné.

Pour choisir les situations à étudier, les hauteurs moyennes journalières ont été classées pour en extraire celles qui sont supérieures ou égales à 10 mm. Il existe 31 jours répondant à ce critère (Tableau n°73). Parmi ces 31 jours, il faut, dans un deuxième temps, choisir ceux qui offrent le plus grand nombre de pluviographes ayant fonctionné (Tableau n°73).

Le classement des journées vis-à-vis de ce critère a été fait pour les deux années séparément pour tenir compte du fait que 3 pluviographes n'étaient pas installés en 1993, ce qui permet d'avoir des rapports "pluviographes ayant fonctionné/pluviographes installés" de même ordre de grandeur.

Les journées dont le nombre de pluviographes disponibles est très faible (2 à 4) ont été d'emblée supprimés. Parmi les journées restantes (23 pour les deux années), le choix s'est porté sur les journées ayant à la fois le plus grand nombre de pluviographes disponibles et une hauteur précipitée la plus grande, tout en cherchant à éviter les journées qui pourraient faire

double-emploi (hauteur moyenne similaire par exemple). Finalement le choix s'est porté sur 11 journées (5 en 1993 et 6 en 1994) signalées en caractères gras dans le Tableau n°73.

Tableau n°73 : Liste des journées correspondant aux 2 critères, en 1993 et 1994, Réseau C.U.D.L.

Choix	DATE	Hauteur moyenne (en mm)	Nombre de pluviographes disponibles	Nombre de pluviographes installés
C	14/04/1993	14.0	8	9
NC	26/02/1993	10.3	8	9
C	10/06/1993	22.3	6	9
C	24/07/1993	19.9	6	9
C	27/09/1993	19.2	6	10
C	12/06/1993	15.6	6	9
NC	02/06/1993	15.6	6	9
NC	28/09/1993	15.4	6	10
NC	01/10/1993	12.1	6	10
S	14/10/1993	13.7	4	10
S	10/11/1993	10.9	4	10
S	13/11/1993	21.1	3	10
S	12/12/1993	18.6	2	10
S	15/12/1993	17.0	2	10
S	20/12/1993	16.3	2	10
S	30/12/1993	15.4	2	10

Choix	DATE	Hauteur moyenne (en mm)	Nombre de pluviographes disponibles	Nombre de pluviographes installés
C	26/05/1994	16.8	11	13
C	15/05/1994	14.4	11	13
NC	04/06/1994	14.1	11	13
NC	27/07/1994	14.0	11	13
C	31/07/1994	13.4	11	13
C	14/05/1994	12.8	11	13
C	02/06/1994	12.0	11	13
C	08/12/1994	18.7	9	13
NC	29/12/1994	15.0	10	13
NC	31/12/1994	10.3	10	13
NC	15/09/1994	16.0	8	13
NC	20/09/1994	13.5	8	13
NC	29/10/1994	13.4	8	13
NC	03/04/1994	12.0	8	13
S	03/02/1994	11.7	2	12

C = choisi, NC = non choisi, S = supprimé

Le choix des événements basé uniquement sur la mesure au sol étant réalisé, deux tests ont été entrepris afin de contrôler la qualité des données du radar en recherchant la

présence d'éventuels échos fixes ou d'effets d'atténuation, puis en comparant de manière globale mesure au sol et mesure radar, pour chaque épisode pluvieux retenu.

7.2. QUALITE GLOBALE DES DONNEES FOURNIES PAR LES PLUVIOGRAPHES ET LE RADAR.

Avant d'en venir à une comparaison plus précise des données obtenues par le radar et les pluviographes, il s'agit ici de faire une première analyse de la qualité des données des 11 épisodes choisis. Dans un premier temps, seule la mesure radar est vérifiée par la recherche d'éventuels échos fixes et de l'effet d'atténuation. Puis, dans un second temps, chaque événement est soumis à un test simple concernant la zone "agglomération lilloise" dans sa globalité pour les deux types de mesure des précipitations comparés ici.

7.2.1. RECHERCHE DE POTENTIELS ECHOS FIXES ET DE L'EFFET D'ATTENUATION.

Parmi les sources d'erreurs signalées au chapitre 6, trois types d'erreurs sont facilement décelables : ce sont les échos fixes, l'effet de masque, et l'effet d'atténuation. Quant aux autres sources d'erreurs, elles sont plus difficiles à mettre en évidence sur une image et nécessitent la comparaison avec des données au sol. La comparaison des deux types de mesure qui sera faite ultérieurement permettra peut-être de déceler ces autres sources d'erreurs, ou du moins d'en soupçonner l'existence.

Les échos fixes et l'effet de masque se signalent sur l'image par des échos toujours localisés aux mêmes endroits et ayant toujours le même niveau de réflectivité. Pour s'assurer de l'absence de tels échos sur la zone étudiée, il suffit simplement de visualiser l'ensemble des images "région lilloise" et de vérifier qu'il n'y a pas d'échos de ce type.

La présence d'images vierge ou sans écho au cours de plusieurs événements autorise à penser que la zone prise en compte dans cette étude ne comporte ni échos fixes, ni échos liés à un effet de masque. Lors de la présentation du radar d'Abbeville (Chapitre 6), il était d'ailleurs déjà mentionné que la région lilloise n'était pas affectée par les échos fixes et l'effet de masque. Il s'agissait donc ici d'en avoir la certitude pour les 11 événements choisis.

L'effet d'atténuation se signale sur l'image par une détection de moins en moins correcte des précipitations avec l'éloignement au radar, soit par une diminution des réflectivités de façon concentrique à partir du radar.

Pour montrer cet effet d'atténuation, il existe un moyen simple : établir l'image résultant du cumul des réflectivités sur l'ensemble de l'événement ou l'image moyenne de l'événement, ce qui revient au même puisque chaque réflectivité cumulée est divisée par le même nombre d'images.

L'option choisie ici est d'élaborer l'image moyenne de chaque événement qui permet, tout en gardant une proportionnalité avec l'image cumulée, de réduire l'étendue des valeurs, soit le nombre de couleurs à utiliser, ce qui facilite la construction de l'image elle-même.

Pour chaque pixel du quart Nord-Est de l'image, les cumuls ont été calculés puis divisés par le nombre d'images afin d'obtenir une réflectivité moyenne sur l'événement. Ces réflectivités moyennes ont été regroupées en classes. Ainsi, les réflectivités inférieures à 1 correspondent à la classe 0, celles supérieures ou égales à 1 et inférieures à 2 correspondent à la classe 1, etc...

L'échelle des couleurs utilisée est présentée en légende des deux exemples ci-dessous.

Sur les 11 événements, un seul semble avoir une diminution concentrique des réflectivités lorsque la distance au radar s'accroît : c'est l'événement du 8 décembre 1994 (Figure n°11).

La diminution des réflectivités avec la distance au radar apparaît clairement sur cette image moyenne du 8 décembre 1994.

Aussi, la possibilité de connaître l'effet d'atténuation sur les images du radar d'Abbeville évoquée au chapitre 6 (6.2.2. et 6.3.2.) semble se confirmer. Ce phénomène d'atténuation, lié au fonctionnement même du radar, n'est-il pas amplifié par un contexte météorologique défavorable à la mesure radar, et par le fait d'être situé à proximité de la limite de portée?

L'événement du 27 septembre 1993 (Figure n°12) est présenté afin de démontrer que l'effet d'atténuation n'est pas présent systématiquement puisqu'il n'affecte qu'un seul événement sur les 11 étudiés, et pour bien montrer la différence entre deux types de structures concentriques.

En effet, l'image moyenne du 27 septembre 1993 présente aussi une structure concentrique, mais celle-ci est centrée sur une zone pluvieuse située au Nord-Est du radar et non sur le radar lui-même, et il ne s'agit pas ici d'un effet d'atténuation.

Figure n°11 : Image moyenne de l'événement du 8 décembre 1994 (1 : 2 200 000).

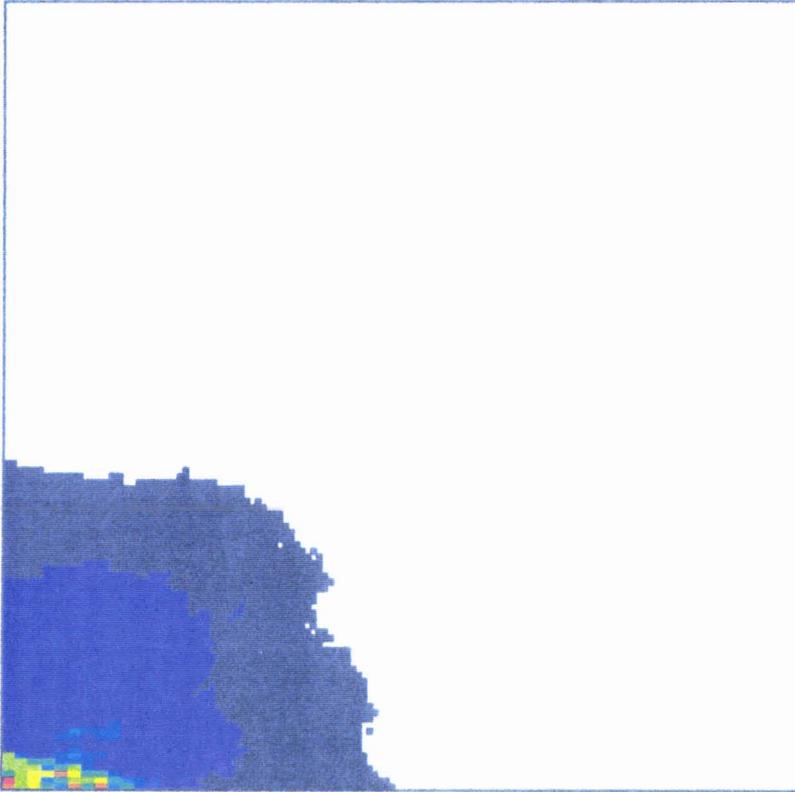
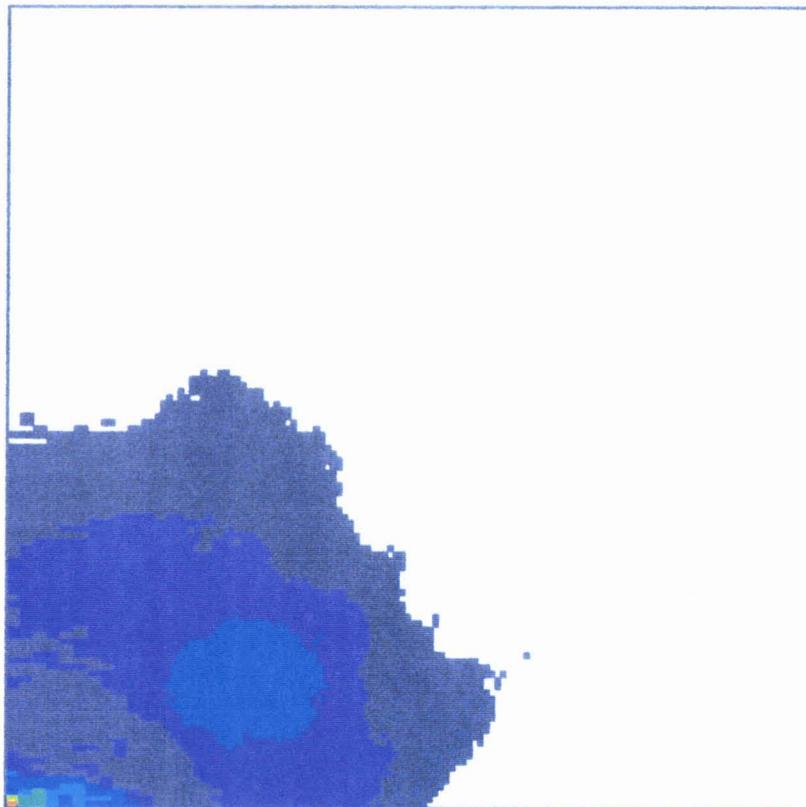


Figure n°12 : Image moyenne de l'événement du 27 septembre 1993 (1 : 2 200 000)



Classes de réflectivités



Après d'une part, la vérification de l'absence d'échos fixes ou d'échos liés à l'effet de masque sur la zone de l'agglomération lilloise, et, d'autre part, la mise en évidence de l'effet d'atténuation pour un seul événement (8 décembre 1994), il faut affiner l'analyse de la qualité des images, c'est l'objet du test réalisé à l'échelle de l'agglomération lilloise qui est présenté au paragraphe suivant.

7.2.2. TEST DE LA QUALITE GLOBALE.

L'objectif est ici de vérifier, de manière qualitative, l'information fournie par ces deux moyens de mesure que sont le radar et le réseau de pluviographes. En d'autres termes, il s'agit de vérifier la concordance des réponses du radar et du réseau de pluviographes, c'est-à-dire de répondre simplement à la question suivante : lorsque le radar détecte des masses précipitantes au-dessus de l'agglomération lilloise, les pluviographes enregistrent-ils des précipitations, et inversement, lorsque un ou des pluviographes enregistrent des précipitations, le radar détecte-t'il des masses précipitantes? Il est clair que répondre à cette question revient à formuler l'information en utilisant un caractère binaire : pluie ou non-pluie.

Pour ce test, il n'est pas tenu compte de la répartition spatiale des précipitations, ni de l'adéquation des valeurs d'intensités. La comparaison s'opère sur l'ensemble de la zone "agglomération lilloise" par la vérification suivante : lorsque cette zone de l'image radar comprend des valeurs non nulles, y a-t'il au moins un pluviographe qui enregistre des précipitations?

Afin de réaliser le plus simplement possible cette vérification, la somme des réflectivités-radar de la zone "agglomération" de l'image est codée selon sa valeur :

- "0" si cette somme est nulle,
- "1" si cette somme est supérieure ou égale à 1,

et, de même, pour les valeurs enregistrées par les pluviographes :

- au moins un pluviographe enregistre des précipitations, dans les 15 minutes succédant à la "prise" de l'image, est codé "1",
- aucun pluviographe n'enregistre de précipitations dans ce délai est codé "0".

La zone agglomération de l'image correspond à la zone de l'image comprenant l'ensemble des pluviographes à laquelle s'ajoute un pixel autour de ce périmètre (Annexe n°13).

En se basant sur ce critère "présence ou absence de pluie", 4 cas peuvent se réaliser; ils sont notifiés dans le tableau suivant (Tableau n°74).

Tableau n°74 : Possibilités de réponse du radar ou du réseau de pluviographe vis-à-vis des précipitations.

	Cas n°1	Cas n°2	Cas n°3	Cas n°4
Images radar	0	1	1	0
Pluviographes	0	1	0	1

Les cas n°1 et 2 ne posent aucune question et certifient l'absence ou la présence des précipitations sur l'agglomération lilloise, ils seront donc considérés corrects.

Le cas n°3 se fait l'écho d'une situation possible et peut correspondre à la présence de masses précipitantes à très faible énergie et de ce fait, ne parvenant pas au sol.

Le cas n°4 pose problème puisqu'il correspond à la mesure de précipitations au sol sans qu'aucune masse précipitante ne soit détectée au-dessus de l'agglomération; il correspond donc à un défaut de mesure ou d'enregistrement soit des pluviographes soit du radar. Dans le cas où plusieurs pluviographes enregistrent des précipitations sans que le radar ne détecte une quelconque masse d'eau, il est évident que le radar connaît des problèmes d'enregistrement, ou bien qu'il atteint ses limites.

L'ensemble des images de chaque événement a été soumis à ce test qualitatif pour aboutir aux résultats présentés au Tableau n°75.

Tableau n°75 : Résultats du test qualitatif pour les 11 événements choisis, en % du nombre total d'images.

Date	Cas n°1 et 2	Cas n°3	Cas n°4	Images manquantes
27/09/93	88	12	0	0
31/07/94	83	15	1	1
14/05/94	81	17	2	0
15/05/94	81	17	2	0
26/05/94	80	16	4	0
12/06/93	77	19	4	0
02/06/94	71	15	14	0
10/06/93	70	13	6	11
24/07/93	69	27	4	0
08/12/94	65	2	26	7
14/04/93	58	36	0	6

Les cas n°1 et 2 correspondent à des images d'une qualité correcte, le cas n°3 à des images de qualité acceptable, le cas n°4 à des images posant problème. Le classement présenté au Tableau n°75 s'ordonne selon le critère "globalement correct" à "globalement incorrect", qui pourrait se noter avec des rangs de 1 à 11.

Ce test global de la concordance des deux types de mesure permet d'effectuer un premier classement des 11 événements, et donne une indication de la qualité de la mesure pour chaque événement dans son ensemble en termes de perception de la pluie. Ce premier test semble encourageant, seuls quelques uns des épisodes semblent connaître une faible concordance entre mesure au sol et mesure radar.

Si ce test permet d'attribuer une note globale à chaque événement, il est bien évidemment insuffisant et demande à être complété par une analyse plus poussée de la qualité de la mesure à la maille correspondant à chaque pluviographe et, quart d'heure par quart d'heure. Cette dernière peut être réalisée en utilisant le test bien connu du Khi-carré (ou Khi-deux).

7.3. LE TEST DU KHI-CARRE POUR L'ETUDE DE LA RELATION ENTRE MESURE RADAR ET MESURE AU SOL.

Le test du Khi-carré est utilisé ici non pas pour réaliser un test d'ajustement mais un test d'indépendance. Ce test appliqué aux tableaux de contingence s'adapte bien, d'une part aux données dont on dispose, d'autre part, à l'objectif de cette étude, qui est de vérifier l'éventuelle existence d'une relation entre mesure au sol et mesure radar, soit de nier l'indépendance statistique.

7.3.1. DONNEES DES TABLEAUX DE CONTINGENCE ET MISE EN PLACE DU TEST.

Avant d'effectuer le test du Khi-carré, il est utile de donner des précisions sur les données utilisées. Les intensités mesurées par le radar sont des intensités "instantanées" renouvelées toutes les 15 minutes, alors que les intensités mesurées aux pluviographes correspondent à l'intensité moyenne sur les 15 minutes succédant à la "prise" de l'image.

Si le calcul des intensités moyennes quart d'heure par quart d'heure permet à la fois d'avoir une continuité dans le temps et la prise en compte de l'ensemble des volumes précipités sur l'événement, celui-ci tend à réduire les intensités mesurées au sol par rapport à celles mesurées par le radar.

En effet, il aurait été possible d'utiliser des intensités moyennes calculées sur les 5 minutes succédant à la "prise" de l'image, ce qui améliore l'estimation des intensités mais présente un risque de négliger une partie du volume précipité : celui qui est mesuré dans les 10 minutes restantes du quart d'heure.

La sous-estimation des intensités induite par le choix d'un pas de temps de 15 minutes est admise bien que considérée comme une contrainte nécessaire qu'il faudra garder à l'esprit lors de la comparaison des deux types de mesure.

Les intensités de précipitations fournies par le radar sont regroupées en niveaux de réflectivité, constituant des données ordinales. Les intensités obtenues par le pluviographe constituent quant à elles des données cardinales qu'il va falloir transformer en données ordinales. Cette transformation est assez simple à effectuer puisque à chaque niveau de réflectivité correspond une classe d'intensité en mm.H⁻¹, il suffira donc d'attribuer aux intensités mesurées par les pluviographes le niveau de réflectivité correspondant.

Cette transformation des intensités mesurées aux pluviographes en niveaux de réflectivité comporte plusieurs intérêts : elle répond au besoin d'avoir des données ordinales pour réaliser le test du Khi-carré, mais elle permet en outre de s'affranchir de la difficulté de comparer une intensité à une classe d'intensité.

En effet, les niveaux de réflectivité correspondent à des classes d'intensités dont l'étendue est de plus en plus grande, et s'il est acceptable pour les faibles intensités, de comparer celle relevée au pluviographe à la valeur centrale de la classe d'intensité fournie par le radar, ceci devient gênant dans les fortes intensités, l'écart étant important entre les deux bornes de la classe (par exemple, pour le niveau de réflectivité 2 [0.4 - 0.7[, le centre de classe est proche des bornes, alors que pour le niveau 11 [65 - 115[il s'en éloigne beaucoup).

La plus petite quantité mesurée par le pluviographe étant de 0.2 mm, la plus petite intensité sur 15 minutes sera de 0.8 mm.H⁻¹ ce qui correspond au niveau de réflectivité 3, ainsi les niveaux 1 et 2 ne seront jamais présents pour le pluviographe. C'est pourquoi lors de l'établissement des tableaux de contingence, les niveaux 1, 2 et 3 sont regroupés dans un seul niveau, ce qui n'est absolument pas gênant au vu des faibles écarts entre ces 3 niveaux (0.1 à 0.4 mm.H⁻¹ pour le niveau 1, 0.4 à 0.7 pour le niveau 2 et 0.7 à 1.2 pour le niveau 3).

Les tableaux de contingence, N, sont construits de manière classique, la variable X représentant les niveaux de réflectivité donnés par le radar pour le pixel surplombant le pluviographe (ou la moyenne du pixel surplombant le pluviographe et les 8 pixels qui l'entourent), et la variable Y représentant les intensités mesurées au pluviographe

transformées en niveaux de réflectivités. Ces deux variables comportent 16 niveaux, de 0 à 15, les pixels nuls correspondant à l'absence d'échos de pluie.

Pour chaque station et chaque événement est établi un tableau de contingence qui lui est propre, c'est-à-dire que le tableau de contingence n'est pas un tableau standard présentant des modalités de X et Y toujours identiques puisque seuls les niveaux de réflectivité représentés au pluviographe et/ou au radar sont mentionnés.

En effet des effectifs marginaux nuls ne permettent pas le calcul du Khi-carré, et modifient la valeur du nombre de degrés de liberté calculé de la manière suivante $v = (i - 1) \times (j - 1)$, où i est le nombre de lignes et j le nombre de colonnes.

A partir des effectifs observés du tableau de contingence N , les effectifs théoriques sont calculés sous l'hypothèse que X et Y soient indépendants, et forment le tableau de contingence N' .

L'hypothèse H_0 du test entrepris ici se formule donc de la manière suivante : il y a indépendance entre X et Y, soit entre l'intensité mesurée par le radar et celle mesurée par le pluviographe.

La quantité X^2 mesure l'écart à l'indépendance :

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^p \frac{(n_{ij} - n'_{ij})^2}{n'_{ij}}$$

où n_{ij} sont les effectifs observés et n'_{ij} les effectifs théoriques

La valeur du X^2 calculée est ensuite comparée à la valeur du X^2 lue dans la table des valeurs des centiles pour la distribution du X^2 en fonction du nombre v de degrés de liberté. Le seuil retenu ici est 0.99 ce qui revient à accepter de se tromper une fois sur 100.

Si la valeur calculée est supérieure à celle lue dans la table, l'hypothèse H_0 est rejetée, c'est-à-dire qu'il existe éventuellement une liaison entre X et Y, dans le cas inverse, l'hypothèse H_0 de l'indépendance est acceptée.

7.3.2. RESULTATS DU TEST.

Pour chaque événement et chaque pluviographe disponible, le X^2 a été calculé en utilisant dans un premier temps, les niveaux de réflectivité du pixel surplombant le

pluviographe, puis la moyenne des 9 pixels entourant le pluviographe afin de pallier d'éventuels effets d'advection. Les résultats chiffrés de ces calculs sont fournis à l'Annexe n°14.

Les valeurs calculées du X^2 fournissent peu d'information en elles-mêmes, par contre leur comparaison aux valeurs du X^2 lues dans la table, selon le nombre de degrés de liberté et le seuil choisi, permet d'accepter ou de rejeter l'hypothèse H_0 , soit de répondre à la question "y-a-t'il indépendance en mesure radar et mesure au sol", ce qui est beaucoup plus pertinent. Pour chaque événement, les réponses au test sont variables d'une station à l'autre, aussi pour synthétiser l'information, le pourcentage de stations pour lesquelles H_0 est rejetée a été calculé (Tableau n°76).

Sur les 11 événements étudiés, 3 catégories se distinguent (Tableau n°76) :

- la première catégorie regroupe les 3 événements pour lesquels l'hypothèse est rejetée pour moins de 60 % des stations (14.04.93, 27.09.93 et 08.12.94);

- la seconde catégorie regroupe les 3 événements pour lesquels l'hypothèse est rejetée pour 80 à 90 % des stations (24.07.93, 15.05.94 et 02.06.94);

- et la troisième catégorie regroupe les 5 événements pour lesquels l'hypothèse est rejetée pour 100 % des stations (10 et 12.06.93, 14.05.94, 26.05.94 et 31.07.94).

Tableau n°76 : Pourcentage des stations pour lesquelles H_0 est rejetée, pour un pixel et la moyenne des 9 pixels.

Date	Nombre de pluviographes	Test effectué avec un pixel	Test effectué avec la moyenne des 9 pixels
27/09/93	6	17 %	17 %
14/04/93	8	50 %	25 %
08/12/94	9	56 %	56 %
24/07/93	6	83 %	83 %
15/05/94	11	90 %	90 %
02/06/94	11	90 %	90 %
10/06/93	6	100 %	100 %
12/06/93	6	100 %	100 %
14/05/94	11	100 %	100 %
26/05/94	11	100 %	100 %
31/07/94	11	100 %	100 %

L'analyse de ce tableau montre qu'il existe peu de différences entre le test réalisé avec un seul pixel (test 1) ou la moyenne des 9 pixels (test 2) : l'hypothèse H_0 est rejetée ou

acceptée pour le même nombre de stations quel que soit le nombre de pixels pris en compte pour l'ensemble des événements sauf celui du 14 avril 1993, où le pourcentage diminue. Néanmoins, il faut noter que les stations pour lesquelles H_0 est acceptée ne sont pas toujours les mêmes pour le test 1 et le test 2, par exemple pour une station donnée, le test 1 pourra très bien avoir pour résultat "Ho rejetée" et le test 2 "Ho acceptée" ou l'inverse.

Il ressort de ce test du Khi-carré que pour 5 événements la liaison entre les deux types de mesure est plausible puisque l'indépendance est rejetée pour l'ensemble des points de comparaison, et que pour 3 événements, celle-ci semble assez probable dans la mesure où l'hypothèse H_0 est rejetée pour une majorité de points de comparaison. A contrario, 3 événements affiche des résultats peu convaincants puisque l'indépendance n'est rejetée que pour une faible part des stations.

La réponse au test "Ho acceptée" ou "Ho rejetée" comporte un intérêt certain pour répondre à l'objectif global de cette étude, mais il faut aussi s'intéresser aux contributions du X^2 , afin de déterminer quelles sont les associations ou les couples qui influencent le plus le X^2 , et donc entraînent le rejet de l'hypothèse d'indépendance.

7.3.3. LES CONTRIBUTIONS AU X^2 .

Les tableaux de contingence sont des tableaux de taille variable (de 2 à 8 colonnes ou lignes), les plus grands d'entre eux déterminent un grand nombre d'associations différentes entre les modalités de X et de Y. Parmi la multitude d'associations possibles, un certain nombre se ressemblent c'est-à-dire qu'elles reflètent une même réponse en ce qui concerne l'adéquation entre mesure au sol et mesure radar, que ce soit lorsqu'il pleut ou lorsqu'il ne pleut pas (valeurs nulles).

Ainsi, la diagonale de chaque tableau comporte les associations pour lesquelles il existe une adéquation entre mesure au sol et mesure radar qui tend à démontrer l'existence d'une relation entre ces deux types de mesure.

A l'opposé, les associations aux extrémités du tableau reflètent une absence totale d'adéquation entre les deux types de mesure.

En considérant les associations existantes, non pas selon leur ampleur (rang des modalités de X et Y), mais selon le degré d'adéquation qu'elles déterminent, il est possible d'aboutir à un classement de ces associations en 4 grandes catégories pour lesquelles le degré d'adéquation est de moins en moins fort.

Ces 4 catégories ont une place définie à l'intérieur du tableau de contingence, le Tableau n°77 en donne une illustration.

Tableau n°77 : Définition des 4 catégories d'associations selon le degré d'adéquation entre mesure au sol et mesure radar.

		Modalités de Y			
		Niveau 0	Niveau 1	Niveau (n-1)	Niveau n
Modalités de X	Niveau 0	excellente adéquation	bonne adéquation	mauvaise adéquation	adéquation inexistante
	Niveau 1	bonne adéquation	excellente adéquation	bonne adéquation	mauvaise adéquation
	Niveau (n-1)	mauvaise adéquation	bonne adéquation	excellente adéquation	bonne adéquation
	Niveau n	adéquation inexistante	mauvaise adéquation	bonne adéquation	excellente adéquation

La catégorie "excellente adéquation" constitue la diagonale du tableau, les associations les plus proches de cette diagonale, pour lesquelles l'écart entre les modalités X et Y n'est que d'une classe, forment la catégorie "bonne adéquation".

Plus l'éloignement à la diagonale est important et plus l'adéquation est faible, elle est considérée comme "mauvaise" lorsqu'il y a 2 classes d'écart entre les modalités de X et Y, et au-delà de 3 classes d'écart celle-ci est considérée comme "inexistante".

Pour les 8 événements pluvieux qui semblent connaître une liaison entre mesure radar et mesure au sol, les écarts à l'indépendance des diverses associations ont été cumulés sur l'ensemble des stations afin d'obtenir une valeur du X^2 totale pour chaque association (en utilisant les données du pluviographe et du pixel le surplombant).

A partir de ces cumuls, les contributions au X^2 total de l'épisode toutes stations confondues ont été calculées, puis les catégories précédemment définies ont été regroupées, afin de connaître celles qui contribuent le plus au X^2 , c'est-à-dire celles qui déterminent le plus la liaison entre mesure au sol et mesure radar.

Ces 4 catégories peuvent être regroupées en deux grands groupes : "adéquation correcte" et "adéquation incorrecte". Le Tableau n°78 fournit la part de chacune des 4 catégories et des 2 grands groupes.

Dans ce tableau, les épisodes sont classés simultanément selon le pourcentage global de rejet de l'hypothèse d'indépendance et selon des contributions au X^2 décroissantes du groupe "adéquation correcte", ce qui permet de déterminer 3 types d'épisodes différents :

- le type 1 qui regroupe les épisodes pour lesquels H_0 est rejetée à 100 % des cas et où les contributions au X^2 du groupe "adéquation correcte" sont majoritaires (environ 60 %);

- le type 2 qui rassemble les épisodes pour lesquels H_0 est rejetée à 90 ou 100%, mais où les contributions au X^2 du groupe "adéquation correcte" sont assimilables à celles du groupe "adéquation incorrecte" (environ 50 %);

- le type 3 qui associe les épisodes pour lesquels H_0 n'est pas systématiquement rejetée (soit 80 à 90 % des cas) et où les contributions au X^2 du groupe "adéquation correcte" sont minoritaires (environ 40 % ou moins).

Tableau n°78 : Contributions au X^2 (en %) des 4 catégories d'adéquation entre mesure au sol et mesure radar, et cumuls en 2 groupes.

	Excellente adéquation	Bonne adéquation	Mauvaise adéquation	Adéquatio n inexistante	Adéquation correcte	Adéquation incorrecte
31.07.94	27.8	33.8	19.2	19.1	62	38
14.05.94	25.8	34.1	26.3	13.7	60	40
26.05.94	24.0	32.5	31.1	12.4	57	43
12.06.93	31.3	20.8	34.8	13.2	52	48
15.05.94	20.9	31.3	23.6	24.2	52	48
02.06.94	21.1	21.7	21.1	36.2	43	57
24.07.93	12.2	27.3	26.4	34.1	40	60
10.06.93	6.9	24.0	26.0	43.2	31	69

Si le test du Khi-carré permet de rejeter de manière certaine l'indépendance, il ne permet pas d'accepter d'emblée la dépendance ou la relation entre les deux variables X et Y, qui se signale ici par une bonne adéquation des modalités de X et Y, soit une même réponse du radar et du pluviographe.

En effet, la classification des épisodes ci-dessus montre qu'il est tout à fait possible de rejeter l'hypothèse d'indépendance, sans pour autant que les contributions les plus élevées du X^2 correspondent à une adéquation correcte des modalités X et Y.

Néanmoins, la probabilité d'avoir une réelle relation entre mesure au sol et mesure radar semble plus forte pour les types 1 et 2 que pour le type 3, car dans les deux premiers types c'est bien les associations en "adéquation correcte" qui contribuent le plus au X^2 .

Aussi, l'intensité de la relation entre mesure radar et mesure des pluviographes ne sera estimée que pour ces deux premiers types, car c'est pour ces événements qu'une corrélation entre mesure radar et mesure au sol est la plus probable.

7.3.4. INTENSITE DE LA RELATION ENTRE MESURE AU SOL ET MESURE RADAR.

L'intensité de la relation entre les deux variables X et Y, sous-entendue par le rejet de l'hypothèse d'indépendance, peut se mesurer à l'aide de plusieurs coefficients : coefficient de contingence, coefficient de corrélation des attributs, ou encore coefficient de Tschuprow, tous variant entre 0 et 1 (0 signifiant l'indépendance mathématique et 1 la liaison mathématique entre les deux variables).

Le choix s'est porté sur le coefficient de contingence C, celui-ci étant simple à calculer et couramment employé. Il s'écrit :

$$C = \sqrt{\left(\frac{X^2}{N + X^2} \right)}$$

où X^2 est la valeur calculée, N l'effectif total.

Plus la valeur de ce coefficient est proche de 1 plus la liaison mathématique entre les deux variables est forte. Par ailleurs, ce coefficient présente deux atouts : il estime l'intensité de la relation mais surtout il permet de comparer les différents épisodes de manière synthétique (Tableau n°79).

Tableau n°79 : Valeurs moyennes du coefficient de contingence pour les 5 épisodes retenus.

	Valeurs de C
31.07.94	0.78
14.05.94	0.74
15.05.94	0.75
26.05.94	0.61
12.06.93	0.56

Seuls 3 épisodes sur 5 semblent connaître une relation assez forte entre mesure radar et mesure au sol, ce sont les 3 épisodes dont le coefficient de contingence est de l'ordre de 0.75. Néanmoins, l'intensité de la relation entre mesure radar et mesure au sol n'est tout de même pas négligeable pour les 2 autres épisodes (environ 0.6).

En résumé, lorsque la valeur du X^2 calculé entraîne un rejet de l'hypothèse d'indépendance, cela ne permet pas de démontrer mais seulement de supposer l'existence d'une relation entre mesure au sol et mesure radar. En cas de rejet de cette hypothèse d'indépendance, le calcul des contributions au X^2 et la classification en degrés d'adéquation

permettent d'estimer cette relation comme réelle pour les épisodes où les associations du groupe "adéquation correcte" prédominent. Quant au coefficient de contingence, s'il informe sur l'intensité de la relation et permet d'ordonner les événements, il ne fournit en aucun cas la nature de cette relation.

En fin de compte, parmi les différents tests entrepris ici, c'est le bien test du Khi-carré qui permet de répondre le plus précisément la question "y-a-t'il un lien entre mesure au sol et mesure radar". L'objectif est donc atteint puisque au terme de ce test du Khi-carré, et des procédures qui le complètent (calcul des contributions et du coefficient de contingence), une relation entre mesure radar et mesure au sol semble s'esquisser pour certains événements. Par ailleurs, c'est surtout à l'aide du test du Khi-carré qu'il est possible de classer les événements, et de contrôler la validité du premier classement effectué lors de l'analyse qualitative globale.

En effet, la réalisation du test du Khi-carré a aboutit à écarter 3 épisodes sur les 11 sélectionnés au départ et à conserver les 8 autres pour lesquels il existe une potentielle relation entre mesure au sol et mesure radar. Puis l'analyse des contributions au Khi-carré a permis de sélectionner 5 épisodes, pour lesquels le X^2 est surtout lié aux poids des associations (X, Y) du groupe "adéquation correcte". Pour ces 5 épisodes, la liaison potentielle est assez intense pour 3 d'entre eux et moyenne pour les deux autres. Ce test offre donc un classement des 11 événements, classement qu'il est intéressant de comparer à celui élaboré lors de l'analyse qualitative globale (7.2).

Le premier classement des événements distingue 3 catégories : une première catégorie où la qualité globale est correcte (27 septembre 1993, 31 juillet 1994, 14 et 15 mai 1994, 26 mai 1994, et 12 juin 1994), une deuxième où elle est médiocre (2 juin 1994, 10 juin 1993, et 24 juillet 1993), et une dernière où elle est incorrecte (08 décembre 1994 et 14 avril 1993).

Parmi les 6 événements de la première catégorie, il y a 5 événements pour lesquels l'hypothèse d'indépendance est rejetée (pour 90 à 100 % des stations), et où le groupe "adéquation correcte" contribue fortement au X^2 (50 à 60 %); ce sont donc les événements en tête du classement issu du test du Khi-carré, c'est-à-dire ceux où la relation entre mesure au sol et mesure radar est la plus plausible.

Dans la catégorie où la qualité est médiocre, on trouve des événements pour lesquels l'hypothèse d'indépendance est rejetée pour 80 à 100 % des stations, mais où le groupe "adéquation correcte" contribue peu au X^2 (30 à 40 %); ce sont donc des événements où la liaison entre les deux types de mesure ne semble pas être réaliste.

Enfin, dans la troisième catégorie, se placent deux événements où l'hypothèse d'indépendance n'est rejetée que pour 50 % des stations, et où la liaison entre les deux types de mesure semble inexistante, à ces deux événements s'adjoint l'événement du 27 septembre 1993 qui semblait au premier abord de qualité correcte puisqu'il appartenait à la première catégorie.

En définitive, le premier classement qui cherchait à ordonner les événements selon la concordance des réponses du radar et des pluviographes, se révèle conforme, excepté pour l'épisode du 27 septembre 1993, au classement issu du test du Khi-carré et des procédures qui l'affinent.

A l'issue de ces différents tests, il est possible de choisir en toute connaissance de cause, les événements pour lesquels on souhaite effectuer une présentation plus précise. Cette présentation cherchera à montrer que si le radar s'avère un outil intéressant pour compléter l'étude de la répartition spatiale des précipitations, il n'est pas toujours en mesure d'atteindre cet objectif. Aussi, parmi les événements sélectionnés se trouvent à la fois un événement où la liaison entre les deux types de mesure semble pratiquement certaine (14 mai 1994), et un événement pour lequel elle semble inexistante (8 décembre 1994).

CHAPITRE 8

LE RADAR D'ABBEVILLE POUR L'ETUDE DES SEQUENCES PLUVIEUSES DE L'AGGLOMERATION LILLOISE, ATOUTS ET FAIBLESSES

8.1. L'EVENEMENT DU 14 MAI 1994, TEMOIN DE L'INTERET DE L'IMAGERIE DU RADAR D'ABBEVILLE.	248
8.1.1. CONTEXTE METEOROLOGIQUE.	248
8.1.2. LA MESURE AU SOL DES PRECIPITATIONS DU 14 MAI 1994.	250
8.1.3. L'APPORT DE L'IMAGERIE RADAR.	259
8.2. L'EVENEMENT DU 8 DECEMBRE 1994, TEMOIN DE POTENTIELLES FAIBLESSES DU RADAR D'ABBEVILLE.	272
8.2.1. CONTEXTE METEOROLOGIQUE.	272
8.2.2. LA MESURE AU SOL DES PRECIPITATIONS DU 8 DECEMBRE 1994.	274
8.2.3. LES FAIBLESSES DU RADAR DANS LA DETECTION DES PRECIPITATIONS DU 8 DECEMBRE 1994.	280

L'association des deux outils de mesure des précipitations que sont un réseau de pluviographes et un radar semble répondre de manière satisfaisante aux besoins de l'hydrologie urbaine, puisqu'elle permet une connaissance fine des précipitations dans leur déroulement, leurs intensités et leurs répartitions spatiales, comme l'ont montré les travaux d'ANDRIEU H., et JACQUET G. ou ceux d'EINFALT T.

Si ces travaux se plaçaient dans une problématique d'utilisation opérationnelle du radar en hydrologie urbaine pour la gestion des réseaux d'assainissement, la problématique est ici différente et se situe en amont d'une telle utilisation du radar d'Abbeville pour la gestion des réseaux d'assainissement de l'agglomération lilloise. En effet, il s'agit de tester la pertinence d'une éventuelle utilisation de l'imagerie du radar d'Abbeville, soit de vérifier si le radar d'Abbeville possède de réelles compétences pour répondre aux besoins des gestionnaires des réseaux d'assainissement de la métropole lilloise.

Les tests qualitatifs effectués au chapitre précédent ont montré qu'il existait pour certains événements une potentielle liaison entre mesure au sol et mesure radar, alors que celle-ci semble inexistante pour d'autres. A l'issue de ce constat, il est nécessaire de poursuivre la comparaison entre mesure radar et mesure au sol pour tenter de mettre en évidence les causes d'une réponse si différenciée du radar.

La présentation d'un événement pour lequel le radar offre une réponse en adéquation avec celle des pluviographes et, d'un événement, où au contraire le radar semble déficient, offre plusieurs intérêts. Cela permettra de montrer d'une part, que le radar est un outil à utiliser avec précaution puisqu'il ne semble pas être infaillible, et d'autre part, que ses faiblesses semblent dépendantes du contexte météorologique, et ce, en choisissant deux événements situés dans un contexte météorologique différent.

Après avoir replacé chacun des événements dans son contexte météorologique, la répartition spatiale des volumes précipités est présentée à l'aide des données des réseaux de mesure au sol (pluviomètres et pluviographes). Puis les données des pluviographes sont dépouillées afin d'obtenir des précisions sur les durées de précipitations, les intensités moyennes et maximales de l'épisode. Enfin, après avoir comparé les intensités mesurées aux pluviographes et celles mesurées au radar, l'analyse des images permettra de montrer l'apport du radar, lorsque celui-ci est soumis à des conditions météorologiques favorables.

8.1. L'EVENEMENT DU 14 MAI 1994, TEMOIN DE L'INTERET DE L'IMAGERIE DU RADAR D'ABBEVILLE.

L'événement du 14 mai 1994 a été choisi à l'issue des différents tests réalisés au chapitre précédent parce que le Khi-carré semble indiquer l'existence d'une liaison entre mesure au sol et mesure radar, et, préféré à l'événement du 31 juillet 1994, car si le nombre de points de comparaison (11 au total) est équivalent, il n'y a pas d'images manquantes.

8.1.1. CONTEXTE METEOROLOGIQUE.

Les cartes synoptiques du Météo-Hebdo du 14 mai 1994 à 12 H TU en surface et en altitude (Figure n°13) permettent de cerner le contexte météorologique de cet épisode pluvieux, qui se déroule en deux temps, une première chute de pluie a lieu aux alentours de 12 H et une seconde en soirée (de 19 à 02 H)

La dépression située sur le proche atlantique est accompagnée d'une perturbation en cours d'occlusion, cette dernière n'est pas effective sur le territoire français, d'où l'existence d'un front froid encore actif, induisant une ascendance de l'air du secteur chaud de la perturbation. En altitude, cette dépression est surmontée d'un bas géopotentiel bien marqué et accompagné d'une goutte froide bien développée spatialement. Le flux en altitude est un flux de Sud-Ouest à Sud-Est amenant de l'air maritime froid au-dessus du territoire français.

La présence d'air froid humide en altitude surmontant de l'air plus chaud ascendant permet le développement de l'instabilité et entraîne la formation de cumulus, de stratocumulus et de cumulo-nimbus. Cette instabilité revêt localement un caractère orageux, ce qui n'est pas le cas dans le Nord-Pas-de-Calais, cependant les précipitations qui affectent la métropole lilloise sont assez intenses.

Les vents d'abord orientés au Nord-Est (de 0 à 6 H) s'orientent à l'Est et au Sud-Est en cours de matinée et pendant l'après-midi (de 9 à 18 H), pour finalement s'orienter au Sud-Ouest en soirée (de 21 à 0 H).

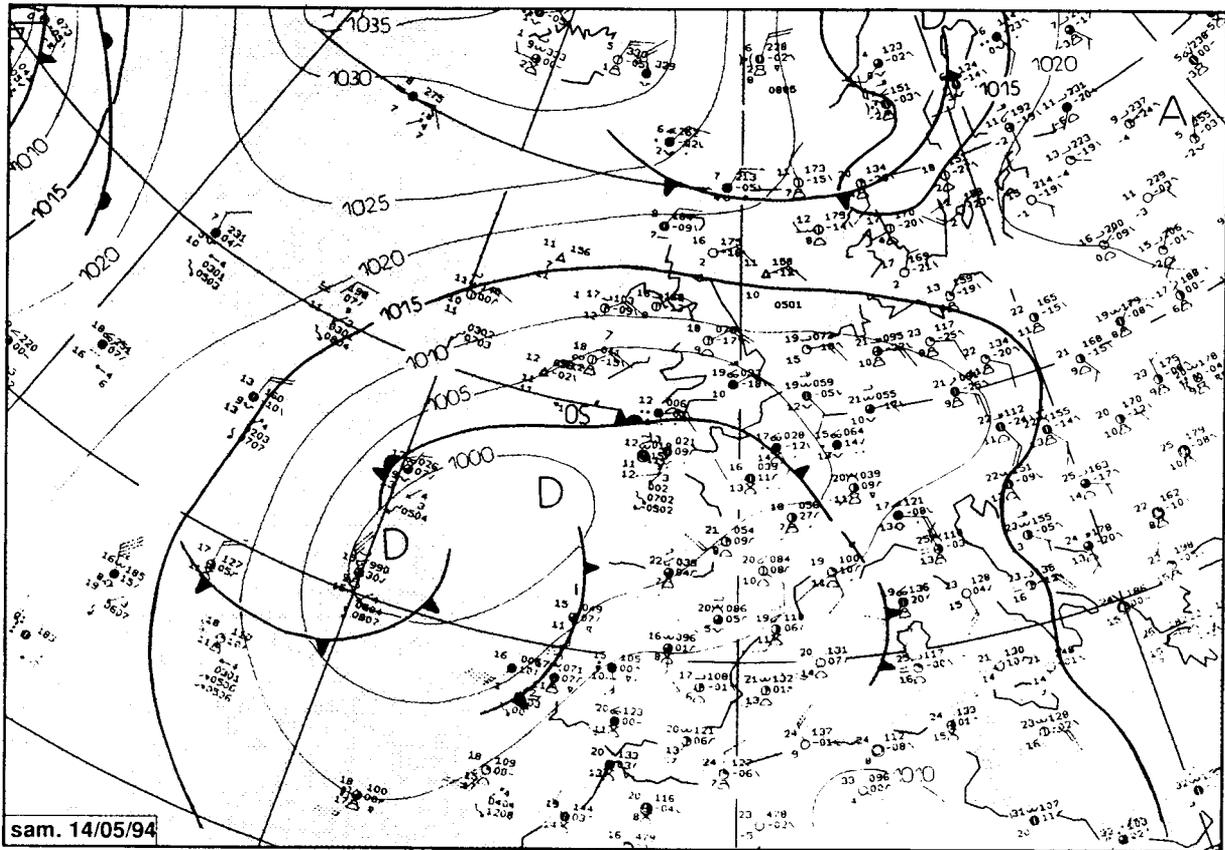
La vitesse du vent est assez faible, en moyenne 16 km.H⁻¹ avec une vitesse instantanée de 47 km.H⁻¹ à 21H40. Ces changements dans la direction du vent témoignent d'une rotation des vents probablement liée au passage du front.

Les températures mesurées au sol, témoignant de la présence d'air assez chaud en surface, varient peu au cours de la journée, elles s'échelonnent entre 11.7°C (3 H) et 17.1°C (11 H). De même la pression atmosphérique se maintient aux alentours de 1000 hPa, tout en diminuant au cours de la journée. Quant à la nébulosité celle-ci est forte (7/8) d'où une insolation nulle.

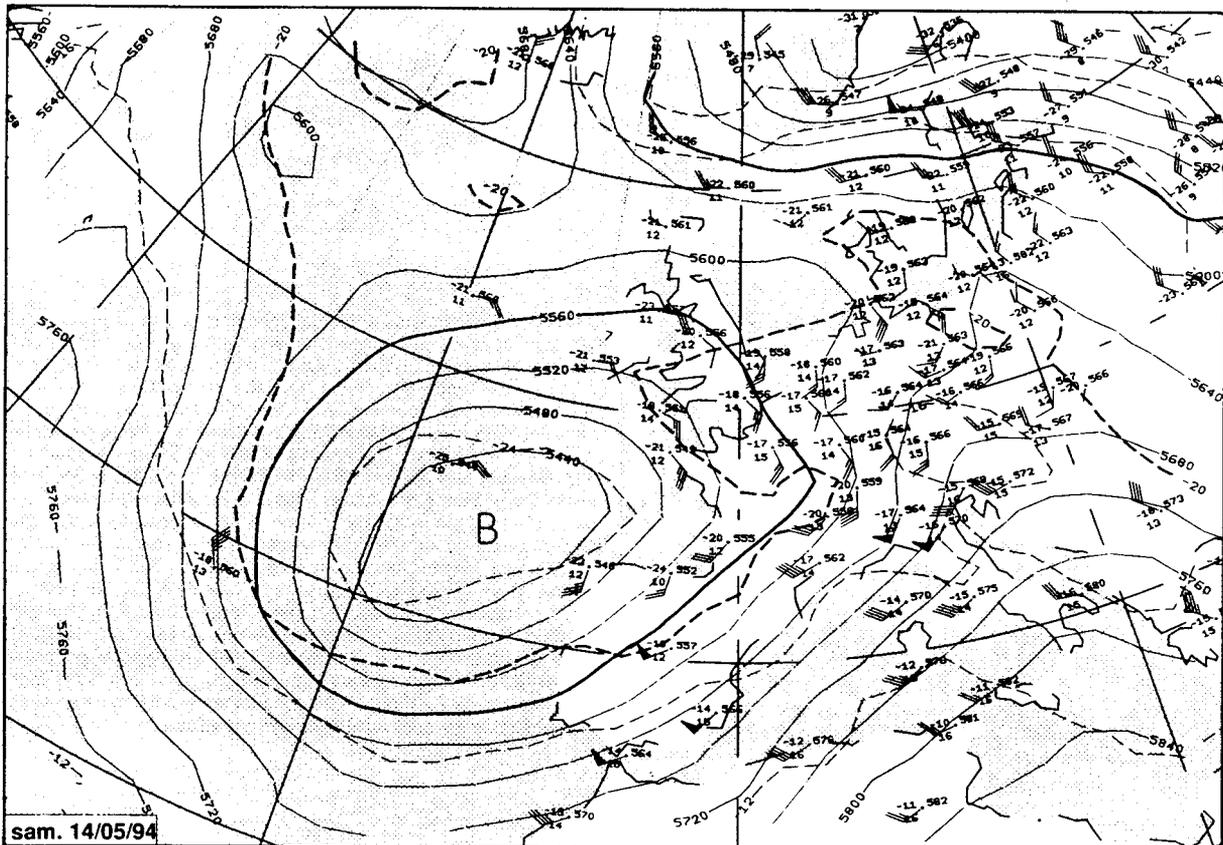
Figure n°13 : Situation météorologique du 14 mai 1994, surface et surface 500 hPa (Météo-France).

Samedi 12 h TU

ANALYSE EN SURFACE



SURFACE 500 hPa



Finale­ment, cet épisode plu­vieux semble lié au pas­sage du front froid de la per­tur­ba­tion (OS) dont l'im­pact est am­pli­fié par une in­sta­bi­lité de la masse d'air im­pu­table à la pré­sen­ce d'air assez chaud en sur­face et d'air froid en al­ti­tude. Le ciel cou­vert tout au long de la jour­née modère les va­ria­tions de tem­pé­ra­ture, et en­traîne une in­so­la­tion nulle.

Cet épisode si­tué dans un con­texte cy­clo­nique, avec une in­sta­bi­lité ren­for­cée par l'ad­vec­tion d'air froid en al­ti­tude, ap­porte une hau­teur moyenne de 12.2 mm sur les 24 heures (de 6 H le 14 mai à 6 H le 15), moyenne cal­cu­lée sur l'en­semble des sta­tions dis­poni­bles (plu­viomètres fran­çais et belges, plu­viograp­hes du ré­seau C.U.D.L.), soit 27 sta­tions. L'as­so­cia­tion des plu­viomètres et plu­viograp­hes per­met une pré­sen­ta­tion de l'ép­isode à l'échelle jour­nalière, alors que l'uti­li­sa­tion des plu­viograp­hes seuls per­met d'aborder l'événement à une échelle de temps plus fine : l'échelle de la sé­quence plu­vieuse.

8.1.2. LA MESURE AU SOL DES PRECIPITATIONS DU 14 MAI 1994.

Une première ap­pro­che des pré­ci­pi­ta­tions liées à cet évé­nement con­siste à dresser la carte des hau­teurs jour­nalières pour l'en­semble des sta­tions.

Le pas de temps jour­na­lier (24 H) est re­te­nu par défaut, dans la mesure où les don­nées des plu­viomètres sont four­nies à ce pas de temps, les pré­ci­pi­ta­tions mesu­rées aux plu­viograp­hes sont donc cumu­lées sur ce même pas de temps.

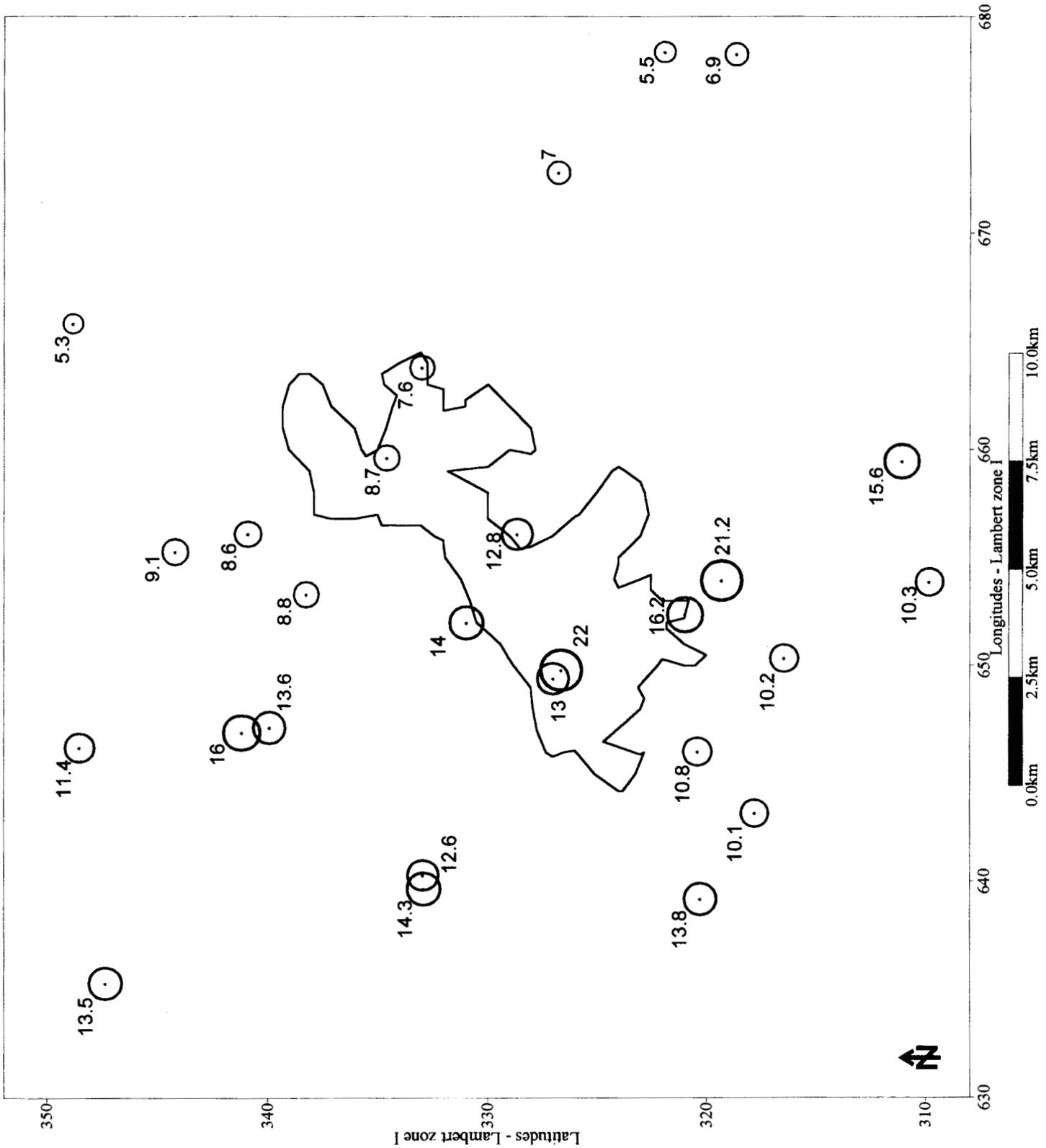
La Carte n°11 pré­sen­te les hau­teurs d'eau pré­ci­pi­ta­tes en 24 H à chaque sta­tion, la vision de l'événement reste donc pon­ctuelle.

Outre l'hété­ro­gé­né­ité spa­tiale des hau­teurs d'eau pré­ci­pi­ta­tes au sein de la ré­gion lilloise, cette carte montre une zone plus ar­rosée (plus de 12 mm) qui s'étend de Vlamertinge à Cappel­le-en-Pévèle, et pour la­quelle le maximum se place à Jou­haux (22 mm).

Au-delà de cette zone les pré­ci­pi­ta­tions di­mi­nuent. Ainsi, l'ag­glomération semble être moins affectée par les pré­ci­pi­ta­tions dans sa moitié Nord, Rou­baix et Grim­on­pont affi­chant des valeurs plus faibles que les sta­tions si­tuées au Sud.

Si cette carte in­forme sur la ré­par­ti­tion globale des pré­ci­pi­ta­tions sur 24 heures, et per­met de cer­ner une zone plus ar­rosée au sein de la ré­gion lilloise, elle n'au­torise pas une analyse plus ap­profondie. La faiblesse d'un ré­seau de plu­viomètres est de nouveau dé­mon­trée. L'analyse des don­nées four­nies par les plu­viograp­hes per­met d'avoir une vision beaucoup plus fine de cet épisode, comme le montrent les pa­ra­graphes qui suivent.

Carte n°11 : Précipitations mesurées aux différentes stations de la région lilloise au cours de la journée du 14 mai 1994.



En effet, l'observation des données fournies par les pluviographes permet tout d'abord de définir deux séquences pluvieuses au sein de cet événement. C'est la deuxième séquence qui se déroule de 19 à 02 H qui retiendra l'attention, puisque c'est cette dernière qui a fait l'objet de la comparaison avec les images radar.

La mesure effectuée par le pluviographe permet d'estimer facilement la durée de la séquence pluvieuse. Mais il s'agit bien d'une estimation dans la mesure où le premier basculement n'a pas lieu au tout début des précipitations et que le dernier basculement n'est pas synonyme de l'arrêt des précipitations.

Néanmoins les durées estimées représentent une information supplémentaire sur le déroulement des précipitations, précision qu'il n'est pas possible d'atteindre avec une mesure réalisée par un pluviomètre.

Ainsi, pour cet épisode du 14 mai 1994, le dépouillement des données des pluviographes détermine deux séquences de précipitations séparées par une durée de temps sec de 5 à 6 heures selon les stations. La détermination des séquences de précipitations se fait ici selon les mêmes critères qu'au Chapitre 3, c'est-à-dire qu'en deçà d'un certain seuil de durée de temps sec, la séquence n'est pas interrompue.

Ce seuil est ici fixé à une heure afin de pouvoir comparer les séquences à la population des séquences de la période 1982-1991 observées à Lesquin, étudiée précédemment.

Les durées de la deuxième séquence sont variables d'une station à l'autre tout en restant dans le même ordre de grandeur (Tableau n°80), la moyenne étant de 3.6 H.

Tableau n°80 : Durée (en heures) de la deuxième séquence pluvieuse du 14 mai 1994 aux différents pluviographes du réseau C.U.D.L.

Pluviographe	Durée
GRIMONPONT	3.9
MARQUETTE	3.4
HOUPLIN-ANCOISNE	3.3
FACHES	3.4
HOUPLINES	3.5
SERGEANT	3.2
HALLUIN	3.3
LINSELLES	3.6
COMINES	4.3
JOUHAUX	3.5
FOURNES	3.7

Cette deuxième séquence de précipitations observée pendant la journée du 14 mai 1994 est assez longue, la moyenne étant de 2.8 H pour les séquences de la population de la période 1982-1991.

Si la connaissance des durées de précipitations est intéressante en elle-même, elle permet en outre, comme cela a déjà été évoqué, le calcul d'intensités : intensités moyennes sur l'ensemble de la séquence, intensités moyennes sur des pas de temps fins, à partir desquelles il est possible de connaître l'intensité moyenne maximale sur un pas de temps donné.

Tableau n°81 : Intensité moyenne (en mm.H-1) de la deuxième séquence pluvieuse du 14 mai 1994 aux différents pluviographes du réseau C.U.D.L.

Pluviographe	Intensité moyenne
GRIMONPONT	1
MARQUETTE	3
HOUPLIN-ANCOISNE	2.2
FACHES	3.8
HOUPLINES	2.5
SERGEANT	2.7
HALLUIN	1.7
LINSELLES	1.7
COMINES	2.5
JOUHAUX	5.3
FOURNES	2.9

Les intensités moyennes sont assez fortes, puisque 8 stations sur 11 présentent des intensités moyennes supérieures ou égales à la moyenne (2.1 mm.H-1 pour la population des séquences de 1982-1991 à Lesquin), et parmi ces stations, Jouhaux se démarque fortement, c'est d'ailleurs la station la plus arrosée au cours de l'événement.

Quant aux intensités maximales, calculées sur un pas de temps de 5 minutes, elles permettent d'une part, la comparaison avec les intensités maximales calculées à Lesquin sur 6 minutes, et d'autre part, de replacer la séquence dans la grille de classification des séquences pluvieuses pour chacune des stations.

Tableau n°82 : Intensité maximale sur 5 minutes (en mm.H-1) de la deuxième séquence pluvieuse du 14 mai 1994 aux différents pluviographes du réseau C.U.D.L.

Pluviographe	Intensité maximale sur 5 minutes
GRIMONPONT	2.4
MARQUETTE	9.6
HOUPLIN-ANCOISNE	12
FACHES	33.6
HOUPLINES	7.2
SERGEANT	7.2
HALLUIN	4.8
LINSELLES	4.8
COMINES	4.8
JOUHAUX	55.2
FOURNES	24

Les stations où l'intensité maximale est élevée sont toutes situées dans le même secteur, dans la partie Sud-Ouest de l'agglomération. Il faut noter que ce secteur est compris dans la zone plus arrosée signalée lors de l'étude au pas de temps journalier.

Cette partie Sud et Sud-Ouest de l'agglomération semble beaucoup plus touchée par les précipitations que la partie Nord; mais cette hypothèse est-elle réelle ou existe-t'il d'autres épïcêtres non perçus à cause de la faible densité du réseau? L'analyse des images radar permettra certainement de répondre à cette interrogation.

Comme le montre le Tableau n°83, cette séquence n'appartient pas au même type de séquence, d'une station à l'autre.

Tableau n°83 : Place de la deuxième séquence du 14 mai 1994 dans la grille de classification des séquences pluvieuses, selon les stations du réseau C.U.D.L.

Intensités maximales (en mm.H ⁻¹)	Hauteurs (en mm)				
	[1 - 2.5[	[2.5 - 5[	[5 - 10[	[10 - 15[	≥ 15
< 10		Grimonpont	Houplines Linselles Sergeant Halluin	Marquette Comines	
[10 - 20[			Houplin-Anc.		
[20-40[				Faches Fournes	
≥ 40					Jouhaux

Ce tableau montre clairement qu'à l'échelle d'une séquence, les réponses sont variées d'une station à l'autre puisque 6 stations appartiennent à la catégorie des "pluies courantes", alors que les 5 autres appartiennent à la catégorie des "pluies exceptionnelles".
Finalement, la même séquence, inscrite dans le même contexte météorologique revêt spatialement des aspects divers.

C'est pourquoi la classification élaborée au Chapitre 3 mériterait d'être réalisée pour chacune des stations lorsque les données archivées auront atteint un volume plus conséquent (5 ans de mesure par exemple).

Cela permettrait d'observer les nuances spatiales des séquences de manière rapide et synthétique, et donnerait une indication de l'extension spatiale des différents types de séquences. Il serait alors possible d'élaborer une nouvelle classification qui intégrerait l'extension spatiale du caractère "courant" ou "exceptionnel" des séquences en regardant combien de stations appartiennent à tel ou tel type, et qui permettrait de classer ces séquences

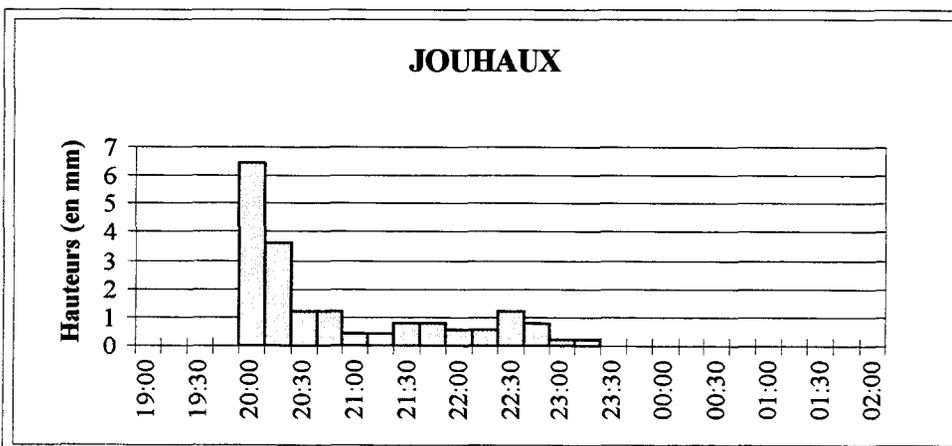
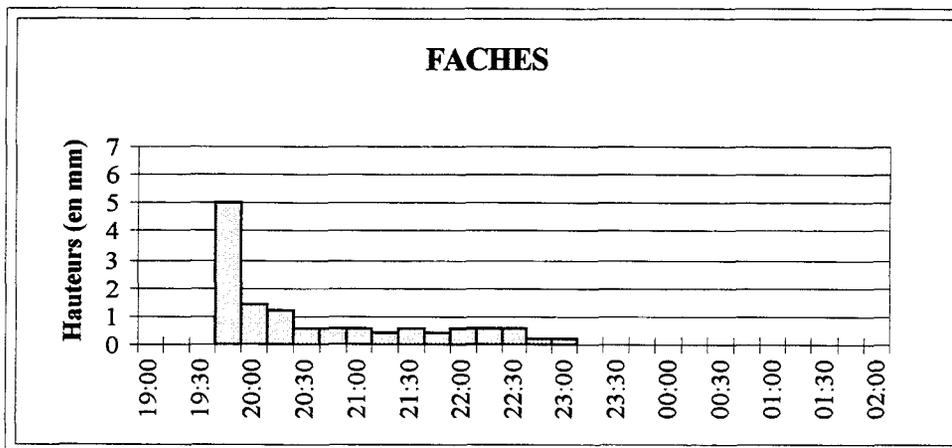
selon le risque d'apparition de problèmes de gestion sur les réseaux et selon leur degré de généralisation.

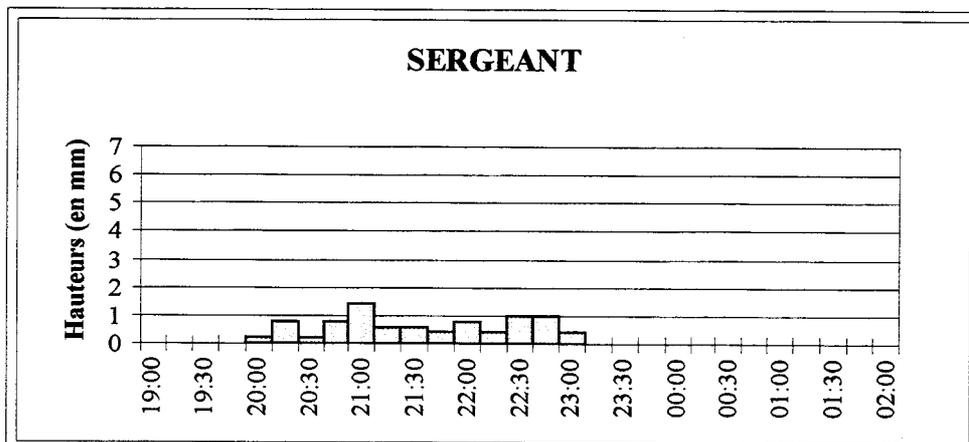
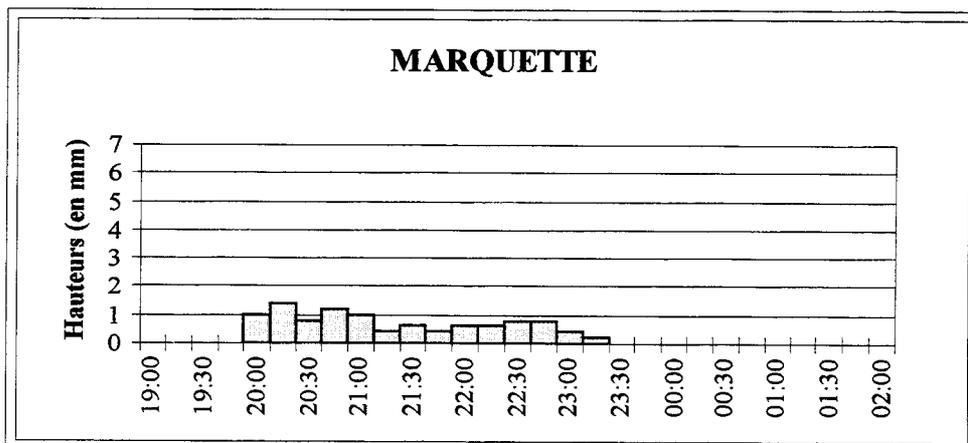
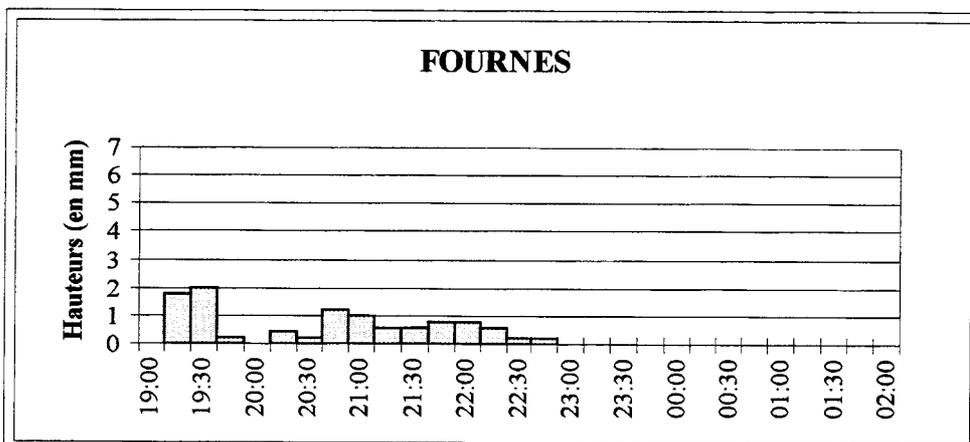
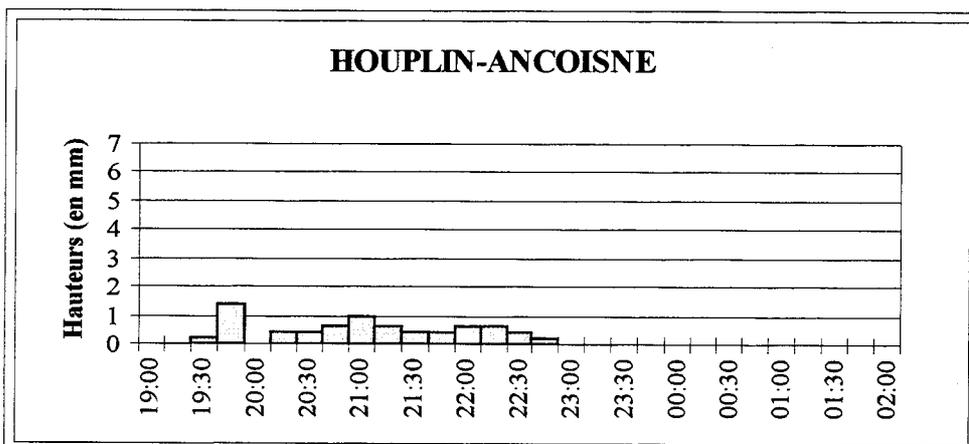
Ainsi, une séquence telle celle présentée ici, où l'aspect exceptionnel n'est présent que pour quelques stations, n'engendrera que peu de problèmes sur les réseaux dans la mesure où ceux-ci ne sont pas tous sollicités de la même manière et où un certain équilibre tempère les éventuels problèmes.

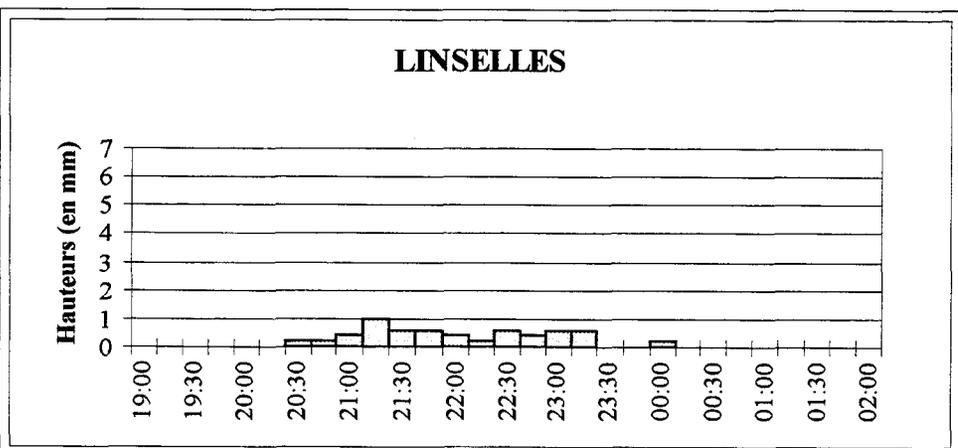
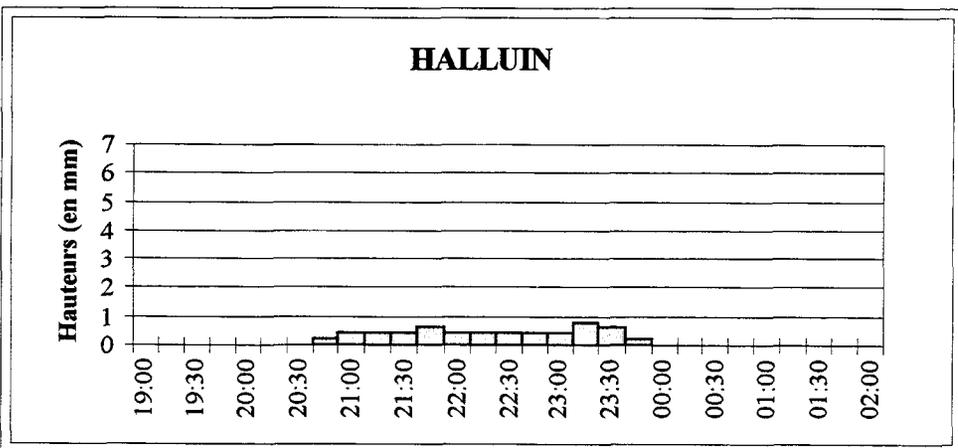
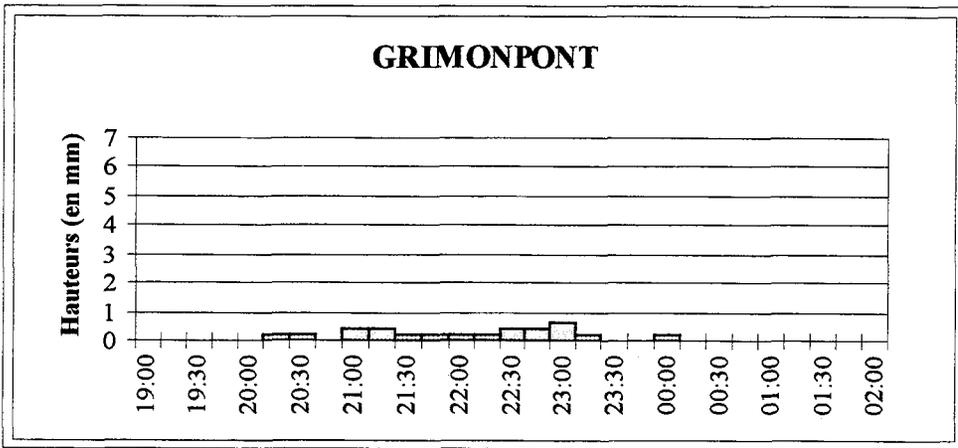
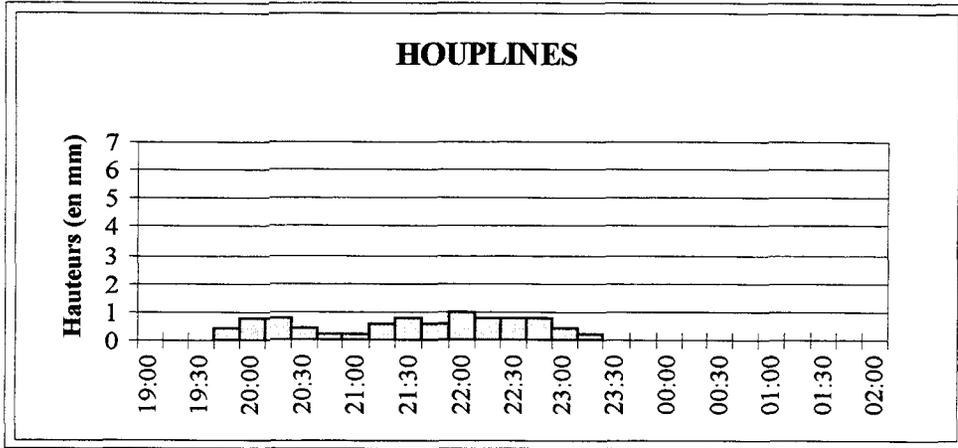
A l'opposé une séquence pour laquelle le caractère exceptionnel serait présent pour l'ensemble des stations présenterait un risque élevé de problèmes de gestion sur l'ensemble du réseau.

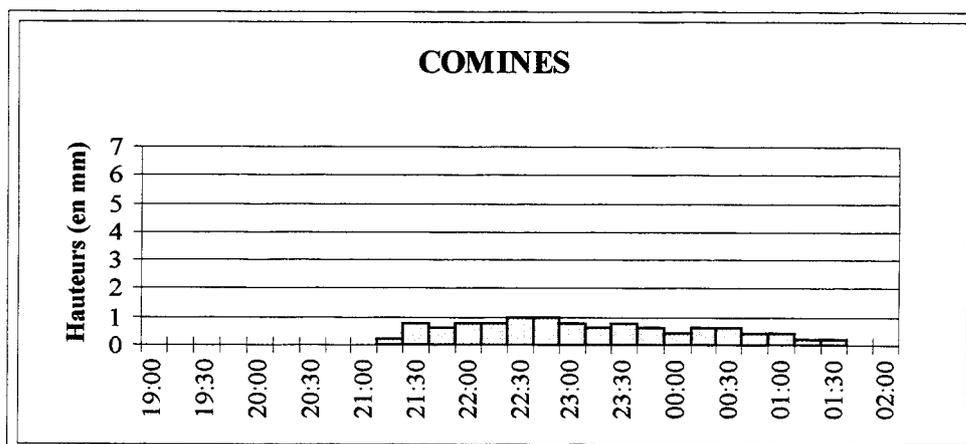
Autre atout de la mesure réalisée à l'aide d'un pluviographe : la possibilité de dresser le hyétogramme. Ainsi, les hyétogrammes des différentes stations (Graphique n°49) offrent une image du déroulement de la pluie sur un pas de temps assez fin (15 minutes).

Graphique n°49 : Hyétogrammes pour les différentes stations, 14 mai 1994.



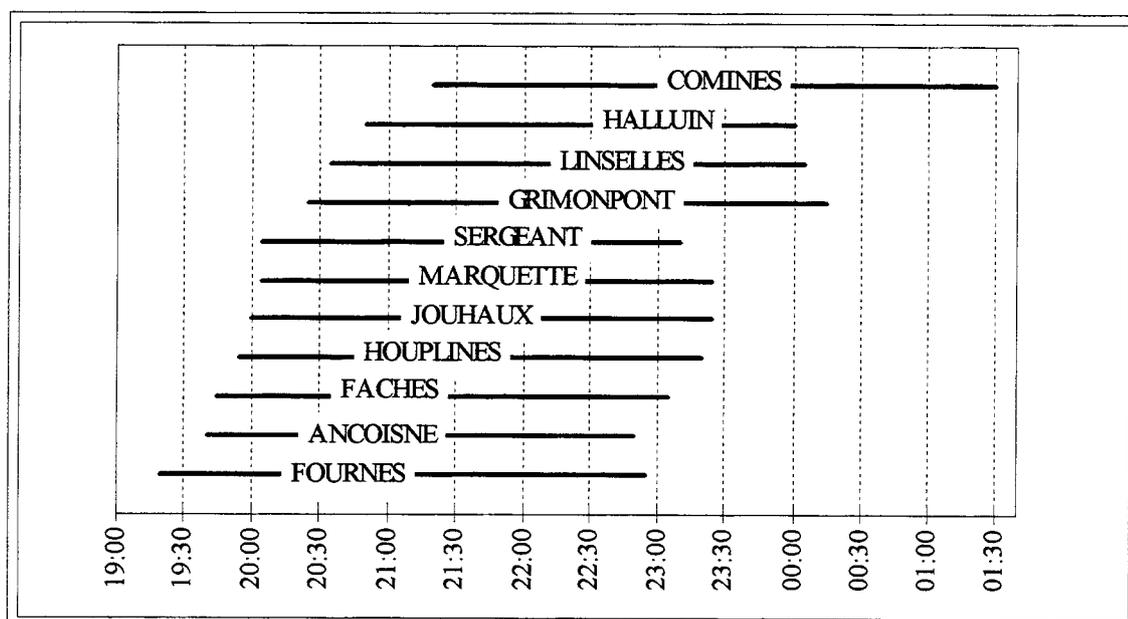






Comme le montre le Graphique n°49 et plus rapidement le Graphique n°50, la cellule pluvieuse se déplace ou plutôt "s'étale" du Sud-Ouest vers le Nord-Est, puisque ce sont d'abord les stations du Sud-Ouest qui sont touchées par la pluie, puis celles situées au coeur de l'agglomération et enfin, celles situées au Nord.

Graphique n°50 : Déroulement simplifié de la séquence selon les stations.



Outre les informations sur le déplacement de la cellule pluvieuse, le hyétogramme informe sur le déroulement de la séquence pluvieuse.

Ici, trois formes de hyétogrammes se distinguent :

- d'une part, les hyétogrammes qui présentent une pointe d'intensité bien marquée (Jouhaux et Faches),

- d'autre part, les hyétogrammes qui connaissent une pointe d'intensité de plus faible ampleur (Fournes, Houplin-Ancoisne et dans une moindre mesure, Marquette et Sergeant),

- et enfin, ceux qui proposent un profil assez plat, soit des variations de très faible amplitude (toutes les stations restantes).

En résumé, la pluie atteint d'abord le Sud-Ouest de l'agglomération puis s'étend vers le Nord-Est. Par ailleurs, c'est dans le secteur Sud-Ouest plus arrosé que se retrouvent toutes les pointes d'intensités marquées et les plus fortes intensités maximales.

L'épicentre semble donc se placer à Jouhaux et s'étendre vers les stations de Fournes et Faches. L'analyse des images radar confirmera-t'elle les faits observés à l'aide des mesures effectuées au sol, et montre-t'elle l'existence d'autres épïcêtres ?

8.1.3. L'APPORT DE L'IMAGERIE RADAR.

L'analyse des données fournies par le réseau franco-belge de pluviomètres a permis de cerner une zone plus arrosée au sein de la région lilloise (Sud-Ouest de l'agglomération).

L'analyse des données des pluviographes de la C.U.D.L. a permis d'une part, de confirmer l'existence de cette zone plus arrosée, et d'autre part, de connaître le déroulement de la séquence pluvieuse et l'intensité de la pluie.

Mais quel que soit le réseau employé, l'analyse ne s'attache qu'à des observations ponctuelles qu'il est possible de regrouper tout en commettant potentiellement des erreurs par méconnaissance des faits entre deux stations.

L'utilisation d'images radar permet de s'affranchir de cette observation ponctuelle et d'avoir une observation spatiale continue des phénomènes.

Avant de présenter les images et de les analyser, il semble important de montrer la bonne adéquation entre mesure au sol et mesure radar évoquée pour cet événement au Chapitre 7.

Pour montrer cette adéquation, un moyen simple a été employé : tracer sur un même graphique les intensités mesurées sur chaque quart d'heure et les intensités instantanées mesurées par le radar, en indiquant l'intervalle d'intensités correspondant à chaque niveau de réflectivité, (Annexe n°15). Sur ces graphiques, la courbe correspond à la variation de l'intensité au pluviographe (en mm.H⁻¹) et les barres verticales indiquent l'étendue de la classe d'intensité (en mm.H⁻¹) correspondant au niveau de réflectivité, par exemple, le niveau 1 correspond à la classe [0.1 - 0.4[, ou niveau 4 à la classe [1.2 - 2.1[.

Les graphiques de l'Annexe n°15 montrent qu'il existe globalement une bonne adéquation entre mesure au sol et mesure radar, ou encore qu'il semble y avoir une similitude dans les variations d'intensités.

Néanmoins, il se pose un problème : l'intensité mesurée aux pluviographes ne correspond pas une intensité instantanée comme celle du radar, mais à une intensité moyenne sur 15 minutes soit à une intensité sous-estimée, pourtant la mesure au sol des intensités de précipitations présente presque toujours des valeurs supérieures à celles fournies par le radar. Il semble donc que le radar sous-estime lui-aussi les intensités et ce de manière importante.

La sous-estimation ou mauvaise détection des précipitations est imputable à trois sources d'erreurs : limite de détection des particules, l'atténuation des précipitations et la limite de portée.

La limite de détection des particules, qui peut être écartée dans la mesure où ce type d'erreur apparaît surtout lors de précipitations neigeuses, ou de bruines ou brouillards, ce qui n'est pas le cas ici.

L'atténuation des précipitations, liée à la réduction de la puissance de l'onde émise par le radar pendant son trajet vers la cible par les gaz et des cellules de précipitations intenses; il faudra vérifier s'il existe ou non une zone de précipitations intenses intercalée entre le radar et la région lilloise sur le quart Nord-Est, même s'il est possible déjà d'écarter cette source d'erreur dans la mesure où il n'apparaît pas sur les images de diminution concentrique des réflectivités.

La limite de portée correspond au fait que le faisceau passe au-dessus des nuages précipitants ou qu'il atteint le sommet de nuages à fort développement vertical au-dessus de l'isotherme 0°C, c'est-à-dire là où les particules sont composées uniquement de glace, et donc mal détectées (voir 7.2.2.).

Dans ce même chapitre (7.3.2.) les altitudes du faisceau selon la distance au radar ont été calculées et il en découle que certains types de nuages lorsqu'ils sont situés au-dessus de l'agglomération seraient assez mal détectés par le radar : il s'agit des stratus, des altostratus, des altocumulus et des cumulo-nimbus. Parmi, ces nuages, il est possible, au vu du contexte météorologique que des altocumulus et des cumulo-nimbus soient présents, et que le faisceau soit au-dessus de la zone de fusion, d'où la sous-estimation des précipitations. Cette mauvaise détection est donc liée à l'éloignement du radar, la limite de portée se manifeste donc ici.

La visualisation du quart Nord-Est des images radar de cet épisode permet de s'assurer de l'inexistence d'une cellule pluvieuse très intense entre la région lilloise et le radar, puisque les réflectivités les plus importantes sont situées dans les niveaux 6 et 7 correspondant à des intensités comprises entre 4 et 12 mm.H⁻¹, qui ne sont pas à proprement parlé des très fortes intensités.

Il semble donc que la sous-estimation des intensités par le radar soit plutôt liée à l'éloignement au radar qu'à l'effet d'atténuation, ce qui signifie que la limite de portée du radar paraît atteinte pour l'agglomération lilloise.

Tout en sachant que les intensités mesurées par le radar sont sous-estimées par rapport à celles mesurées au sol, l'observation des répartitions spatiales des intensités qu'offrent les images radar pour la région lilloise conserve un intérêt : s'affranchir d'une vision ponctuelle des faits pour passer à une vision spatiale continue.

La visualisation des images fournies par le radar lors de l'épisode du 14 mai 1994 confirme le déplacement de la cellule pluvieuse du Sud vers le Nord (Figure n°14).

De 17 H à 18 H, de très faibles échos sporadiques de précipitations sont déjà présents sur les images, puis de 18 H à 19 H, les échos deviennent plus nombreux et des échos de précipitations plus intenses apparaissent au Sud-Ouest, alors qu'au sol aucune précipitation n'est détectée.

Cette absence de détection peut avoir deux causes :

- lorsqu'il pleut, le fonctionnement du pluviographe n'en permet pas une détection immédiate, il existe en effet un temps de latence qui correspond au temps qu'il faut pour remplir l'auge et entraîner son basculement.

Aussi, l'absence de basculement n'est pas synonyme d'absence ou d'arrêt de la pluie.

- les nuages qui précipitent ne surplombent pas les pluviographes installés au sol, et l'absence de détection est alors liée à la maille assez large du réseau.

Pour ces images, les échos ne correspondent pas aux pixels des pluviographes, sauf pour Houplin-Ancoisne et Fournes où l'absence de détection est probablement liée à la première cause.

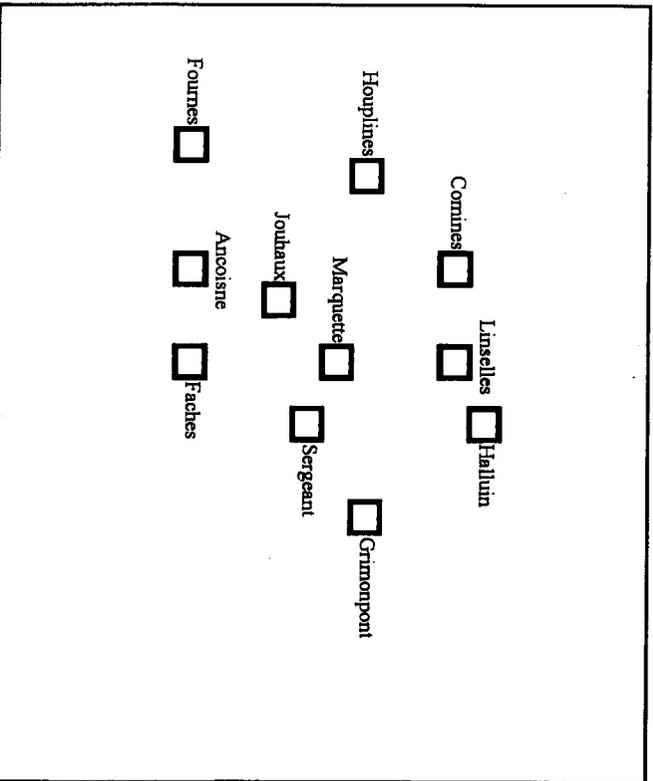
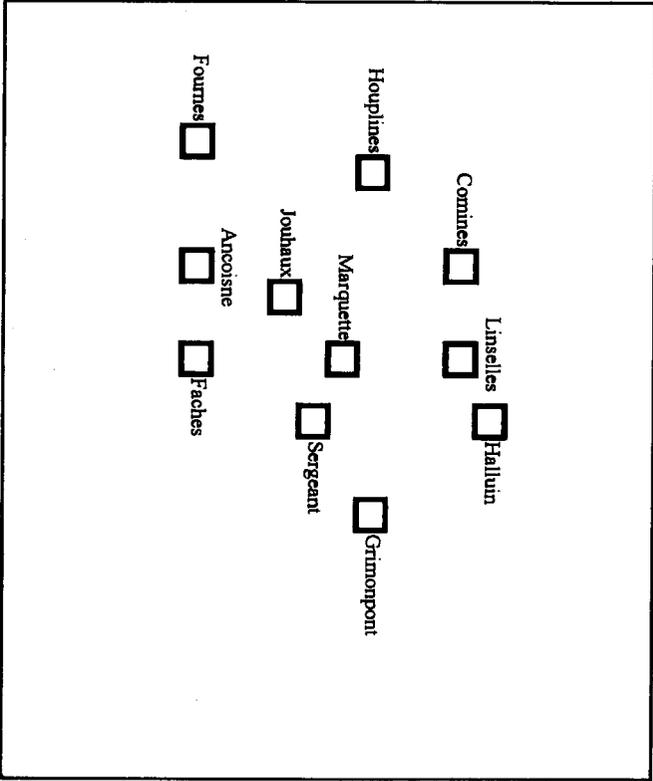
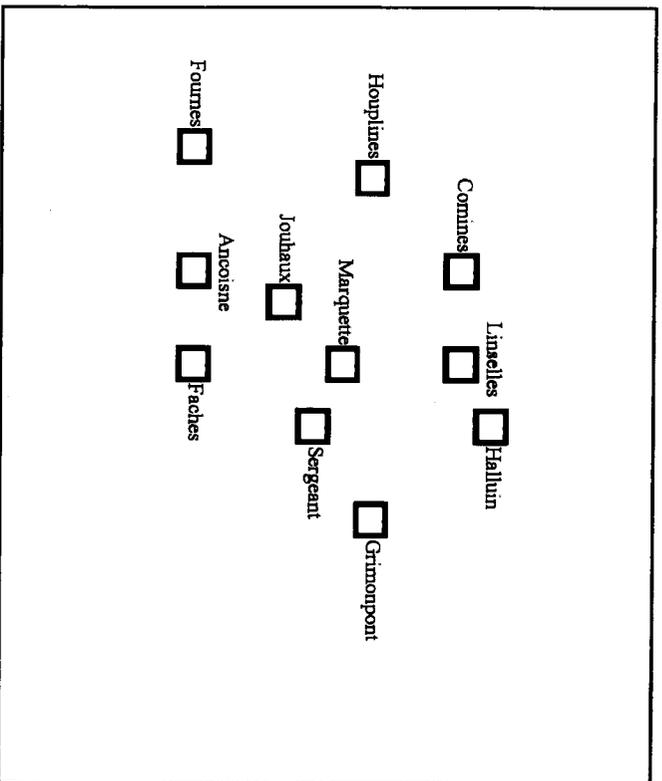
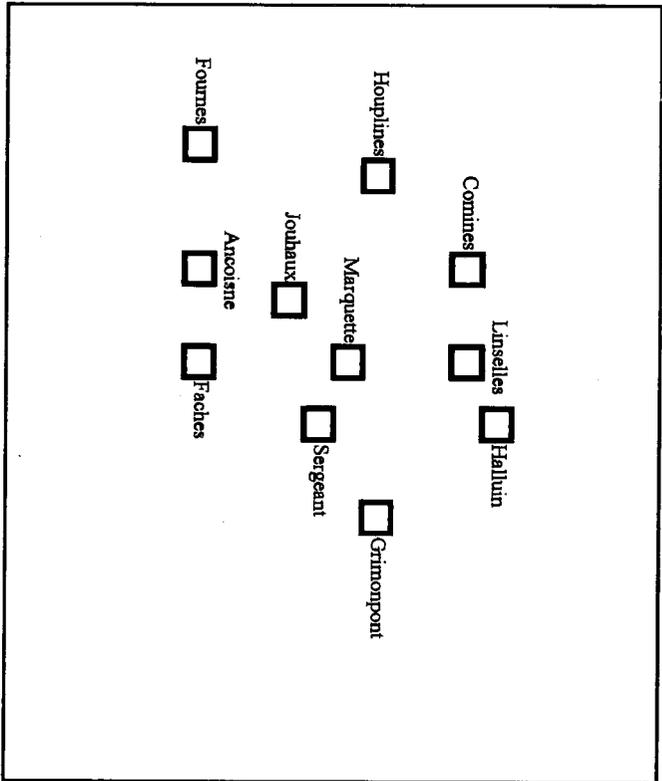
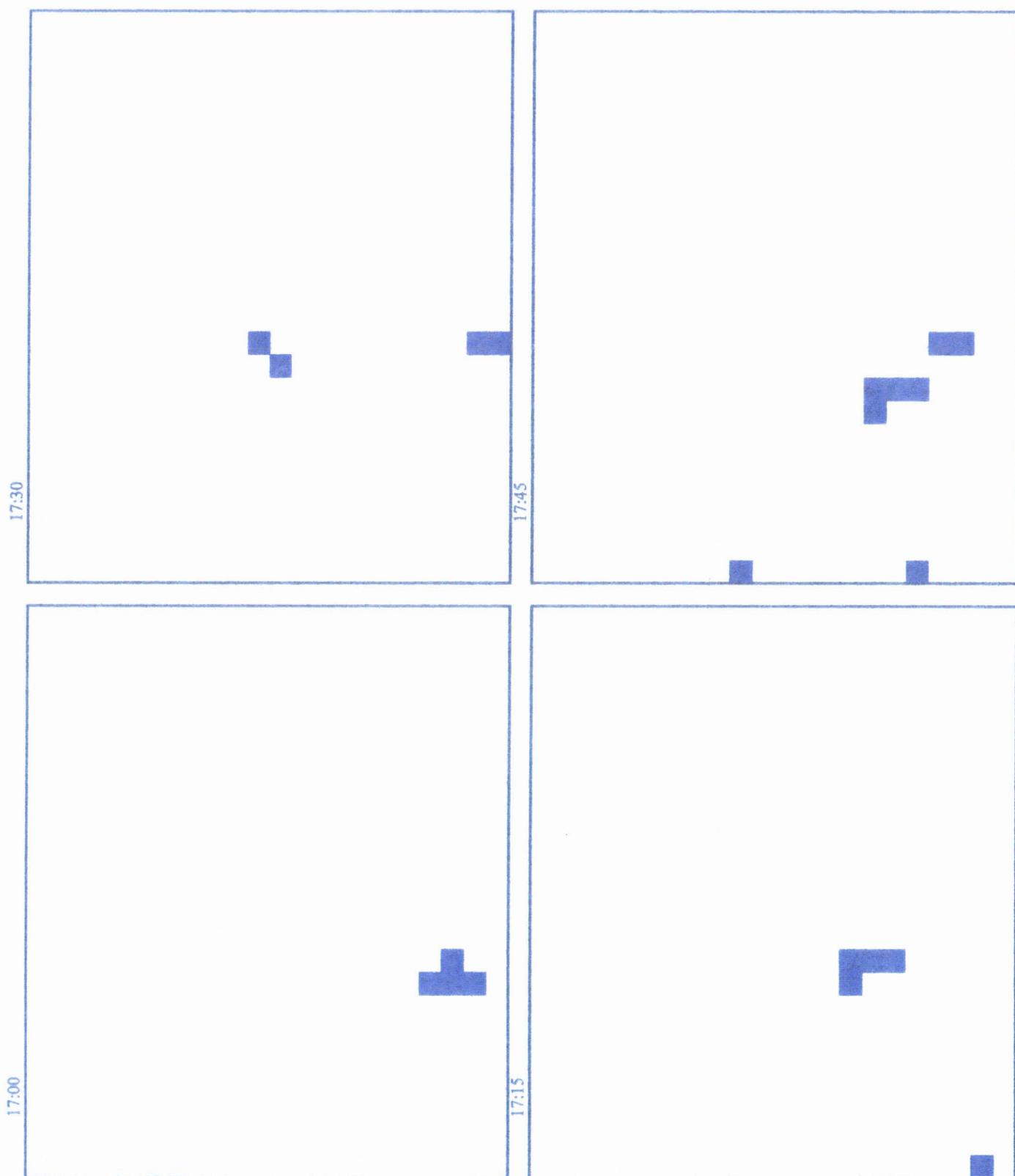
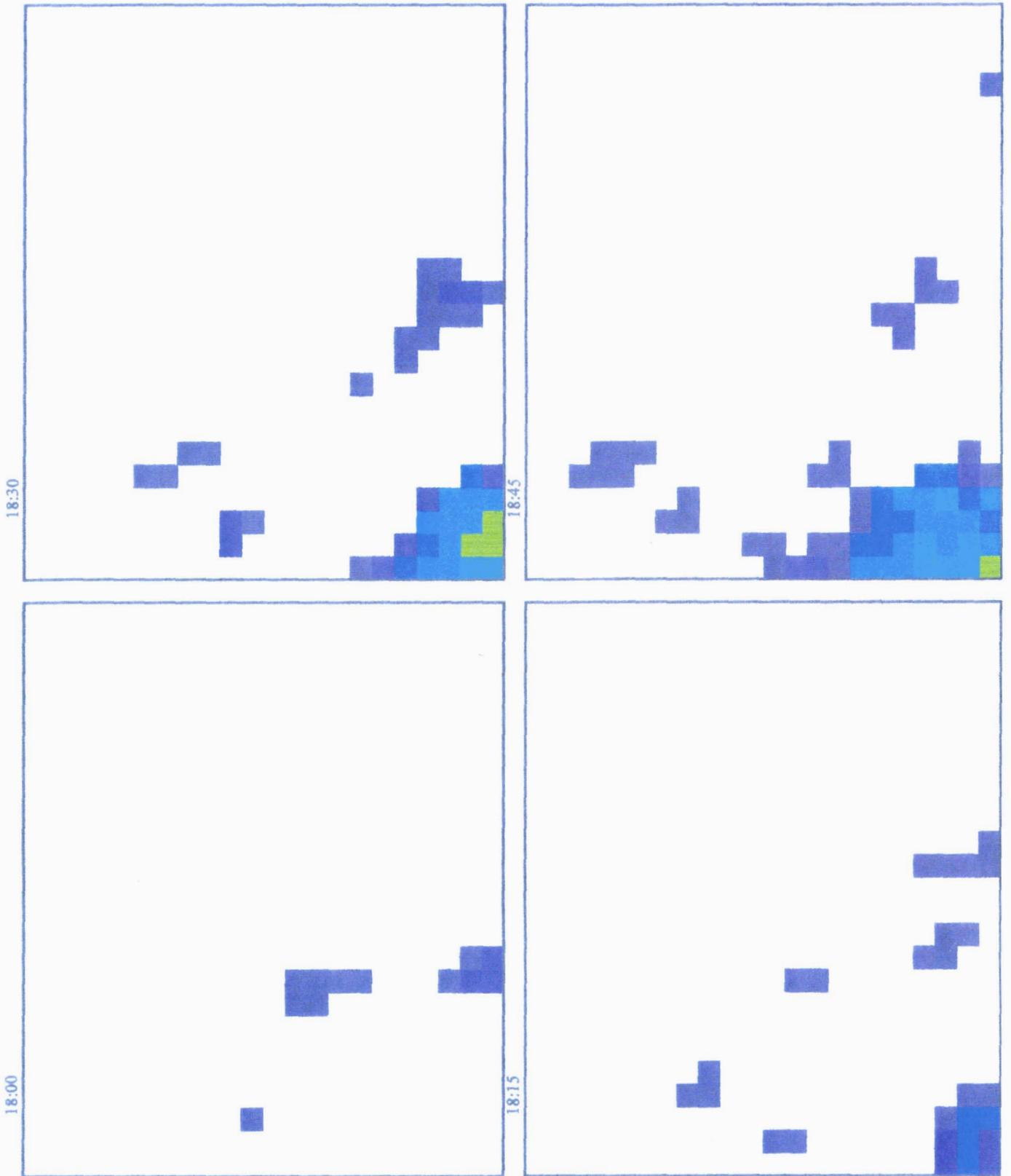


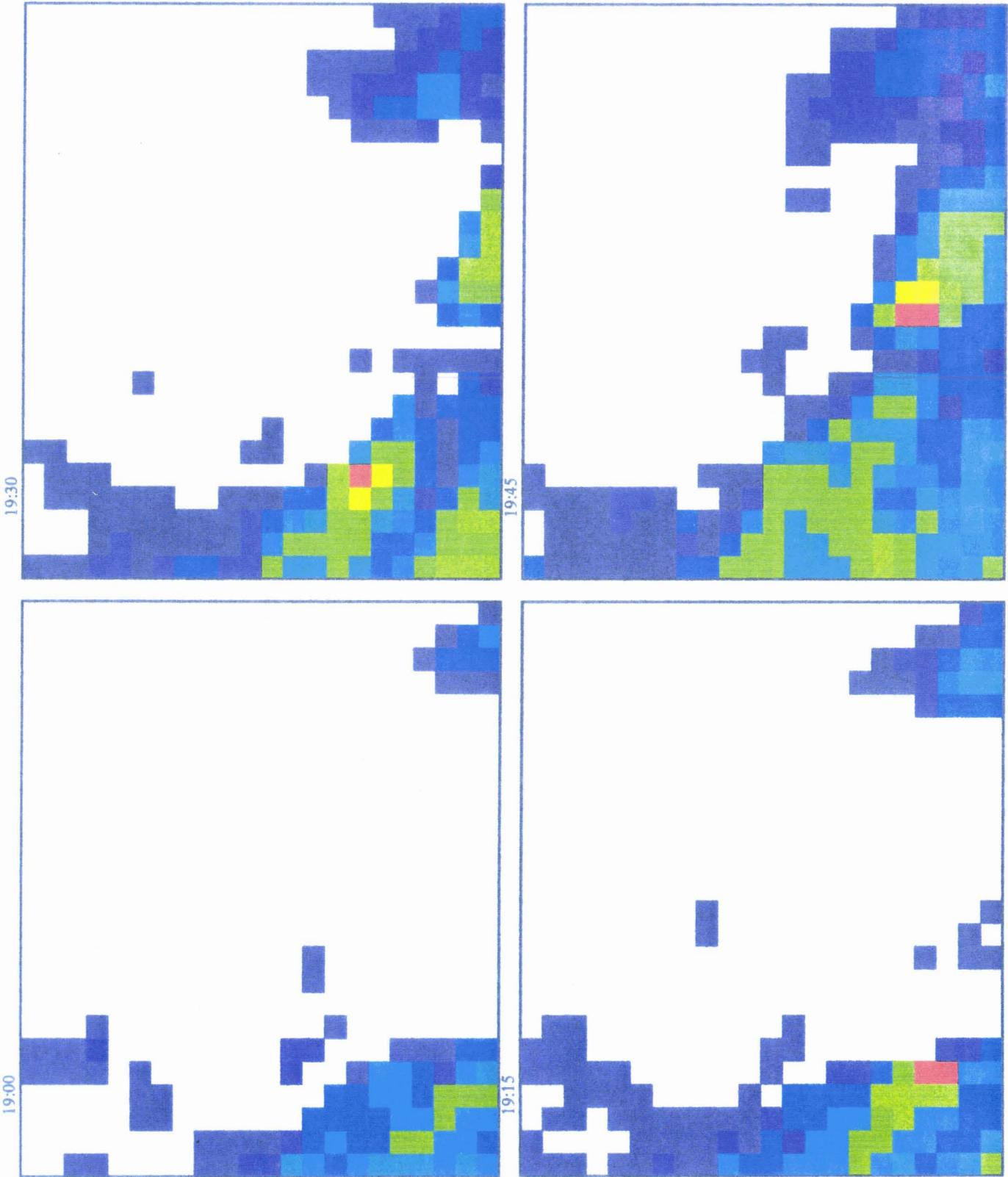
Figure n°14 : Images radar de l'événement du 14 mai 1994, de 19H à 2 H.



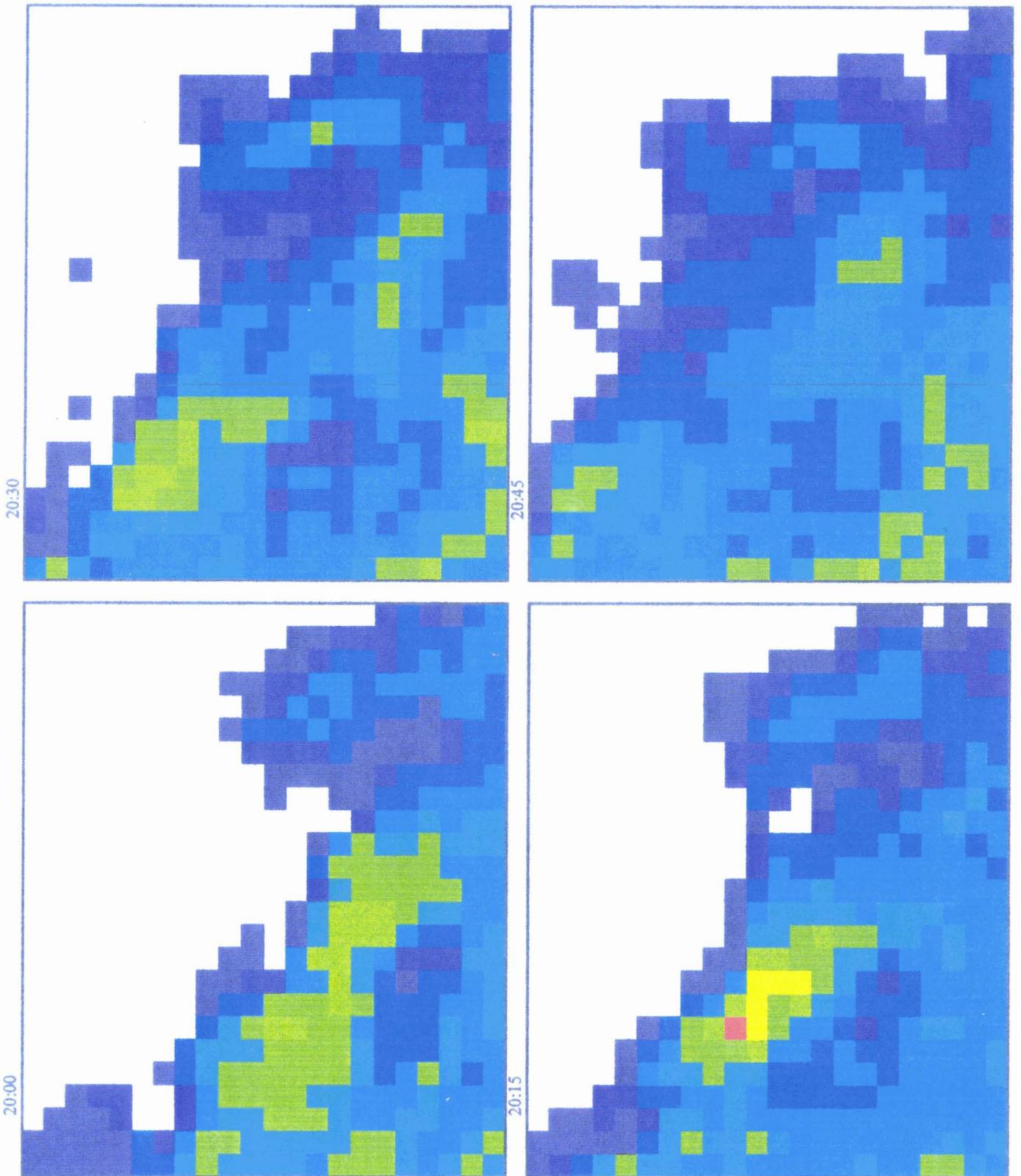
Echelle approximative 1 : 500 000



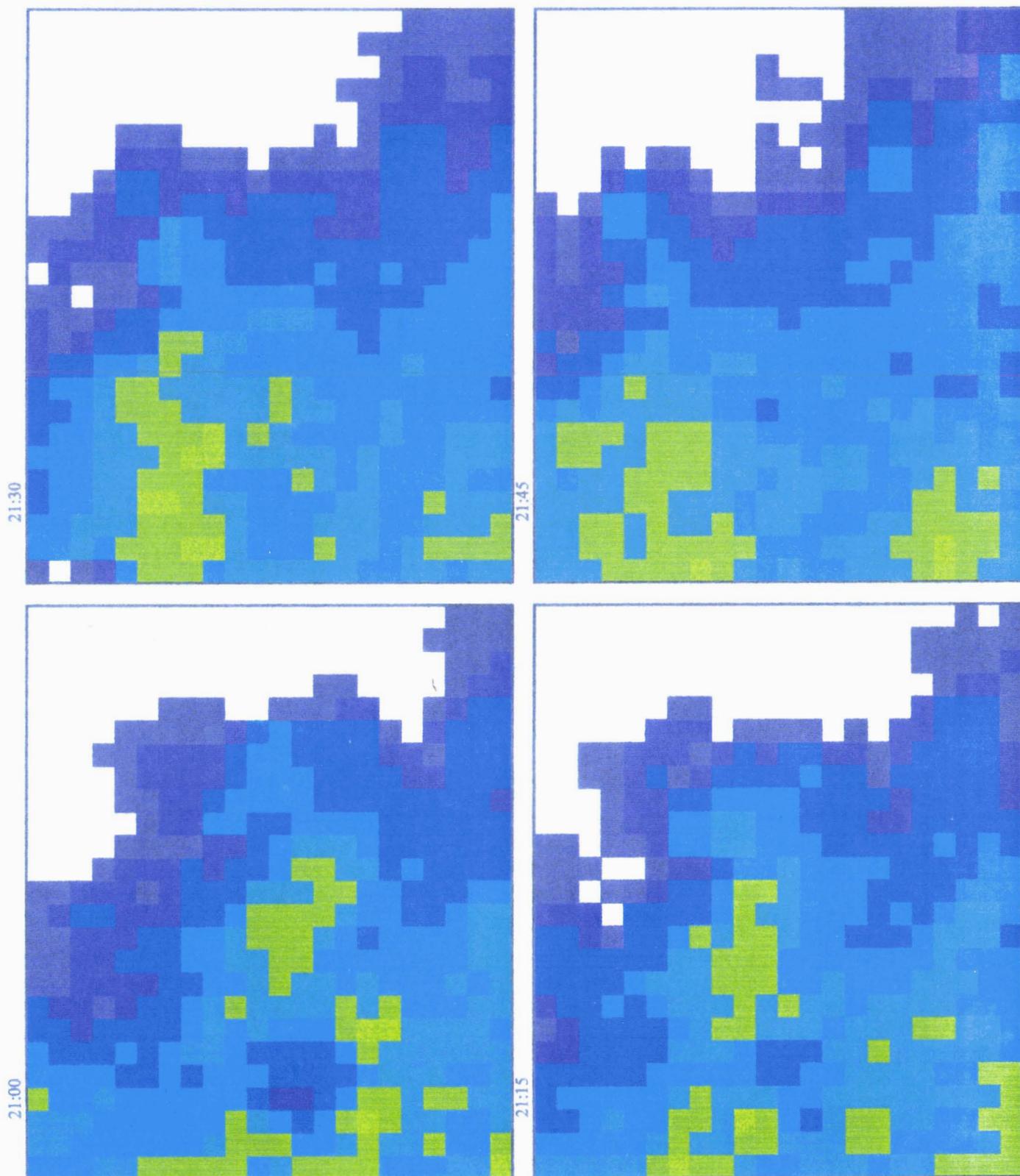
Echelle approximative 1 : 500 000



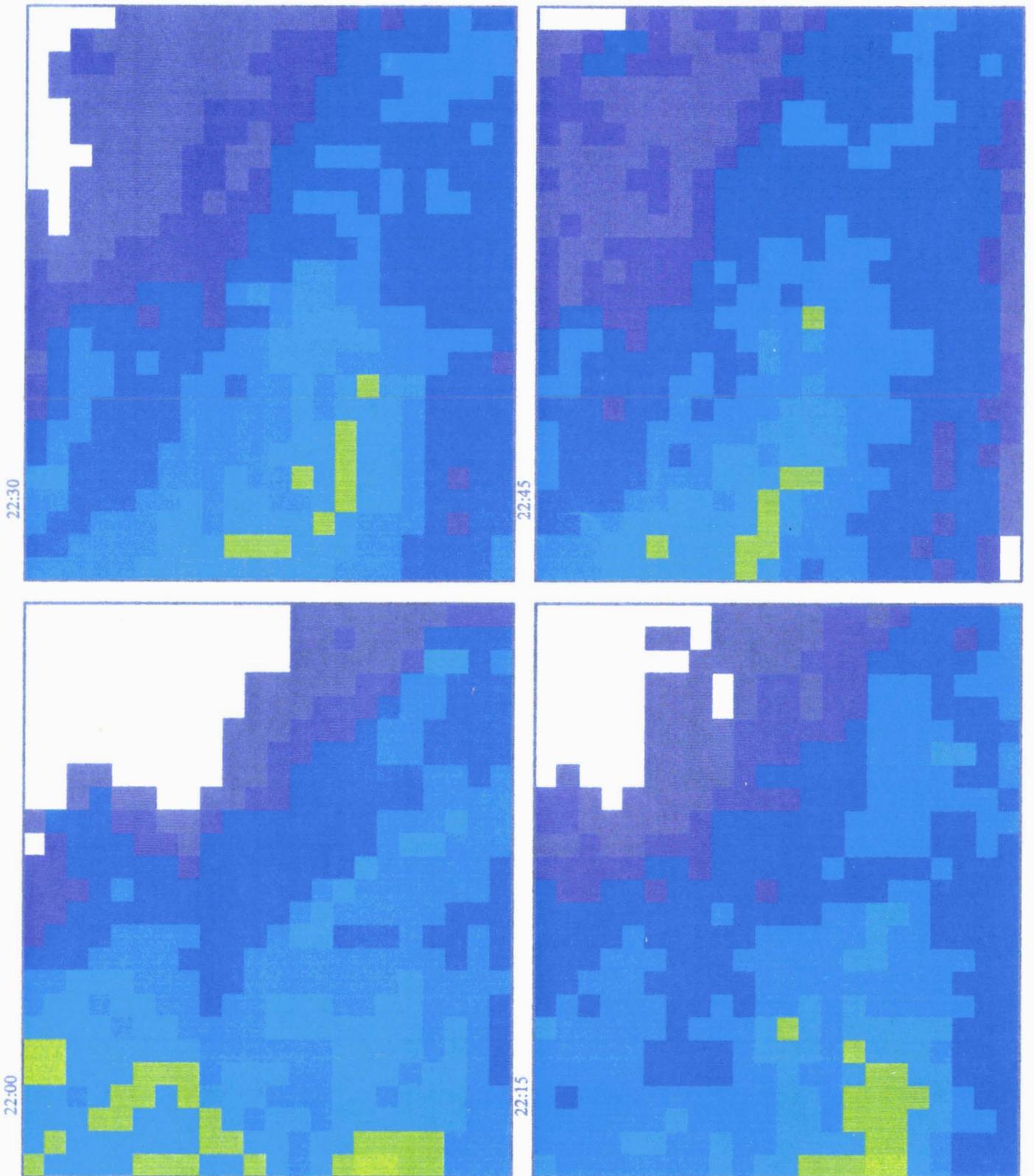
Echelle approximative 1 : 500 000



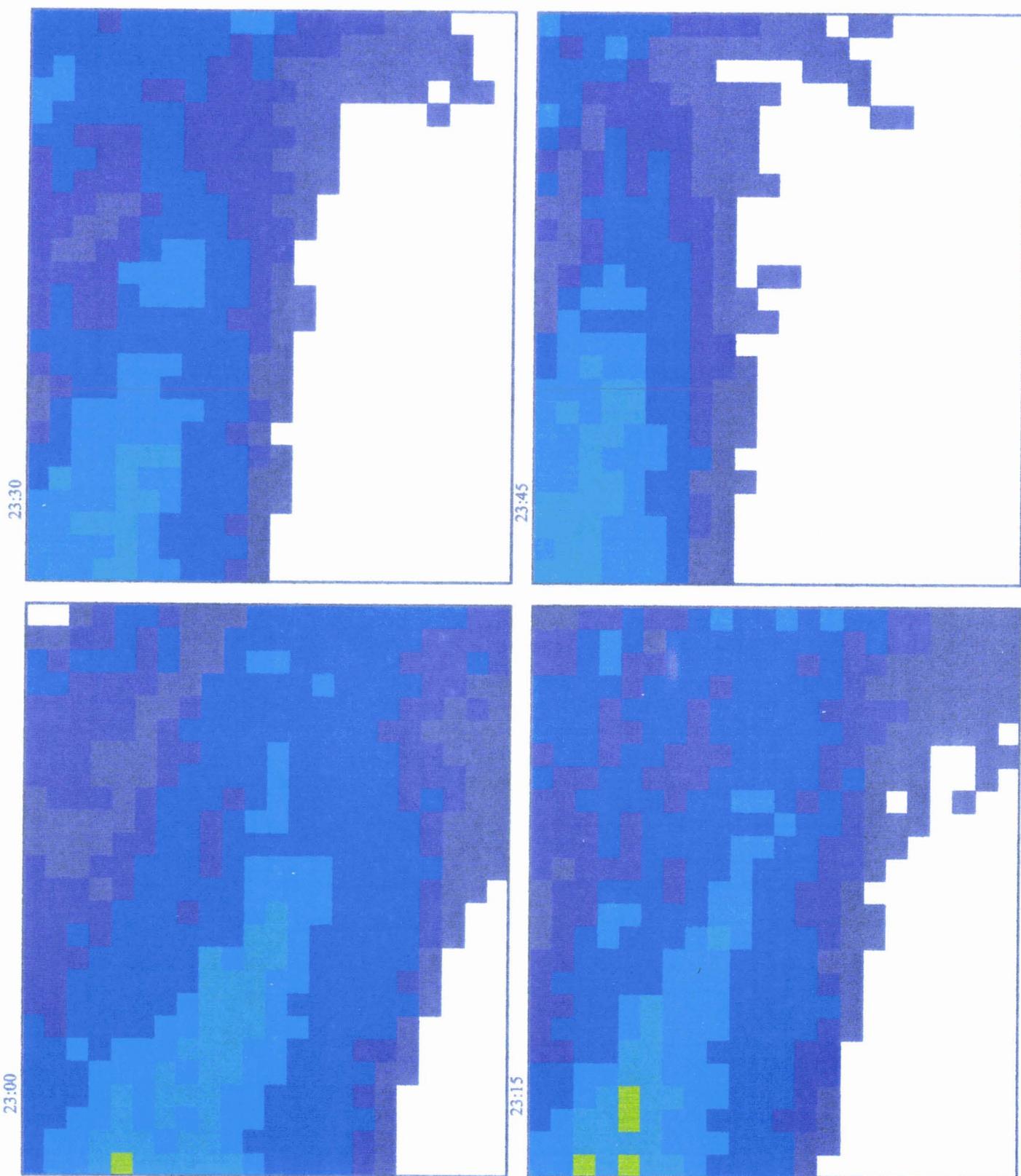
Echelle approximative 1 : 500 000



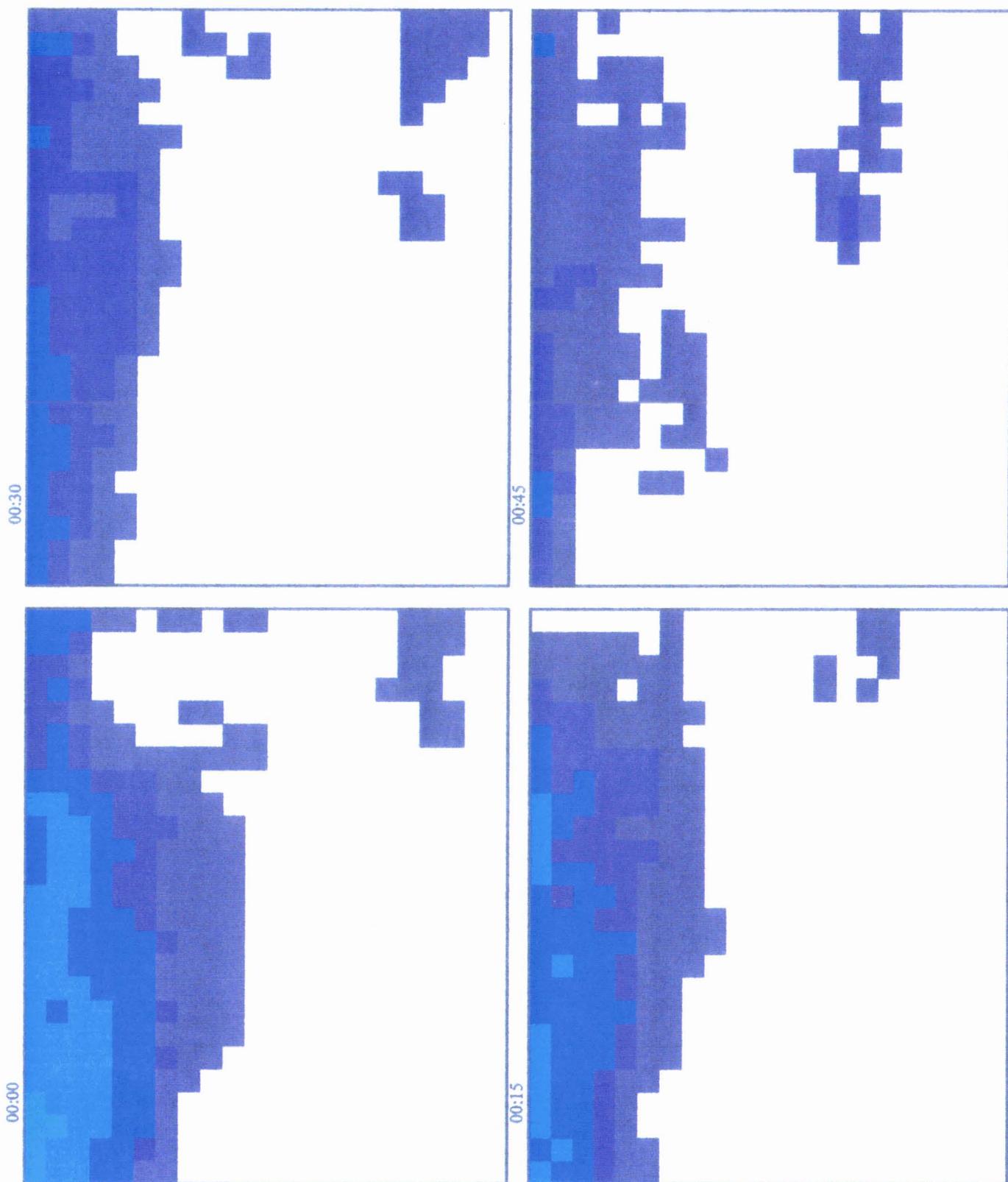
Echelle approximative 1 : 500 000



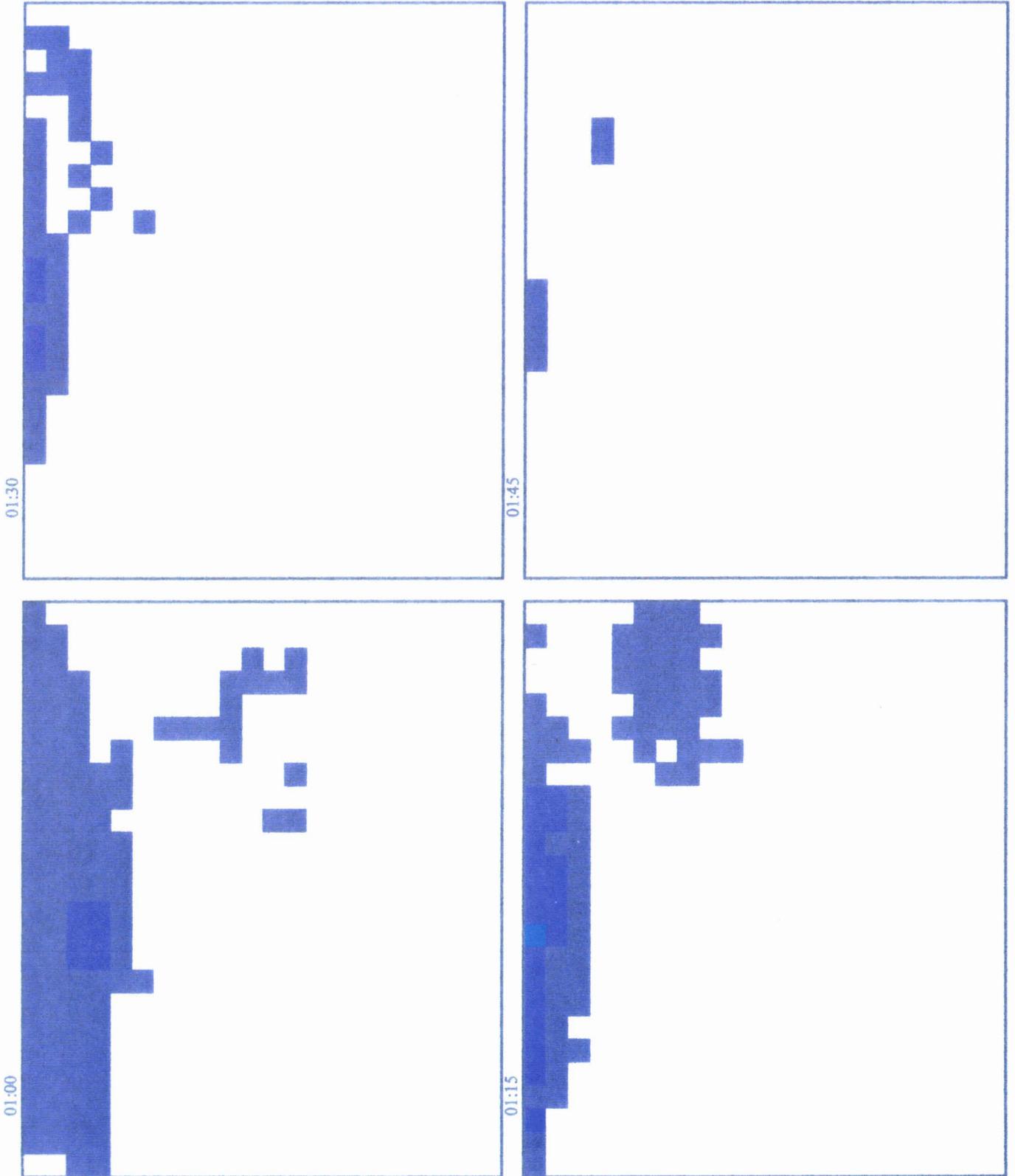
Echelle approximative 1 : 500 000



Echelle approximative 1 : 500 000



Echelle approximative 1 : 500 000



Echelle approximative 1 : 500 000

De 19 à 20 H, les échos de précipitations gagnent du terrain et l'intensification déjà perçue au Sud-Ouest se poursuit, et quelques échos de précipitations assez intenses (en rouge ou orange) se manifestent au Sud-Ouest de la zone. Une première zone dans le secteur de Fournes (pointe d'intensité détectée par le pluviographe) et une seconde, au Sud de Faches, non détectée par le réseau car il n'y a pas de pluviographe dans ce secteur.

De 20 à 23 H, la progression vers le Nord-Est continue, et la cellule pluvieuse s'étend tout en se déplaçant. Ainsi, de 20H45 à 22H00, des échos de précipitations sont présents sur la totalité de la zone excepté le secteur Nord-Est, puis cette zone où il ne pleut pas se réduit de plus en plus, celle-ci ne sera atteinte par la pluie que vers 22H30.

A l'intérieur de cette vaste cellule pluvieuse apparaît un gradient de plus en plus net au fil des images : les échos sont de moins en moins intenses du Sud-Ouest vers le Nord-Est.

A 22H45, les échos de précipitations recouvrent l'ensemble de la région lilloise et un mouvement d'évacuation de cette cellule pluvieuse vers le Nord s'amorce, celle-ci laissant quelques résidus au Sud-Est, qui se résorbent très rapidement. En effet, à partir de 22H30, les échos de précipitations n'occupent plus que la partie Nord de la région lilloise, et cette partie se réduit d'image en image jusqu'à la disparition totale des échos de précipitations.

Par ailleurs, les images de 22H30 à 23H15 soulignent l'existence d'un noyau plus intense à l'intérieur de cette cellule pluvieuse puisque les échos s'organisent de manière concentrique, avec une augmentation de l'intensité vers le centre.

Puis, parallèlement à la réduction de l'espace occupé par cette cellule pluvieuse, s'opère une diminution de l'intensité des précipitations puisque les échos sont de moins en moins intenses, pour finalement totalement disparaître, car à 2H00 aucun écho de précipitations ne se manifeste sur la région lilloise.

La visualisation des images fournies par le radar pour cet événement du 14 mai 1994 permet une compréhension plus directe et plus efficace du déroulement de la pluie que celle déduite de l'analyse des données du réseau de pluviographes. Par ailleurs, il permet de cerner l'extension spatiale des échos de précipitations quelle que soit leur intensité, de manière plus précise que le réseau de pluviographes, puisque le champ de précipitation est visualisé en continuité et non à l'aide de quelques points.

Ainsi, l'utilisation du radar comporte de nombreux intérêts pour un gestionnaire de réseaux. Outre l'aspect prévisionnel permis par la visualisation en temps réel des images qui permettra au gestionnaire de réagir à temps car il est possible de voir dans quel sens se déplacent les cellules pluvieuses et donc de prévoir leur arrivée sur l'agglomération ou la zone surveillée. Cette visualisation permet aussi de repérer à la fois les secteurs qui risquent d'être

sensibles (échos de fortes intensités) et l'extension spatiale des précipitations, ce qui permet, lorsque le radar est bien calibré, d'évaluer la lame d'eau qui devra être évacuée par le réseau. Dans tous les cas, l'utilisation des images du radar demande à être associée à un réseau de mesure au sol, afin de vérifier si les précipitations sont correctement détectées dans leur répartition spatiale mais aussi dans leurs intensités.

Finalement si le radar d'Abbeville permet une bonne connaissance du déroulement de la pluie et de l'extension spatiale des cellules pluvieuses qui concernent la région lilloise, il faut garder à l'esprit qu'il en sous-estime l'ampleur. Ainsi, pour cet événement, le réseau de pluviographes permet de quantifier ponctuellement l'intensité des précipitations de manière beaucoup plus réaliste que le radar, et ce dernier fournit quant à lui une bonne appréciation du déroulement de l'épisode pluvieux et de son extension spatiale. La complémentarité de ces deux outils de mesure semble donc démontrée, mais il s'avère qu'il serait imprudent d'utiliser le radar seul pour analyser les champs de précipitations au sein de l'agglomération lilloise. L'événement du 8 décembre 1994, étudié aux paragraphes qui suivent, confirmera cet état de fait.

8.2. L'ÉVÉNEMENT DU 8 DÉCEMBRE 1994, TÉMOIN DE POTENTIELLES FAIBLESSES DU RADAR D'ABBEVILLE.

L'événement du 8 décembre 1994, présentant de mauvais résultats à la fois au test de qualité globale et au test du Khi-carré, a été choisi ici pour montrer que le radar peut connaître d'éventuelles faiblesses.

8.2.1. CONTEXTE MÉTÉOROLOGIQUE.

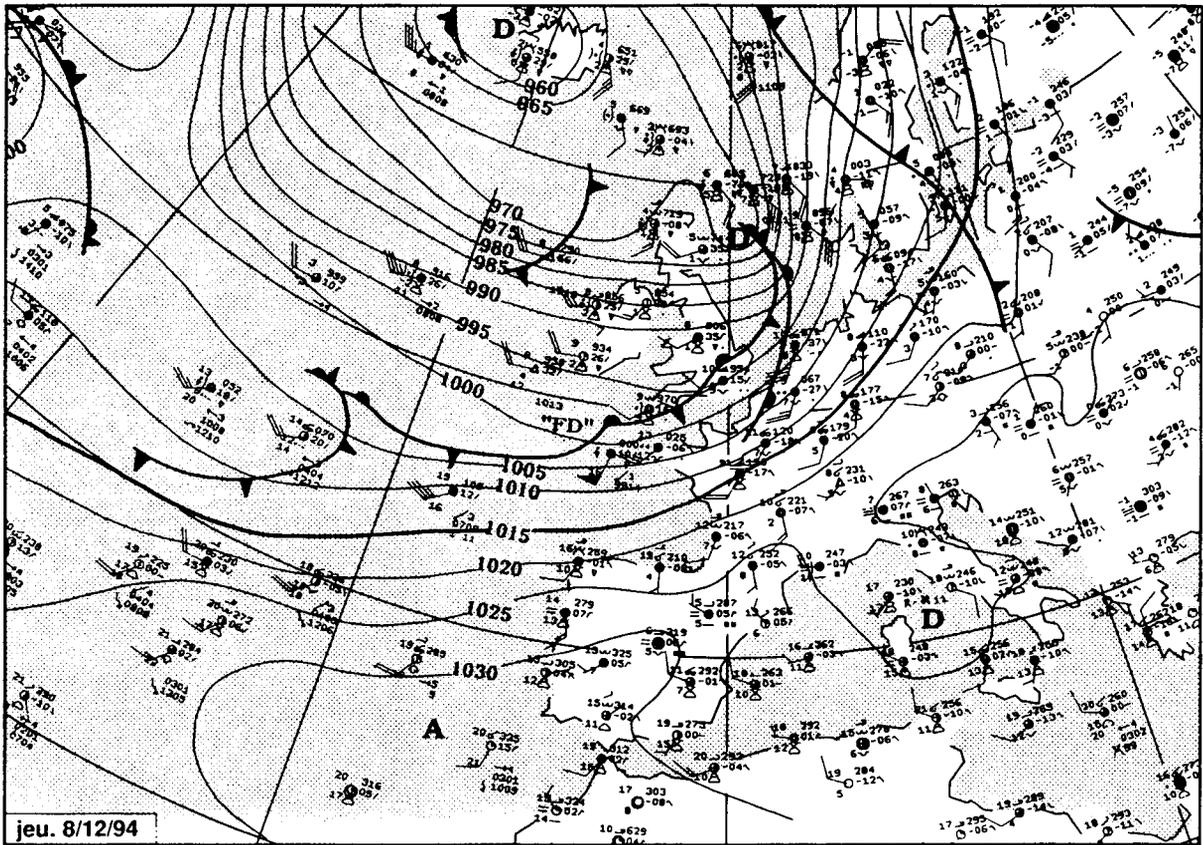
Les cartes synoptiques du Météo-Hebdo du 8 décembre 1994 à 12 H TU en surface et en altitude (Figure n°15) montrent un contexte météorologique assez classique pour la région, avec de courtes séquences de précipitations tout au long de la journée.

Une vaste cellule dépressionnaire centrée sur l'Islande est accompagnée d'un train de perturbation dont l'une d'entre elles très active (son secteur chaud est très réduit), centrée sur la Mer du Nord, intéresse la moitié Nord de la France. Celle-ci est surmontée en altitude par une vaste zone de basses pressions relatives (bas géopotential), il s'agit d'une dépression dynamique (Dépression d'Islande). Au Sud, de l'isobare moyen, un anticyclone est surmonté d'une zone de hautes pressions relatives (Anticyclone des Açores).

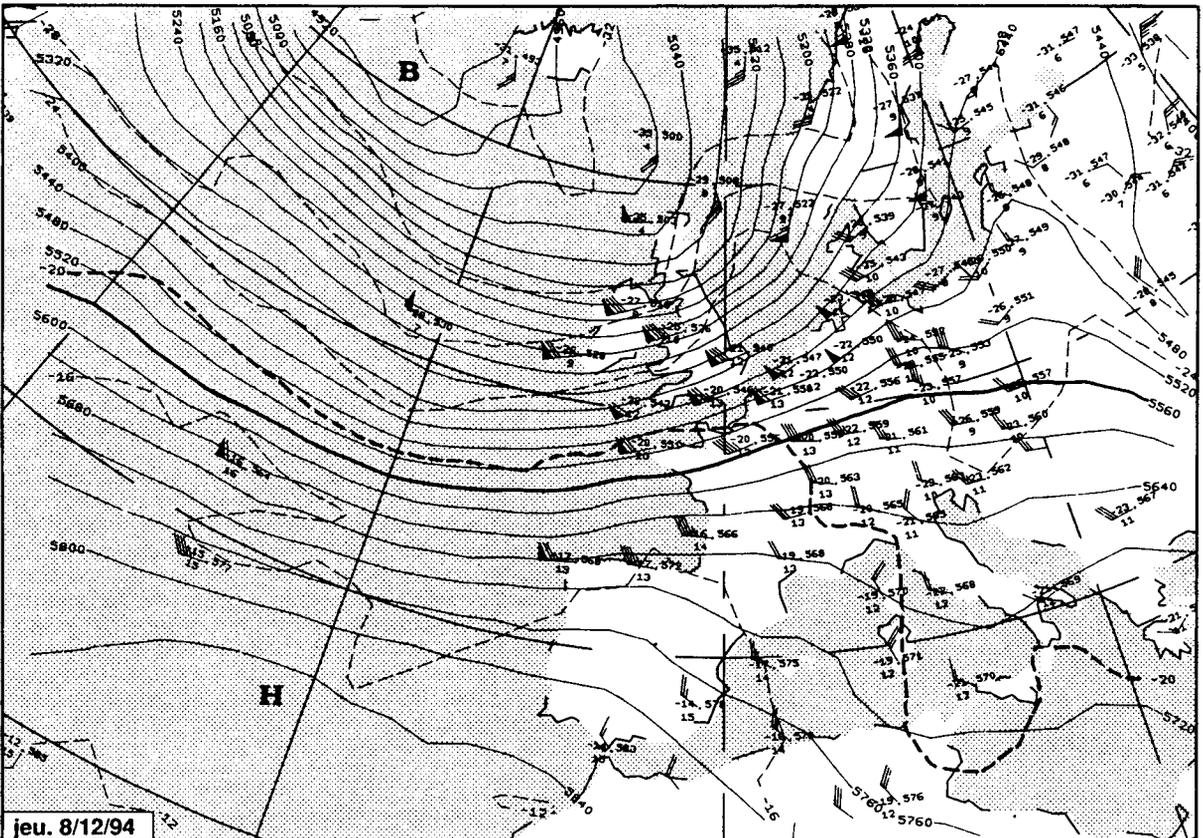
Figure n°15 : Situation météorologique du 8 décembre 1994, surface et surface 500 hPa (Météo-France).

Jeudi 12 h UTC

ANALYSE EN SURFACE



SURFACE 500 hPa



Ces deux centres d'action déterminent un flux d'Ouest puissant en altitude et des vents de Sud-Ouest en surface. La perturbation se déplace d'Ouest en Est, et les précipitations observées sont liées aux passages des deux fronts, d'abord assez faibles en cours de journée (front chaud), celles-ci s'intensifient en soirée (probablement au passage du front froid).

Pendant la journée les vents soufflent du Sud-Sud-Ouest (de 0 à 21 H), puis à 0 H, ils s'orientent au Nord-Ouest, ce changement dans l'orientation témoigne du passage sur la région du front froid pendant la soirée (entre 21 H et 0 H). La vitesse du vent est assez élevée, en moyenne 45 à 50 km.H⁻¹. La nébulosité est très forte (8/8) d'où une insolation nulle sur la journée.

Les températures augmentent tout au long de la journée, elles s'échelonnent entre 6°C (0 H) et 11.5°C (21 H), puis diminuent dans la nuit (8°C à 3 H). Il est probable que les plus faibles températures soient liées à l'air froid antérieur de la perturbation, la hausse des températures à l'arrivée du secteur chaud, et leur diminution à l'arrivée du secteur froid postérieur. Quant à la pression atmosphérique, celle-ci tend à décroître au cours de la journée, pour ensuite amorcer une hausse, celle-ci étant visible à 0 H.

L'ensemble des paramètres météorologiques semble démontrer le passage des deux fronts de la perturbation au cours de la journée, le front chaud vers 12 H et le front froid entre 21 H et 0 H.

Finalement, l'épisode pluvieux est lié à un contexte météorologique simple et très fréquent dans cette région : le passage d'une perturbation accompagnée de vents assez forts, et de précipitations aux passages des fronts.

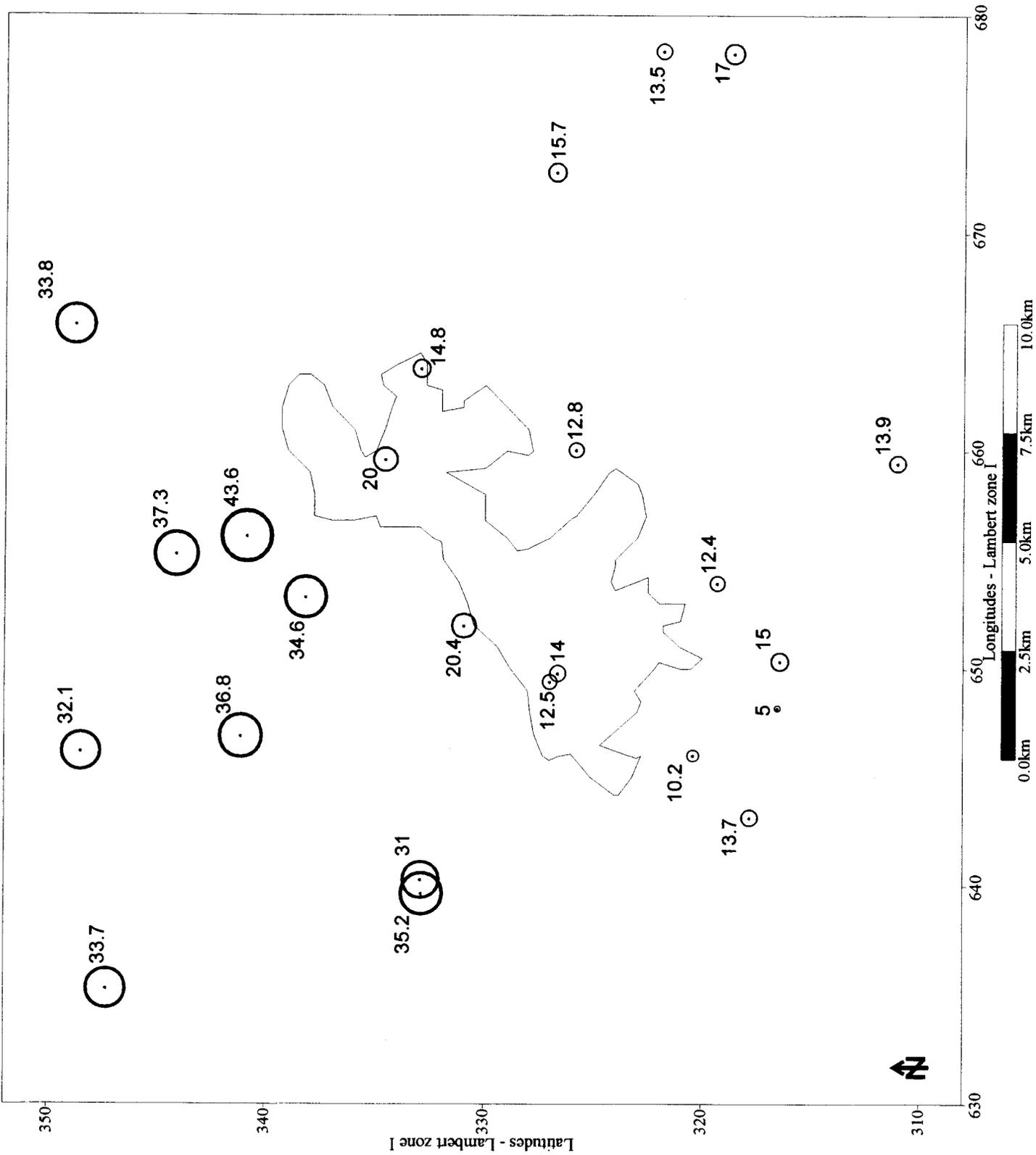
Le volume moyen précipité au cours de cette journée est de 22.6 mm, moyenne calculée sur l'ensemble des stations disponibles soit 24 stations.

8.2.2. LA MESURE AU SOL DES PRECIPITATIONS DU 8 DECEMBRE 1994.

Comme pour l'événement du 14 mai 1994, la carte des précipitations journalières a été dressée (Carte n°12) afin d'obtenir une première image de la répartition spatiale des précipitations, par la représentation de données ponctuelles.

Sur cette carte, il apparaît nettement que la zone au Nord d'une ligne Jouhaux-Grimonpont est nettement plus arrosée (en moyenne 32.6 mm) que la zone au Sud (en moyenne 13.1 mm), avec un maximum à Halluin (43.8 mm), quant à l'agglomération de Lille-Roubaix-Tourcoing celle-ci semble peu touchée par les précipitations.

Carte n°12 : Précipitations mesurées aux différentes stations de la région lilloise au cours de la journée du 8 décembre 1994.



Le dépouillement des données du pluviographe permet de définir 3 à 7 séquences pluvieuses séparées par au moins une heure selon les stations.

Certaines stations connaissent à la fois des séquences courtes et des séquences assez longues et un nombre important de séquences (6 à 7) alors que d'autres stations connaissent des séquences assez longues et peu nombreuses (3 à 4), ce sont d'ailleurs les stations les plus arrosées (Linselles, Jouhaux et Halluin).

Tableau n°84 : Nombre de séquences, intervalles de durée, durée moyenne et durée totale des précipitations du 8 décembre 1994, aux différents pluviographes du réseau C.U.D.L.

Stations	Nombre de séquences	Intervalle de variation	Durée moyenne	Durée totale
Seclin	6	de 5 mn à 3.6 h	1.2	7.4
Forest	6	de 5 mn à 3.5 h	1.5	8.8
Houplin-Anc.	7	de 5 mn à 3.8 h	1.3	9.1
Grimonpont	7	de 5 mn à 3.3 h	1.5	10.3
Marquette	6	de 25 mn à 4.3 h	1.7	10.3
Jouhaux	6	de 30 mn à 4.1 h	1.8	10.8
Linselles	4	de 2.2 à 4.2 h	3.5	13.9
Houplines	4	de 2.3 à 4.2 h	3.5	14
Halluin	3	de 2.3 à 8.5 h	4.9	14.9

La connaissance des hauteurs sur un pas de temps fin (5 minutes) permet de connaître l'intensité maximale pour chaque station.

Tableau n°85 : Intensités maximales sur 5 minutes (mm.H⁻¹) des précipitations du 8 décembre 1994, aux différents pluviographes du réseau C.U.D.L.

Stations	Intensité maximale sur 5 minutes
Seclin	7.2
Houplin-Anc.	12
Jouhaux	16.8
Forest	19.2
Grimonpont	21.6
Linselles	36
Marquette	45.6
Houplines	45.6
Halluin	69.6

Tout comme pour la séquence du 14 mai 1994, la séquence du 8 décembre 1994 n'appartient pas au même type de séquence, d'une station à l'autre (Tableau n°86).

Là encore les réponses sont variées d'une station à l'autre, puisque 8 stations appartiennent à la catégorie des "pluies exceptionnelles" alors qu'une seule appartient à la catégorie des "pluies courantes".

Cela confirme que pour un même contexte météorologique les réponses des différentes stations peuvent être assez diversifiées, et démontre l'intérêt d'élaborer une nouvelle classification qui intégrerait l'extension et la variabilité spatiale du caractère "courant" et "exceptionnel" des séquences.

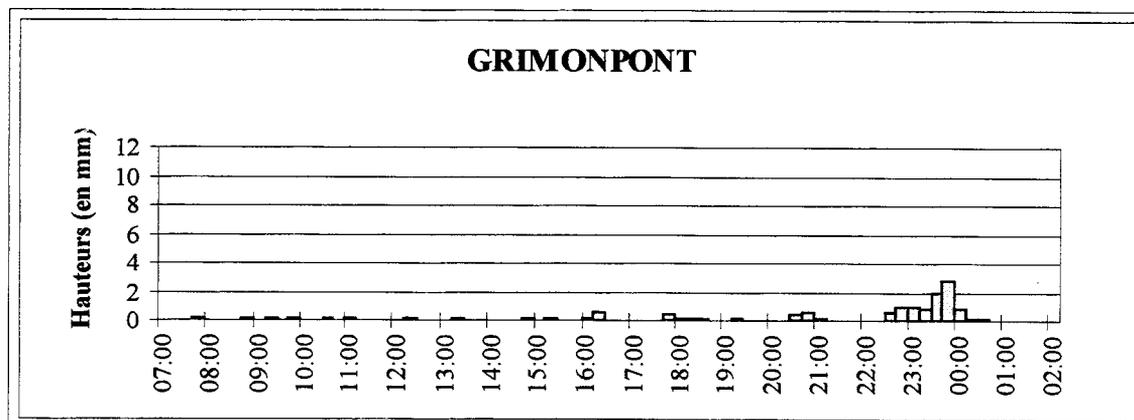
Tableau n°86 : Place de la séquence du 08 décembre 1994 dans la grille de classification des séquences pluvieuses, selon les stations du réseau C.U.D.L.

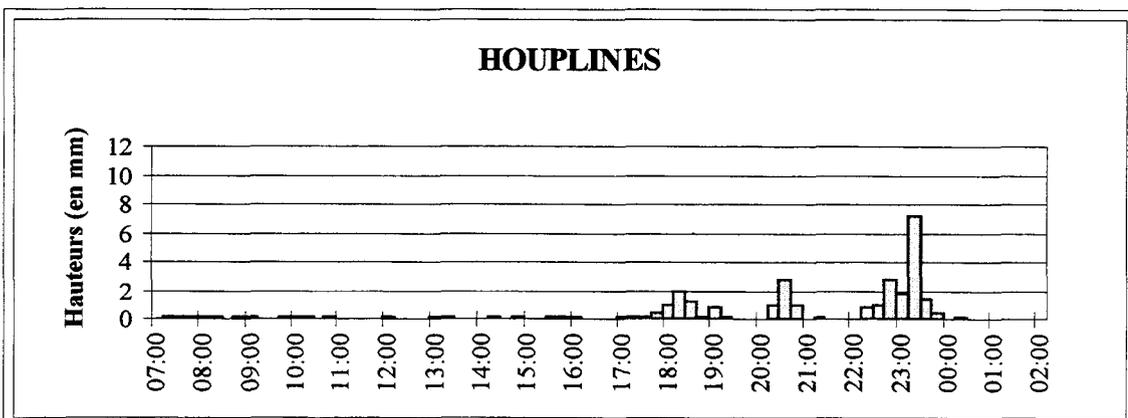
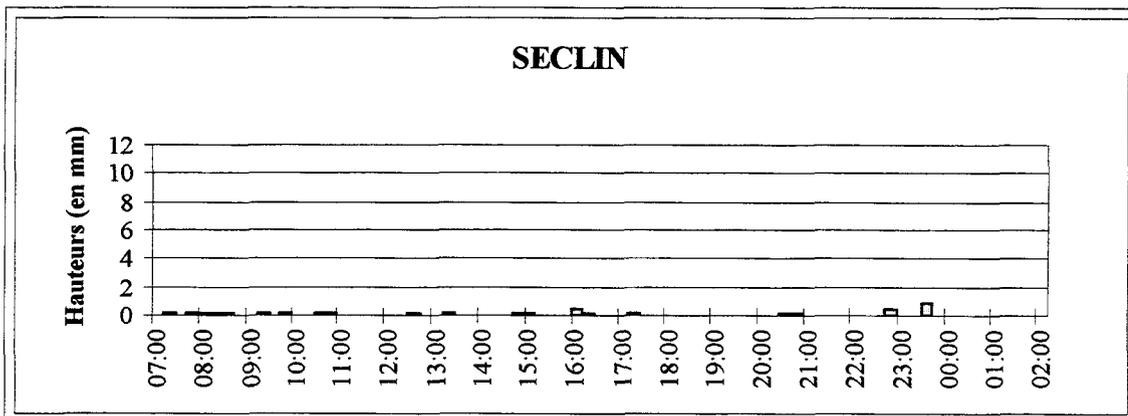
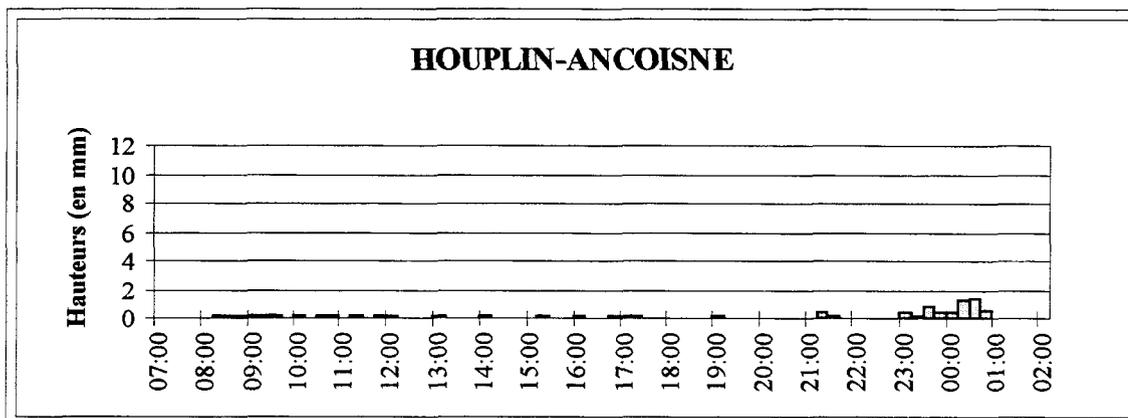
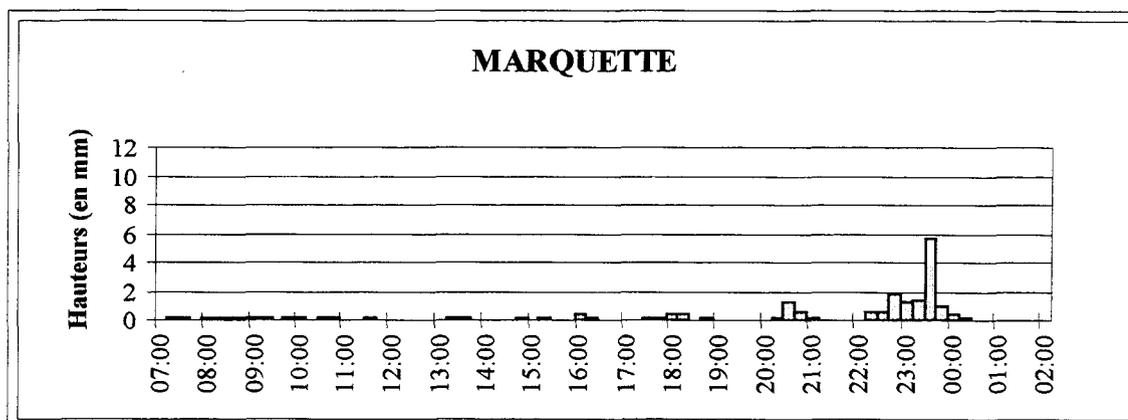
Intensités maximales (en mm.H ⁻¹)	Hauteurs (en mm)				
	[1 - 2.5[	[2.5 - 5[	[5 - 10[	[10 - 15[	≥ 15
< 10			Seclin		
[10 - 20[				Houplin-Anc. Jouhaux Forest	
[20-40[				Grimonpont	Linselles
≥ 40					Marquette Houplines Halluin

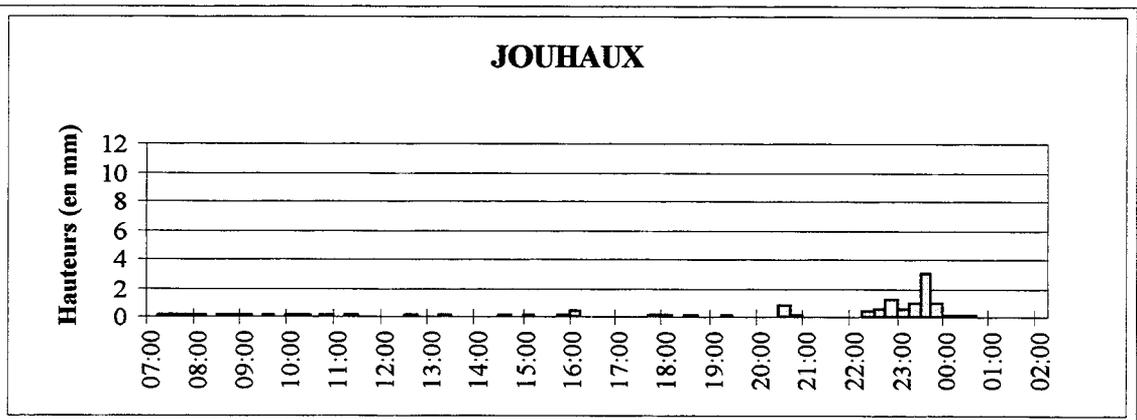
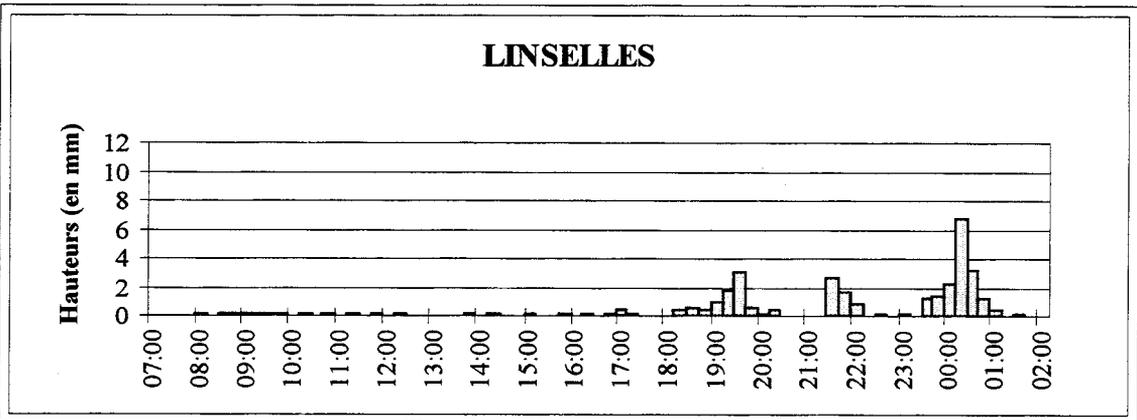
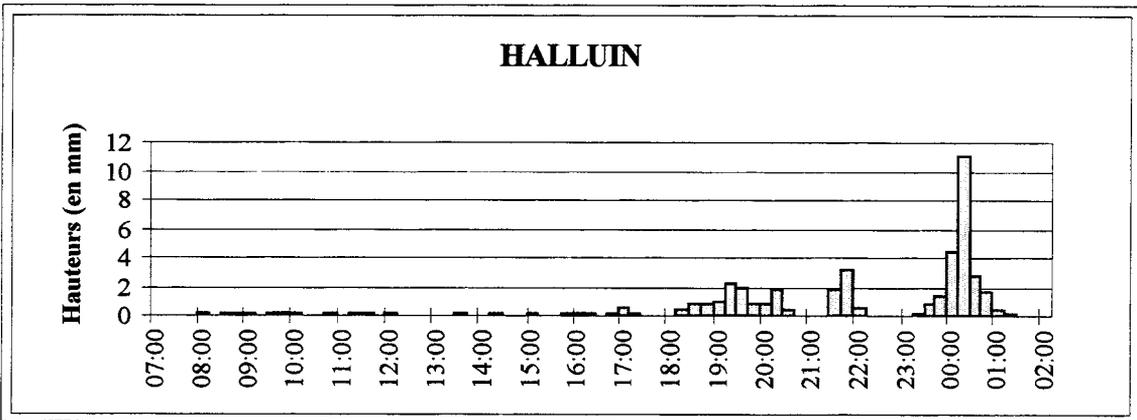
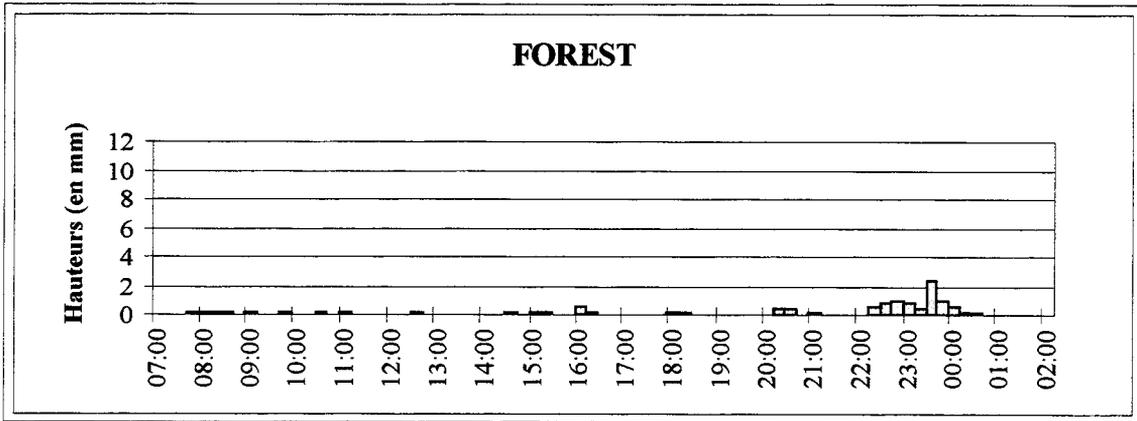
La séquence du 8 décembre 1994 présente donc un caractère "exceptionnel" pour la quasi-totalité des stations, ce qui implique l'existence d'un risque généralisé de problèmes de gestion des eaux pluviales.

Le tracé des hyétoigrammes (Graphique n°51) montre clairement la différence entre les précipitations liées au passage du front chaud (essentiellement dans la matinée et au début de l'après midi) et celles liées au passage du front froid (fin d'après-midi jusqu'en fin de soirée).

Graphique n°51 : Hyétoigrammes pour les différentes stations, 08 décembre 1994.







Les précipitations liées au front chaud sont de faible intensité et très étalées dans le temps alors que celles liées au front froid sont au contraire d'intensité assez forte et de très courte durée.

Il faut souligner que l'intensité maximale de la journée est mesurée approximativement au même moment pour toutes les stations (vers minuit), ce qui doit probablement correspondre au passage du front froid.

Le cas du 8 décembre 1994 est très différent de celui du 14 mai 1994, puisque ici, il ne semble pas y avoir déplacement d'une cellule pluvieuse de faible extension dans une direction donnée, mais l'arrivée sur la région lilloise d'une cellule pluvieuse de grande dimension qui intéresse probablement une grande partie de la France et qui est en mouvement, même si cela n'apparaît pas à l'échelle de la région lilloise, c'est-à-dire que toutes les stations sont pratiquement touchées par la pluie au même moment et de manière sensiblement identique. En d'autres termes, le mouvement de la perturbation et des cellules pluvieuses qui l'accompagnent se fait à petite échelle, et n'apparaît pas lorsqu'on observe les précipitations à grande échelle.

En résumé, la pluie affecte l'ensemble des stations de la région lilloise, très faiblement tout d'abord, au passage du front chaud, puis de manière beaucoup plus intense au passage du front froid.

La distinction de deux groupes de stations l'un fortement arrosé et l'autre plus faiblement se fait par les précipitations liées au front froid qui sont beaucoup plus intenses au Nord de la ligne Jouhaux-Grimonpont qu'au Sud.

8.2.3. LES FAIBLESSES DU RADAR DANS LA DETECTION DES PRECIPITATIONS DU 8 DECEMBRE 1994.

Comme pour l'événement précédent, le graphique de variations des intensités moyennes sur un quart d'heure mesurées aux pluviographes et celles mesurées au radar a été dressé pour chacune des stations (Annexe n°16).

Avant toute remarque, il faut signaler qu'il manque 6 images pour cet épisode (de 20H30 à 21H45), même si cette information ne remet pas en cause les conclusions qui suivent.

L'observation de ces graphiques permet de conclure rapidement que le radar détecte très mal les précipitations pendant cette journée du 8 décembre 1994, puisque même les pointes d'intensité ne sont pas détectées par ce dernier.

Les intensités maximales mesurées par le radar sont situées dans la classe 1.2 à 2.1 mm.H⁻¹, ce qui est loin d'être le cas pour la mesure au sol (maximum 44 mm.H⁻¹ sur 15 minutes). La sous-estimation des intensités effectuée par le radar a déjà été évoquée pour l'événement du 14 mai 1994, mais cette sous-estimation semble de plus grande ampleur dans le cas présent.

La sous-estimation des intensités déjà imputable à l'éloignement du radar pour l'événement du 14 mai 1994, réapparaît ici dans d'autres circonstances.

Si pour l'événement du 14 mai 1994, le faisceau semblait viser la partie sommitale (au-dessus de l'isotherme 0°C) de nuages à fort développement vertical, ici il semble passer presque totalement au-dessus des nuages, c'est-à-dire que seule la partie sommitale est potentiellement visée par le faisceau.

Pour l'événement du 8 décembre 1994, la sous-estimation flagrante des intensités peut donc être associée à l'éloignement du radar dont les effets s'ajoutent à l'effet d'atténuation qui semble assez probable.

La médiocrité de la mesure des intensités par le radar pour cet événement du 8 décembre 1994 n'incite pas à poursuivre plus loin l'analyse, dans la mesure où les échos de précipitations figurant sur les images sont très éloignés de la réalité, du moins pour les 9 points de comparaison. Une analyse des images radar semble donc inutile, puisque dans ce cas, la perception de l'épisode à l'aide du réseau de pluviographes permet une meilleure appréhension des faits que des images radar pour lesquelles les échos paraissent faux même dans leur distribution géographique et où il est impossible de quantifier le pourcentage d'erreur.

Finalement, la présentation de ces deux événements souligne bien l'importance de la situation de la région lilloise vis-à-vis du radar, puisque pour chacun d'eux, le radar sous-estime plus ou moins fortement les intensités de précipitations et ce, quel que soit le contexte météorologique. Cette sous-estimation semble en effet être imputable à l'éloignement du radar, qui se manifeste par un faisceau dont l'altitude est trop élevée pour bien détecter les nuages précipitants, que ce soit dans une situation météorologique très instable où les nuages ont un fort développement vertical, ou lors d'une situation plus classique correspondant au passage d'une perturbation. Cependant, la détection est meilleure pour le premier type de situation à laquelle correspond une grande majorité des précipitations de fortes intensités que connaît la métropole lilloise. Ainsi, l'utilisation du radar semble mieux adaptée à la détection

ou à l'étude des séquences pluvieuses de fortes intensités situées dans un contexte de forte instabilité ou un contexte orageux.

Les épisodes pluvieux qui n'ont pas fait l'objet d'une présentation dans ce chapitre offrent des situations météorologiques du même type que celles du 8 décembre ou du 14 mai 1994, c'est-à-dire passage d'une perturbation avec un front froid assez actif, ou passage d'un système pluvio-orageux associé à un flux de SW en altitude. La comparaison des intensités des pluviographes avec celles fournies par le radar aboutit à la même conclusion que pour les deux épisodes présentés, à savoir une sous-estimation plus ou moins forte des intensités par le radar, même si, pour certains quart d'heure, il y a de bonnes correspondances entre ces deux types de mesure. Aussi, les épisodes présentés ne constituent pas des cas particuliers.

Par ailleurs, l'analyse de l'événement du 14 mai 1994, où la sous-estimation semble de moindre importance, a montré que le radar offre des intérêts. En effet, il permet de visualiser les précipitations sur l'ensemble de l'espace étudié, ce qui revient à s'affranchir d'une vision ponctuelle donc fragmentée, qui comporte le risque de négliger l'existence d'épicentres situés entre les pluviographes. La visualisation des images donne une compréhension plus rapide et plus directe du déroulement de l'épisode pluvieux que celle offerte par un réseau de pluviographes. De plus, il est possible à l'aide de l'image radar de visualiser une zone plus vaste que celle de l'agglomération ce qui permet de mieux visualiser les déplacements des systèmes pluvieux.

Les conclusions tirées ici sont à considérer avec précaution puisqu'elles ne le sont qu'à partir de quelques événements assimilables à des expériences, et il est donc impossible de leur attribuer un caractère irréfutable et d'affirmer avec certitude qu'elles sont exactes pour l'ensemble des situations similaires. Il faudrait donc multiplier les expériences pour confirmer ces conclusions ou les rejeter. Ainsi, un travail plus approfondi doit être mené afin de pouvoir justifier de manière plus catégorique l'utilisation des images du radar d'Abbeville pour l'analyse des épisodes pluvieux affectant l'agglomération lilloise, ou au contraire, l'abandon de cette opportunité. Ce travail cherchant à multiplier les expériences requiert quelques conditions préliminaires : d'une part, disposer d'un plus grand choix de séquences pluvieuses soit d'une base de données plus fournie, et d'autre part, affecter au contexte météorologique une grande importance dans le choix des séquences puisque celui-ci semble déterminer assez fortement la qualité de la mesure radar.

L'étude menée sur les images du radar d'Abbeville, présentée dans cette troisième partie, atteint son terme. Elle cherchait à répondre à la question : peut-on utiliser les images du radar d'Abbeville en complément du réseau de pluviographes pour l'analyse des épisodes pluvieux de l'agglomération lilloise, et constituait un préambule à une éventuelle utilisation opérationnelle de ce radar qui nécessiterait de poursuivre l'étude menée ici et surtout une calibration des images.

Le chapitre 6 a montré les atouts et inconvénients respectifs de chaque type de mesure mais a surtout souligné leur complémentarité lorsqu'ils sont utilisés pour répondre aux besoins de l'hydrologie urbaine. En effet, le radar offre une solution satisfaisante à la limitation de la densité des réseaux de pluviographes, et permet en outre, grâce à sa résolution spatiale élevée, de s'affranchir d'une vision fragmentée de la répartition spatiale de la pluie. Mais si le radar est un moyen d'étude séduisant, les données qu'il fournit ne sont pas exemptes de limites. Ainsi, le radar d'Abbeville semble a priori soumis à l'effet d'atténuation de par sa longueur d'onde et, semble en limite de portée, en regard d'une utilisation pour la zone de l'agglomération lilloise.

Cette étude basée sur l'analyse de 11 épisodes pluvieux choisis selon deux critères, une hauteur moyenne supérieure à 10 mm et un nombre maximum de pluviographes disponibles, a été conçue comme une étude préliminaire à une utilisation opérationnelle du radar et s'est donc surtout attachée à la qualité des données fournies par ce dernier. Ainsi, les tests effectués poursuivent deux objectifs : vérifier l'existence d'une liaison entre les deux types de mesures et permettre la sélection d'épisodes.

La visualisation des images a permis de vérifier l'absence d'échos de sols ou d'échos liés à l'effet de masque sur la zone étudiée, et le calcul des images moyennes a montré que seul un événement semble être touché par l'effet d'atténuation. Puis, un test, réalisé à l'échelle de l'agglomération lilloise, a montré l'existence d'une concordance des deux types de mesure dans la détection des précipitations pour une majorité d'épisodes.

Ce test encourageant mais insuffisant, a ensuite été complété par un test d'indépendance statistique, le Khi-carré, qui a permis de distinguer 3 types d'événements : ceux pour qui la liaison entre les deux types de mesure est pratiquement certaine (5 événements), ceux pour qui elle est probable (3) et enfin, ceux pour qui elle est inexistante (3).

Cependant, si le Khi-carré permet de rejeter avec certitude l'indépendance statistique, il ne permet pas d'accepter d'emblée l'existence d'une liaison. En effet, l'analyse des contributions au X^2 a montré qu'il était possible de rejeter l'hypothèse d'indépendance

sans pour autant avoir une bonne adéquation entre mesure radar et mesure au sol. Aussi, pour s'assurer de l'existence d'une liaison, il faut que le rejet de l'hypothèse d'indépendance soit lié à une forte contribution des associations présentant une "adéquation correcte". Au total, 5 événements sur les 8 testés correspondent à cette configuration, et présentent en outre une liaison assez intense (coefficient de contingence élevé). Finalement, à l'issue de ces tests, la liaison entre mesure radar et mesure au sol est prouvée pour 5 événements sur 11. Ce constat s'il est encourageant ne pouvait constituer un point final à cette étude puisqu'il reste à comprendre les causes d'une réponse si différenciée du radar.

C'est pourquoi une présentation de deux événements pour lesquels la réponse du radar était diamétralement opposée semblait appropriée et a été réalisée au chapitre 8 : l'un témoigne des compétences du radar d'Abbeville et l'autre de ses faiblesses.

Ainsi, l'analyse plus approfondie de l'événement du 14 mai 1994, correspondant à une situation météorologique où l'instabilité est forte, a montré qu'une utilisation du radar d'Abbeville pour l'étude des précipitations au sein de l'agglomération lilloise était envisageable, tout en soulignant que celle-ci ne peut se concevoir qu'en association avec le réseau de pluviographes dans la mesure où le radar sous-estime les intensités.

En outre, cette analyse a illustré l'apport du radar à la fois pour la compréhension du déroulement d'un épisode pluvieux et pour la connaissance de la répartition spatiale des précipitations à une échelle fine, et a mis en évidence l'importance de la situation de la région lilloise vis-à-vis du radar. En effet, la région lilloise se situe en limite de portée et cet état de fait réapparaît lors de l'analyse de l'événement du 8 décembre 1994 correspondant au passage d'une perturbation. La sous-estimation des intensités effectuée par le radar se confirme pour les autres épisodes non développés et ce quel que soit le contexte météorologique (système perturbé ou système pluvio-orageux).

En définitive, deux facteurs semblent influencer la réponse du radar, d'une part, le contexte météorologique, et d'autre part, la situation de l'agglomération lilloise en limite de portée.

Finalement, s'il est envisageable d'utiliser les images du radar d'Abbeville, en complément de mesures effectuées au sol, dans certaines situations météorologiques où s'observe une forte instabilité entraînant un développement vertical des nuages, il est beaucoup moins pertinent de les utiliser lors de situations météorologiques correspondant au passage d'une perturbation.

Au total à l'issue de cette étude, le bilan se révèle donc peu encourageant dans la mesure où, dans la région, la majeure partie des précipitations sont liées aux passages de perturbations. Mais, ces conclusions ne doivent en aucun cas être acceptées d'emblée comme certaines et demandent donc à être confirmées par une étude dans laquelle seraient multipliées les expériences.

CONCLUSION

Tout en apportant des éléments sur la pluviométrie locale, utiles aux gestionnaires de réseaux d'assainissement et de stations d'épuration pour l'amélioration de la gestion quantitative et qualitative des eaux pluviales, cette thèse a permis de tester les compétences de différents outils de mesure de la pluie. Elle a souligné d'une part, la richesse d'information fournie par le pluviographe qui permet d'approcher la pluie dans sa réalité physique, d'autre part, l'inadaptation d'un réseau de pluviomètres à répondre précisément aux besoins des hydrologues urbains, et enfin, les potentialités d'une association entre réseau de pluviographes et radar météorologique.

Ainsi, lors de l'analyse des données du pluviographe de Lesquin, la décennie 1982-1991 est apparue plus pluvieuse que la normale aux diverses échelles temporelles abordées. Cette surpluviosité semble s'inscrire dans la durée, et est peut-être le résultat d'une modification de l'environnement de la station de plus en plus urbanisé. Mais là ne sont pas les conclusions les plus importantes vis-à-vis des objectifs poursuivis.

En effet, les données du pluviographe, par leur précision, permettent d'aborder les précipitations à l'échelle de la séquence pluvieuse, qui demeure l'échelle la plus adaptée aux besoins de l'hydrologie urbaine. Ainsi, parmi les collectivités locales, soucieuses de mettre en application la Directive européenne du 21 mai 1991 ou la Loi sur l'eau de 1992, celles qui disposent déjà d'un réseau pluviographique semblent mieux placées pour répondre à la demande sous-jacente de ces textes législatifs sur le traitement des eaux pluviales : la connaissance de la pluie à des échelles fines de temps et d'espace. Les données fournies par le pluviographe permettent d'établir une classification des séquences selon des critères significatifs en hydrologie urbaine, à savoir la hauteur précipitée, et l'intensité maximale.

La typologie des séquences pluvieuses, définie pour la station de Lesquin gagnerait à être étendue à l'ensemble du réseau C.U.D.L. En effet, les épisodes pluvieux étudiés dans le dernier chapitre ont été replacés dans cette typologie, et il s'avère que pour un même épisode pluvieux, les réponses varient d'une station à l'autre, ce qui souligne bien l'importance de la variabilité spatiale des précipitations. Cette variabilité spatiale n'est pas prise en compte dans la typologie réalisée pour les séquences observées à Lesquin, et c'est là sa principale lacune. Le traitement des

données de la C.U.D.L. sur une période plus importante, selon cette même démarche, c'est-à-dire la réalisation d'une typologie, basée sur des critères significatifs en regard des objectifs de l'hydrologie urbaine, permettrait de combler cette lacune.

Quant au réseau de pluviomètres, il offre peu d'atouts vis-à-vis de nos préoccupations, même s'il apporte des informations générales sur la répartition des précipitations. Ainsi, l'agglomération urbaine de Lille semble influencer la répartition des précipitations, mais il s'agit là d'une hypothèse qu'il reste à confirmer par une étude de climatologie urbaine.

Les typologies, réalisées pour les jours pluvieux ou les séquences de jours pluvieux successifs, sont intéressantes dans la mesure où elles intègrent la dimension spatiale des précipitations, en tenant compte à la fois de l'extension spatiale (traduite par le nombre de stations touchées par les précipitations) et de la variabilité spatiale (approchée à l'aide du coefficient de variation). Il est ainsi possible de déterminer les jours pluvieux ou les séquences pluvieuses qui connaissent un risque de dysfonctionnement du réseau d'assainissement et/ou de la station d'épuration, ou encore ceux pour lesquels la charge polluante peut être importante, et de préciser si ce risque est généralisé à l'ensemble de la région lilloise ou s'il ne concerne que quelques secteurs.

Mais, si ces typologies intégrant la dimension spatiale des précipitations apportent des éléments significatifs, elles ne permettent pas d'aborder les précipitations dans leur réalité physique, l'échelle journalière ne pouvant être assimilée à l'échelle de l'épisode ou de la séquence pluvieuse telle qu'elle est définie au troisième chapitre. En outre, l'absence de données sur les durées de précipitations ne permet pas de connaître l'intensité des précipitations, qui constitue pourtant un facteur décisif de l'impact sur les réseaux des volumes d'eaux pluviales. C'est en effet cette dernière qui semble déterminer, d'une part, la capacité de la pluie à prendre en charge les polluants, et par voie de conséquence, le degré de pollution des eaux pluviales, et d'autre part, la vitesse du ruissellement des eaux vers les réseaux d'autant plus rapide que l'intensité est forte. L'inadaptation d'un réseau de pluviomètres à répondre aux besoins de l'hydrologie urbaine est donc démontrée, et met d'autant plus en valeur les potentialités d'une association d'outils plus performants tels que le pluviographe et le radar.

Ces nouveaux outils permettent une approche spatio-temporelle fine des précipitations, et leur association se révèle être, pour de nombreux gestionnaires, une solution satisfaisante aux problèmes posés en hydrologie urbaine. Le radar dispose en

effet de plusieurs atouts. Il permet d'obtenir une vision continue dans l'espace des échos de précipitations, et non une vision "multi-ponctuelle" comme celle offerte par un réseau de pluviographes, qui permet néanmoins, lorsque sa densité le permet, une calibration des images. En outre, le radar autorise l'emboîtement des échelles spatiales ce qui permet de mieux percevoir la structure des cellules pluvieuses et de choisir un espace plus ou moins vaste autour de la zone étudiée. Enfin, il offre une résolution spatiale élevée et une maille fine, en comparaison d'un réseau de pluviographes.

Cependant, le radar comporte tout de même quelques inconvénients comme l'inadaptation à nos besoins des classes d'intensités, trop détaillées dans les faibles intensités et trop floues dans les fortes intensités, ou l'archivage d'une image par quart d'heure qui constitue un handicap pour l'analyse des séquences pluvieuses, et enfin, comme l'a montré la troisième partie, une potentielle sous-estimation des intensités de précipitations liée à la distance entre le radar et la zone étudiée. Aussi, s'il est envisageable d'utiliser les données du radar, il est inconcevable de le faire sans les associer à un réseau de pluviographes, qui permet d'en contrôler la validité.

L'étude menée sur l'utilisation du radar d'Abbeville pour l'analyse des précipitations de l'agglomération lilloise a montré que cette dernière se situe en limite de portée, ce qui revient à dire que ce radar n'est pas situé de manière optimale pour répondre à nos préoccupations et que son utilisation semble compromise.

Pour améliorer la connaissance de la pluie au sein de la région lilloise, il serait souhaitable de renforcer, d'une part, le réseau de pluviomètres, certains secteurs étant peu équipés, et d'autre part, le réseau de pluviographes de la C.U.D.L., en favorisant l'installation de pluviographes en milieu urbain, ce qui permettrait de mieux cerner à la fois, les caractères de la pluie en milieu urbain, et les risques de débordements ou de pollution pluviale de manière plus optimale. Enfin, l'utilisation de l'imagerie radar pour les besoins de connaissance des répartitions spatiales de la pluie au sein de l'agglomération lilloise demanderait l'installation d'un radar dans un rayon beaucoup plus proche.

Si le renforcement des réseaux de mesure au sol comporte assez peu de contraintes et semble facilement réalisable, il n'en va de même de l'installation d'un nouveau radar qui constitue un investissement lourd. Aussi, seules une certitude d'efficacité et une volonté accrue de connaître plus précisément la pluie au sein de l'agglomération lilloise pourraient éventuellement amener les collectivités locales à engager un tel investissement.

Finalement, la poursuite des investigations à l'aide des données du réseau pluviographique de la C.U.D.L. s'avère être la solution la plus satisfaisante pour contribuer à l'amélioration de la gestion des eaux pluviales, et par voie de conséquence à l'amélioration de la qualité des milieux récepteurs. Ainsi, si ces derniers ont longtemps été considérés comme capables d'absorber les eaux polluées en provenance d'agglomérations grandissantes, il semble aujourd'hui que la reconquête de leur qualité soit d'ores et déjà engagée, ce qui constitue une avancée certaine dans la gestion des perturbations anthropiques du fonctionnement des hydrosystèmes naturels.

R E F E R E N C E S B I B L I O G R A P H I Q U E S

- [1] ADER - 1979 - Le pays Franc, Région Nord-Pas-de-Calais, Atlas Régional, Second fascicule.
- [2] ARLERY R., GRISOLLET H. et GUILMET B., - 1973 - Climatologie, Méthodes et Pratique - Gauthier-Villars, 434 p.
- [3] CHARABI Y. - 1997 - Etude de l'îlot de chaleur urbain de l'agglomération lilloise : mesures itinérantes de la température de l'air, analyse de la température de surface à partir de données satellitales NOAA-AVHRR - Mémoire de DEA, 101 p.
- [4] DAUPHINE A. - 1975 - Les précipitations dans les Midis français - Thèse de 3ème cycle, Nice, Presses Universitaires de Lille III.
- [5] CEE - 1991 - Directive du Conseil du 21 mai 1991 relative au traitement des eaux résiduaires urbaines - 91-271-CEE, J.O. des Communautés Européennes du 30/05/91, n° L 135/40 à 52.
- [6] BENICHOUP P. - 1985 - Classification automatique de configurations météorologiques sur l'Europe Occidentale - Note SCEM, n°18, Météorologie Nationale.
- [7] ROUSSEL I., HAMMOUDA A. et DUPUY J. - 1994 - La gestion des épisodes pluvieux par les collectivités locales dans la perspective de la directive européenne sur les eaux résiduaires de mai 1991 - Publ. de l'Assoc. Internationale de Climatologie, Vol. 7, pp. 48-56.
- [8] SEVRUK B. - 1989 - Reliability of precipitation measurement - WMO/IAHS/ETH Workshop on Precipitation Measurement, St. Moritz, 3-7 décembre 1989, pp. 13-19.
- [9] SEVRUCK B. et KLEMM S. - 1989 - Types of standard precipitation gauges - WMO/IAHS/ETH Workshop on Precipitation Measurement, St. Moritz, 3-7 décembre 1989, pp. 227-232.
- [10] PONCELET L. - 1954 - Comparaison des pluviomètres - Symposium de Rome, Tome I, pp. 295-308, Public. n°36 de l'IAHS.
- [11] COSANDEY C. - 1982 - Sur la question du coefficient de captation des pluviomètres - Physio-Géo, N°5, pp 49-63.
- [12] MAIRE G. - 1977 - Influence des sites et des appareils dans la mesure des précipitations, selon les données de quatre postes pluviométriques de la région du Donon - Rech. Géog. à Strasbourg, n°4, pp. 87-91.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [13] LLAMAS J. - 1993 - Hydrologie générale, principes et applications - Québec, Canada, Ed. Gaëtan Morin, 527 p.
- [14] THOMAS H.A. Jr -1958 - Correlation Techniques for Augmenting Stream Runoff Information, Unpublished report to the Harvard Water Resources Program.
- [15] BOIS P. - 1987 - Hydrologie générale - Cours de l'Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique de Grenoble, Institut National Polytechnique de Grenoble, 175 p.
- [16] VERSMESSEN P. - 1991 - CUDL : un système d'information géographique pour l'assainissement - S.I.R.S., Rapport de stage ENVAR, 137 p. hors annexes.
- [17] PROST T. - 1989 - Mesures... en bref - TPE, N°96, pp. 22-23.
- [18] DACHARRY M. - 1984 - Spécificité de l'hydrologie urbaine - Bull. Assoc. des Géogr. Franç., n°500, pp. 99-109.
- [19] SAUVAGEOT H. - 1983 - Mesures hydrologiques par radar - La Houille Blanche, n°5-6, pp. 329-339.
- [20] AGENCE DE DEVELOPPEMENT ET D'URBANISME DE LA METROPOLE LILLOISE - 1996 - Schéma Directeur de Développement et d'Urbanisme de la métropole lilloise - Syndicat mixte pour la révision du schéma directeur de l'arrondissement de Lille.
- [21] ANDRIEU H. et JACQUET G. - 1987 - le radar météorologique de Trappes et l'estimation des intensités pluvieuses en Seine-St-Denis. Intérêts pour la gestion des réseaux d'assainissement - La Houille Blanche, n°6, pp. 447-457.
- [22] FAURE D. - 1993 - Application à l'hydrologie du radar météorologique, Comparaison d'estimations radar et pluviométriques pour des lames d'eau horaires sur de petits bassins versants cévenols - Grenoble 1.
- [23] LEPAPE A., CARON N. et CELHAY E. - 1991 - Connaissance de la météorologie - Ed. Service central de la communication et de la commercialisation, n°3, Météotel pratique, 2 vol.
- [24] FOURNIER T. - 1988 - Qualification d'un radar météorologique pour la mesure des précipitations dans la région des Cévennes - Mémoire de DEA en mécanique des milieux géophysiques et environnement, 105 p.
- [25] DUFIEF N. - 1994 - Interprétation climatologique de pluies intenses dans le Sud-Est de la France, Apport de l'imagerie radar à l'analyse de l'événement pluvieux marseillais des 22 et 23 septembre 1993- Mémoire de maîtrise en climatologie, IGARUN, 179 p.

- [26] ANDRIEU H. - 1987 - Le radar météorologique de Trappes et l'estimation des intensités pluviométriques en Seine-Saint-Denis. Intérêt pour la gestion des réseaux d'assainissement - La Houille Blanche, n°6, pp. 447-457.
- [27] GILET M. et CICCIONE M. - 1983 - Le projet Aramis et la prévision à courte échéance - La Houille Blanche, n°5-6, pp. 367-375.
- [28] JACQUET G., CHERON J., BACHOC A., et HERREMANS L. - 1983 - Intérêt technique et économique des radars d'investigation des précipitations en matière d'assainissement urbain - La Houille Blanche, n°5-6, pp.341-348.
- [29] WILSON J.W. et BRANDES E.A.- 1979 - Radar measurement of rainfall : a summary - Bull. amer. Meteo. Soc., n°60, pp. 1048-1058.
- [30] COLLIER C.G. - 1986 - Accuracy of rainfall estimates by radar - Journal of Hydrology, n°83, pp. 207-249.
- [31] DUPOUYET JP. - 1983 - Le radar et la pluie. Application à l'annonce et à la prévision des crues dans les bassins critiques de la Vézère et de la Corrèze - La Houille Blanche, n°5-6, pp.387-392.
- [32] FROMENT G. - 1981 - Rapport Hydromel - Météorologie Nationale.
- [33] AUSTIN GL. et al. -1974 - The use of radar in urban hydrology - Journal of Hydrology, n°22, pp. 131-142.
- [34] HUFF FA. et TOWERY NG. - 1978 -Utilization of radar in operation of urban hydrologic systems - 18th Radar Meteorology Conference, AMS Atlanta, pp. 437-441.
- [35] DELRIEU G. - 1986 - Evaluation d'un radar météorologique pour la mesure des précipitations, validation et étalonnage par techniques géostatistiques. Application au Bassin Parisien - Thèse de Docteur-Ingénieur, 190 p.
- [36] EINFALT T. - 1988 - Recherche d'une méthode optimale de prévision de pluie par radar en hydrologie urbaine - Thèse de doctorat, CERGRENE Noisy-le-Grand.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] ADLER E. - 1992 - Aperçu des techniques de traitement des eaux pluviales. In "La pollution par les eaux pluviales - Collecte - Traitement - Solutions d'avenir" - Colloque AFITE, Lyon, 4-5 novembre, pp. 75-84.
- [2] ANDRIEU H. et JACQUET G. - 1983 - Radar météorologique et hydrologie urbaine - ENPC, Journées d'étude : "Information, automatisme et exploitation des réseaux d'assainissement", Paris, décembre.
- [3] ANDRIEU H. - 1984 - Utilisation du radar météorologique pour l'analyse des épisodes pluvieux urbains - 2ème rapport d'avancement, CERGRENE, LCPC, Paris, juin.
- [4] ANDRIEU H. - 1986 - Interprétation de mesures du radar Rodin de Trappes pour la connaissance en temps réel des précipitations en Seine-Saint-Denis et Val-de-Marne - Thèse de Docteur-Ingénieur, 124 p.
- [5] BACHOC A. - 1992 - Le transfert des solides dans les réseaux d'assainissement unitaires - Thèse de doctorat, 280 p.
- [6] BACHOC A., MOUCHET J.M., CHEBBO G. - 1992 - La pollution des rejets pluviaux urbains : son importance, ses caractéristiques, quelques éléments sur ses origines et son interception - Rapport d'étude CERGRENE/ENPC, 15 p.
- [7] BACHOC A., TABUCHI J.P., CHEBBO G. et PHILIPPE J.P. - 1993 - La pollution des rejets urbains par temps de pluie : quantité, origine et nature - La Houille Blanche, n° spécial "La pluie, source de vie, choc de pollution", pp. 1-13.
- [8] BALLADES B. - 1989 - Les enjeux de la métrologie - T.P.E., n°96, pp. 6-11.
- [9] BALLADES J.D., BOURGOGNE P. et BACHOC A. - 1991 - Un moyen de lutte contre la pollution des rejets urbains de temps de pluie, les solutions compensatoires - T.S.M., n°12, pp. 583-592.
- [10] BARRAQUE B. - 1990 - La gestion de l'eau dans quelques pays européens - Métropolis, n°92-93 "L'eau urbaine", pp.20-27.
- [11] BARRAUD S. et al. - 1992 - GESICA : un système informatique de gestion généralisée du système d'assainissement de la Communauté Urbaine de Lyon - TSM - l'Eau, n°2, pp. 69-77.

- [12] BEDIOT C., et al. (groupe de travail "Catalogue des appareils de mesures des précipitations") - 1985 - Connaissance de la pluie pour l'hydrologie urbaine - STU, doc. provisoire, Paris, Avril
- [13] BENICHOU P. et LE BRETON O. - 1987- Prise en compte de la topographie pour la cartographie des champs pluviométriques statistiques (la méthode AURELHY) - La Météorologie, VII^e série, n°19, pp. 23-34.
- [14] BERGAOUI M. -1987 - Etude de la distribution spatio-temporelle des précipitations à des échelles fines de temps et d'espace - Thèse de doctorat, 286 p.
- [15] BERTILOTTI R. et BREUIL B. - 1992 - Bilan et perspectives de gestion des déversements des réseaux unitaires: application sur les ouvrages de Seine-Saint-Denis, l'amont de l'émissaire Saint-Denis-Achères. Novatech 92 : redécouvrir l'eau, une priorité - Colloque, Lyon, 3-5 novembre 1992, pp. 294-304.
- [16] BESEME J.L. et IWEMA A. - 1990 - Les caractéristiques des eaux usées françaises - TSM, génie urbain, génie rural, n°7-8, pp. 340-344.
- [17] BESSEMOULIN P. - 1980 - Urbanisation et météorologie - La Météorologie VI^e série, n°23, pp. 51-67.
- [18] BONTROND E.A. - 1957 - La durée des précipitations, La Météorologie, p 245-262.
- [19] BORDREUIL C. - 1980 - Influence de l'urbanisation sur la pluviométrie de la région marseillaise - La Météorologie, pp. 91-99.
- [20] BOURGOGNE P. - 1992 - Une réponse au traitement de la pollution des eaux pluviales - Décision Environnement, n° hors série "Pollutec", pp. 39-40.
- [21] BRELOT-WOLFF E. - 1993 - Méthodologie de prise en compte de l'impact des rejets urbains dans la recherche de stratégies d'actions sur les systèmes d'assainissement - Thèse (en cours de préparation) - INSA de Lyon.
- [22] BUJON G. - 1988 - Prévision des débits et des flux polluants transités par les réseaux d'égouts par temps de pluie, le modèle FLUPOL - La houille Blanche, n°1, pp. 11-23.
- [23] BUJON G. - 1992 - Description du modèle KAPLAN - Document provisoire du séminaire "Pollution des rejets urbains de temps de pluie" - Sénat, mars.
- [24] CALVET C. - 1980 - Les fortes intensités de précipitations à Paris - La Météorologie, VI^e série, n°20-21, pp. 99-103.
- [25] CAPPUS P. - 1957 - Répartition des précipitations sur un bassin versant de faible étendue - La Houille Blanche, n°1, pp. 332-342.

- [26] CATHELAIN M. - 1990 - Les études diagnostiques des réseaux d'assainissement - TSM, génie urbain, génie rural, n°7-8, pp.345-348.
- [27] CHAIB J. et REYSSET P. - 1992 - Gestion des eaux pluviales et urbanisme vert. Novatech 92, redécouvrir l'eau, une priorité - Colloque, Lyon, 3-5 novembre 1992, pp. 191-198.
- [28] CHOCAT B. -1981 - Un système d'aide à la gestion, la prévision et la conception des équipements d'assainissement - Thèse d'état, 313 p.
- [29] COCHARD JL. - 1990 - La normalisation européenne dans les champs d'activité de l'A.G.H.T.M. - TSM, génie urbain, génie rural, n°10, pp. 473-476.
- [30] COLIN E. et BEDEL J.A. - 1980 - Essais d'ajustement régionaux sur les intensités de pluie - La Météorologie, VIè série, n°20-21, pp. 151-160.
- [31] COSTE C. et LOUDET M. - 1980 - Guide de l'assainissement en milieu urbain et rural - Ed. du Moniteur.
- [32] COTTET J. - 1980 - La pollution des eaux pluviales en zone urbaine. Travail de fin d'études ENPC effectué à l'Agence de Bassin Seine-Normandie, 135 p.
- [33] COUILLARD D. et TYAGI RD. - 1990 - Effets chocs hydrauliques des eaux usées de ruissellement pluvial urbain sur un système de traitement des eaux - Environmental technology, n°7, pp. 635-650.
- [34] CREUTIN D., OBLED C. et TOURASSE P. - 1980- Analyse spatiale et temporelle des épisodes pluvieux cévenols - La Météorologie, VIè série, n°20-21, pp. 233-242.
- [35] DACHARRY M. - 1993 - Conceptions évolutives de l'eau dans la ville - H.T.N., n° hors série Environnement urbain, pp. 53-57.
- [36] DASTUGUE S., VIGNOLES M., HEUGHEBAERT JC. et VIGNOLES C. - 1990 - Matières en suspension contenues dans les eaux de ruissellement de la Ville de Toulouse: quantification, corrélation au type d'urbanisation et répartition des rejets - TSM, n°3, pp. 131-143.
- [37] DE CARMANTRAND B., et al. - 1989 - Les problèmes liés à la gestion des réseaux pluviaux. I: Assainissement pluvial urbain. Réglementation et financement. La nécessité d'une approche globale - TSM, n°2, pp. 61-66.
- [38] DEGARDIN P.- 1991 - Quantification des rejets urbains de temps de pluie en région parisienne : estimation des volumes et flux de pollution déversés au milieu naturel lors d'une pluie décennale - Doc. Interne à la Dir. Tech. Pluviale de l'Agence de l'Eau Seine-Normandie, mai, 19 p.

- [39] DELHOMME J.P. - 1976 - Application de la théorie des variables régionalisées dans les sciences de l'eau - Thèse de Docteur-Ingénieur, Paris VI.
- [40] DELRIEU G., BELLON A., et CREUTIN J.D. - 1988 - Estimation de lames d'eau spatiales à l'aide de données de pluviomètres et de radar météorologique, Application au pas de temps journalier dans la région de Montréal - Journal of Hydrology, n°98, pp. 315-344.
- [41] DENOEUX T. - 1989 - Fiabilité de la prévision de pluie par radar en hydrologie urbaine - Thèse ENPC.
- [42] DESBORDES M. et RAOUS P. - 1980 - Fondements de l'élaboration d'une pluie de projet urbaine. Méthodes d'analyse et application à la station de Montpellier Bel-Air - La Météorologie, VI^e série, n°20-21, pp. 317-326.
- [43] DESBORDES M. - 1979 - Modèles de gestion dans le domaine de l'assainissement urbain - Note LHM - Université des Sc. et Techn. de Montpellier.
- [44] DESBORDES M. - 1985 - Bilan des études et recherches sur la pollution du ruissellement pluvial urbain dans les pays d'Europe de l'Ouest et de l'Amérique du Nord - Rapport LHM, Montpellier.
- [45] DESBORDES M. - 1987 - Réflexion sur les méthodes de calcul des réseaux urbains d'assainissement pluvial - Thèse de Docteur-Ingénieur, 224 p.
- [46] DESBORDES M. - 1987 - Contribution à l'analyse et à la modélisation des mécanismes hydrologiques en milieu urbain - Thèse d'état, 242 p.
- [47] DESBORDES M., DEUTSCH J.C. et FREROT A. - 1990 - Les eaux de pluie dans les villes - La Recherche, Vol. 21, n°221, pp. 582-589.
- [48] DEUTSCH J.C. - 1982 - L'impact sur le milieu naturel des eaux pluviales et des eaux des réseaux unitaires - Ecole nationale des Ponts et Chaussées, Session de formation continue "L'exploitation des réseaux d'assainissement", Toulouse, juin.
- [49] DEUTSCH J.C., JARRY B., PAITRY A., PHILIPPE J.P., VICQ. A. - 1982 - Caractérisation de la pollution des eaux de ruissellement par temps de pluie - Société hydrotechnique de France, XVII^{ème} journée de l'hydraulique, Nantes, septembre, rapport II-1, 8 p.
- [50] DEUTSCH J.C. - 1984 - Gérer la question de l'eau - Urbanisme, n°201, pp. 90-91.
- [51] DORIZE L. - 1989 - Les précipitations : de la réalité à sa mesure - Physio-Géo, n°19, pp. 85-99.
- [52] DOURLENS C. et VIDAL-NAQUET P. - Le risque au fil de l'eau : la sécurité dans les secteurs de la distribution de l'eau et de l'assainissement pluvial - Rapport, 253 p.

- [53] DUBANT C., MAIRE G. et SCHWARTZ J. - 1980 - Analyse des fortes pluies de 1H à 48H pour une quinzaine de postes alsaciens - La Météorologie, VI^e série, n°20-21, pp. 127-149.
- [54] DUPUY G. et KNAEBEL G. - 1982 - Assainir la ville hier et aujourd'hui - Dunod.
- [55] DUTANG M. et OLIVIER D. - 1990- La gestion du cycle urbain de l'eau, aléas, contraintes - Métropolis, n°92-93 "L'eau urbaine", pp. 8-14.
- [56] ENPC - 1988 - "Coût et prix de l'eau en ville : alimentation et assainissement", Paris, 6-8 décembre 1988 - Presses de l'ENPC, 670 p.
- [57] ERMOLINE Y. - 1991 - Gestion de l'évacuation des eaux usées urbaines - TSM, génie urbain, génie rural, n°4, pp. 181-184.
- [58] ESCOURROU G.- 1984 - Climatologie et hydrologie urbaines - Bull. Assoc. Géogr. Franç., n°500, pp. 83-97.
- [59] FABRET C. - 1986 - Imperméabilisation des bassins versants - SHF, XIX^{èmes} journées de l'Hydraulique, Paris, 9-11 septembre.
- [60] FAUP G.M. et al. - 1991 - Un moyen de lutte contre la pollution des rejets urbains de temps de pluie, les solutions compensatoires - TSM - L'eau, n°12, pp.583-591.
- [61] FOUQUET P. et al. - 1978 - Evacuation des eaux pluviales urbaines - Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, DFC (éd.), Paris, 166 p.
- [62] FREROT A. - 1987 - Procédures d'optimisation des consignes de gestion d'un réseau d'assainissement automatisé, Thèse de doctorat - CERGRENE -ENPC.
- [63] FREROT A., JACQUET G. - 1988 - T III in Eau et Informatique, sous la direction de VALIRON -Presses des Ponts et Chaussées.
- [64] GAUCHE M. - 1989 - Les problèmes liés à la gestion des réseaux pluviaux. IV: Une ville «met en scène» d'anciens canaux d'irrigation - TSM, n°2, pp. 74-76.
- [65] GAUME E. - 1992 - Description détaillée de quelques modèles de calcul de pollution dans les réseaux d'assainissement - rapport CERGRENE pour le compte de l'Agence de l'Eau Seine-Normandie.
- [66] GILBERT C. - 1990 - La catastrophe, l'eau et le préfet - Presses Universitaires de Grenoble, 295 p.
- [67] GIRAUD J.R. - 1989 - Gestion du réseau pluvial. Cas de la ville de Nice - TSM, n°2, pp. 71-73.
- [68] GRISOLLET H. - 1948 - Etude des averses orageuses dans la région parisienne - La Météorologie, n°11, pp. 175-195.

- [69] GROSSE J.Y. et GIVONNE C. - 1980 - Crues et assainissement, analyse des pluies de 1 à 10 jours sur 300 postes métropolitains - La Météorologie VI^e série, n°20-21, pp.161-168.
- [70] GUERBER F. et TABUCHI J.P. - 1992 - La dépollution des rejets urbains par temps de pluie : une approche globale - La Houille Blanche, n°6, pp. 443-447.
- [71] GUILLERME A. - 1990 - Le temps de l'eau - Seyssel, Champvallon, 263 p.
- [72] HAMMOUDA A. - 1995 - Connaissance et modélisation des précipitations pour l'hydrologie urbaine à travers l'exemple de l'agglomération nancéienne - Thèse de doctorat, 252 p.
- [73] HEISSAT J. - La nature des précipitations, NIT, section XV, n°12.
- [74] HERREMANS L. - 1992 - La caractérisation des eaux pluviales et des eaux de ruissellement. In "La pollution par les eaux pluviales - Qualité - Collecte - Traitement - Solutions d'avenir" - Colloque AFITE, Lyon, 4-5 novembre, pp. 5-15.
- [75] HYDROTOP 92 : la ville et l'eau, Marseille, 8-10 avril 1992 - Congrès.
- [76] IAURIF - 1982 - La maîtrise du ruissellement des eaux pluviales : quelques solutions pour l'amélioration du cadre de vie - STU, Paris.
- [77] JACQUET J. - 1968 - Répartition des précipitations à l'échelle fine et précision des mesures pluviométriques - Assoc. Internat. d'Hydrol. Scient., Communication au Congrès d'Helsinki, juillet.
- [78] KIVELIOVITCH M. et VIALAR J. - Etude statistique des séries chronologiques - Journal scientifique de la Météorologie, Vol V-7, V-18, V-19, V20.....V-27.
- [79] LABORDE J.P. - 1984 - Analyse des données et cartographie automatique en hydrologie: éléments d'hydrologie lorraine - Thèse de doctorat, INPL, 484 p.
- [80] LAHAYE J.P., MEUNIER M. et TARTES R. - 1980 - Méthode d'étude des pluies de courte durée - La Météorologie, VI^e série, n°20-21, pp. 73-90.
- [81] LEFEVRE B. - 1991 - La politique de l'eau en France - Travaux, n°668, pp. 1-3.
- [82] LEMPEREUR R.- 1988 - Analyse spatio-temporelle des pluies sur le site de Nancy - Thèse de doctorat, 205 p.
- [83] LUPIN GINEYS L. - 1990 - Analyse méthodologique pour la mise en oeuvre d'un système de gestion de l'assainissement: GE.SI.CA. - Thèse de doctorat, 392 p.
- [84] MALRIEU J. - 1994 - Les techniques alternatives en matière de gestion des eaux pluviales - 17-24 Janvier, Office International de l'Eau, Direction de la Formation et des Etudes, Dossier pédagogique, 803 p.

- [85] MARCHAND A.; BADOT R.; BOLOGNINI G.; DEBELLY B. - 1991 - Lutte contre les inondations dans un secteur urbanisé de l'agglomération nancéenne - Travaux, n°668, pp. 4-15.
- [86] MARCHAND A., CHERON J. et BADOT R. - 1989 - La lutte contre les inondations à Nancy: un ensemble de techniques traditionnelles et innovantes - TSM, n°5, pp. 303-309.
- [87] MATHERON G. - 1971 - La théorie des variables régionalisées et ses applications - Cahiers du centre de morphologie mathématique de Fontainebleau, Fascicule n°5, 211 p.
- [88] MAUCHIEN JC. - 1989 - Les problèmes liés à la gestion des réseaux pluviaux. V: Exemple d'aménagement urbain de ruisseaux à La Valette (Var) - TSM, n°2, pp. 77-79.
- [89] MICHEL G. - 1992 - Une stratégie pour maîtriser les eaux pluviales - Décision Environnement, Hors série "Pollutec", p. 44.
- [90] MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT - 1990 - Modélisation pluie - débit : développement d'une approche globale pour la fonction de production sur de petits bassins - Rapport, 23 p.
- [91] MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT - 1991 - La gestion de la vulnérabilité des systèmes urbains : le cas de la distribution de l'eau et de l'assainissement - Rapport.
- [92] MINISTERE DE L'INTERIEUR - 1977- Circulaire n°77-284 / JW5 IN "Instruction Technique relative aux réseaux d'assainissement des agglomérations", Paris.
- [93] MINISTERE DE LA RECONSTRUCTION ET DE L'URBANISME - 1949 - Instruction technique relative à l'assainissement des agglomérations - Paris, 50 p.
- [94] MOUCHEL J.M. - 1992 - Impact des rejets de temps de pluie en Seine : quelques résultats tirés de la campagne de l'été 1991 du groupe "orage" du PIREN-Seine - In Tassin B. et Thévenot D., Editeurs. Rejets urbains par temps de pluie : pollutions et nuisances, 3èmes journées du DEA STE, Presses de l'ENPC, Paris, 14-15 mai, pp. 165-184.
- [95] MOUSSA R. et BOCQUILLON C. - 1992 - Caractérisation fractale d'une série chronologique d'intensité de pluie. Rencontres hydrologiques Franco-Roumaine - Congrès, Paris 2 septembre 1991, pp. 363-370.
- [96] NANCIE et AGENCE DE L'EAU RHIN-MEUSE - 1995 - De la pluie au milieu naturel, de la mesure à la démesure : évacuer les utopies - Nancy, 29-30 mars 1995 - Colloque.
- [97] NORMAND D. - 1976 - Hydrologie et petits bassins versants urbanisés - L'hydrologie et l'ingénieur ENSH, Session de perfectionnement pour ingénieurs, Grenoble.
- [98] NORMAND D. et RENE R. - 1971 - Etude générale du ruissellement urbain - SOGREA, Rapport R 10 943 , 30 p.

- [99] OCDE - 1989 - La gestion de l'eau, politiques intégrées - OCDE, Paris, 228 p.
- [100] OCDE - 1990 - L'environnement urbain : quelles politiques pour les années 1990? - OCDE, Paris, 103 p.
- [101] ORIEUX A. - Radar et pluviométrie à Marignane - NIT, section XV, pièce n°17, 14 p.
- [102] PASTANT, SALLERON - 1993 - Assainissement des agglomération : objectifs de protection des milieux par temps de pluie. Eléments méthodologiques - 146ème Session du Comité Technique de la SHF.
- [103] PEDOYA C. - 1990 - La guerre de l'eau : genèse, mouvements et échanges, pollutions et pénurie - Paris, Frison-Roche, 160 p.
- [104] PETIT-RENAUD G. - 1980 - Les principaux aspects de la variabilité des précipitations dans le Nord de la France - Rech. Géogr. à Strasb., n°13-14, pp.31-38.
- [105] PHILIPPE J.P. et BRUANT F. - 1982 - Etude des averses orageuses à l'échelle urbaine. Abattement spatial et dynamique des orages - Service Technique de l'Urbanisme, Laboratoire Régional de l'Ouest Parisien, Trappes, 51 p.
- [106] PHILIPPE J.P. et RANCHET J. - 1987 - Pollution des eaux de ruissellement pluvial en zone urbaine : synthèse des mesures sur 10 bassins versants en région parisienne - rapport de recherches des Labo. Ponts et Chaussées, n°142, 70 p.
- [107] PLAN URBAIN - 1990 - L'eau dans la ville, 15-16 novembre 1990, Colloque, Nancy, 233 p.
- [108] HYDRO PLUS - Pollution : Pour qui tombe la pluie ?, n°18, pp. 31-37.
- [109] RAIMBAULT G. - 1992 - Nouvelles techniques en assainissement pluvial urbain - Courants, n°14, pp.18-23.
- [110] REMENIERAS G. - 1964 - Hydrologie de l'ingénieur - Eyrolles.
- [111] ROUSSEL I. -1988 - Un réseau de pluviographes pour la mesure de la pluie - "Les nouvelles méthodes de gestion automatisée des réseaux d'assainissement, quels enjeux et quels partenaires" - NANCIE 16-17 mars, pp. 17-26.
- [112] ROUSSEL I. - 1989 - Recherches et méthodes pour la détermination des averses - Physio-Géo, n°19, pp. 55-68.
- [113] ROUSSEL I. et AUCHET P. - 1989 - La pluviométrie et ses conséquences sur le réseau d'assainissement - Colloque "Lutte contre les inondations à Nancy", Nancy, 20 avril 1989, pp. 13-40.
- [114] ROUSSEL I. -1989 - Les orages dans l'agglomération nancéienne 1946-1986 - NANCIE, 14 p.

- [115] ROUSSEL I. - 1990 - Les inondations en milieu urbain et la gestion du risque, l'exemple de l'agglomération nancéienne - Bull. Assoc. Géogr. Franç., n°1, pp. 1-12.
- [116] ROUSSEL I. - 1990 - La validation des données pluviométriques, gestion automatisée d'un réseau d'assainissement à Nancy - NANCIE.
- [117] ROUSSEL I. et MARCHAND A. - 1990 - Fragilité et maîtrise de l'hydrosystème urbain : exemple de l'agglomération nancéienne - Au fil de l'eau, hommage à René Frécaut, pp. 399-410.
- [118] ROUSSEL I. - 1992 - La pollution pluviale - Publ. de l'Assoc. Internationale de Climatologie, Vol. 5, pp. 375-381.
- [119] ROUSSEL P. - 1991 - Les collectivités locales et l'eau - Travaux, n°667, p 2.
- [120] ROUX F. - 1991 - Les orages, météorologie des grains, de la grêle et des éclairs - Payot, Paris, 354 p.
- [121] SAUVAGEOT H. - 1982 - Radar-météorologie - Eyrolles, 296 p.
- [122] SCHULHOF P. - 1989 - Les eaux pluviales - P.C.M., n°11, pp. 42-43.
- [123] SCHULHOF P. - 1992 - L'exploitant face à la directive européenne sur les eaux urbaines résiduaires - P.C.M., n°11, pp. 18-21.
- [124] SIMON L., TASSIN B., CHEBBO G., GAUME E. - 1992 - Les rejets urbains par temps de pluie : caractérisation, modélisation, traitabilité - Support de cours ENPC-ENITRTS, 50 p.
- [125] STU - 1989 - Mémento sur l'évacuation des eaux pluviales - La documentation française, 350 p.
- [126] STU - 1991 - La collecte et la dépollution des eaux usées et pluviales. L'eau et les collectivités locales - Ed. Moniteur, Paris, pp. 169-196.
- [127] STU - 1991 - Réconcilier l'eau et la ville par la maîtrise des eaux pluviales - Paris, 64 p.
- [128] TABUCHI J.P. - 1991 - Les impacts des rejets urbains de temps de pluie - Journées d'information "pluvial urbain" - Agence de l'Eau Seine-Normandie, 27 juin, 13 p.
- [129] TESSIER Y., LOVEJOY S. et SCHERTZER D. - 1992 - Evaluation de la variabilité spatio-temporelle du champ de pluie par les méthodes multifractales. Rencontres hydrologiques Franco-Roumaine - Congrès, Paris 2 septembre 1991, pp. 401-411.
- [130] THEVENOT D. - 1992 - Pollution des eaux pluviales urbaines : origine, niveaux et mobilité des polluants. Formation continue de l'association de l'ENPC, octobre.
- [131] TRABUC P. et le groupe de projet sur la pollution apportée par les rejets urbains par temps de pluie - 1989 - Note de synthèse du 22 mars.

BIBLIOGRAPHIE

[132] TRABUC P. - 1990 - Dépollution pluviale : politique de la CEE et exemples nationaux. La gestion de l'eau - Colloque européen, 4-6 décembre, Paris, Presses des Ponts et Chaussées, pp. 169-183.

[133] VALIRON F., TABUCHI J.P. - 1992 - Maîtrise de la pollution urbaine par temps de pluie : état de l'art - Agence de l'Eau Seine-Normandie / AGHTM, Librairie Lavoisier, Tech. et Doc., 564 p.

[134] VALLAURI JP. - 1989 - Les problèmes liés à la gestion des réseaux pluviaux. II: Lutte contre la pollution industrielle par les eaux d'orage. Le cas particulier des établissements industriels - TSM, n°2, pp. 67-70.

[135] VIALAR J. - 1968 - Calcul des probabilités et statistiques - Paris, ONM, 5 vol.

[136] VITRON P. - 1990 - Mesures de la pluie - La Météorologie, n°33, pp. 22-33.

A N N E X E S

Annexe n°1 : Présentation du pluviographe à augets basculeurs.

Les précipitations sont recueillies dans le cône de réception (dont la surface est de 400 ou 1000 cm²) puis l'eau se déverse par un petit tuyau dans l'un des deux augets. Lorsque la contenance de l'auget atteint 10 ou 20 g d'eau, celui-ci bascule brusquement et un auget identique vient prendre sa place et se met en position de remplissage. Les deux augets symétriques sont assemblés et montés sur un même pivot.

Chaque basculement dans un sens ou dans l'autre provoque selon la technique d'enregistrement utilisée :

- soit une avancée d'une dent d'une roue qui entraîne par l'intermédiaire d'un mécanisme d'engrenages, le déplacement du stylet inscripteur devant un cylindre à axe vertical, effectuant une rotation complète en une semaine ou en un jour : enregistrement sur papier diagramme ou chronototalisateur. Cette technique a été utilisée à Lesquin jusqu'en 1988.

- soit la fermeture brève d'un circuit électrique, produisant une impulsion électrique qui sera enregistrée sur un support informatique (bande magnétique ou raccordement à une station automatique). Dans le cas d'un raccordement à une station automatique, celle-ci interroge le pluviographe toutes les 6 minutes pour Météo-France, ce temps entre deux interrogations peut être réduit à une minute voire 10 secondes pour les systèmes CR2M. A Lesquin, le pluviographe à augets basculeurs est relié à une station automatique depuis 1988.

Afin de provoquer la fusion de la neige ou des grêlons, une sonde thermostatée à 4°C est installée ou lorsqu'il n'y a pas d'électricité, un brûleur au propane maintient une température positive dans l'habitacle dont les parois sont isolées. Ainsi, les volumes d'eau précipités sous forme de neige ou de grêle parviennent après fusion dans les augets.

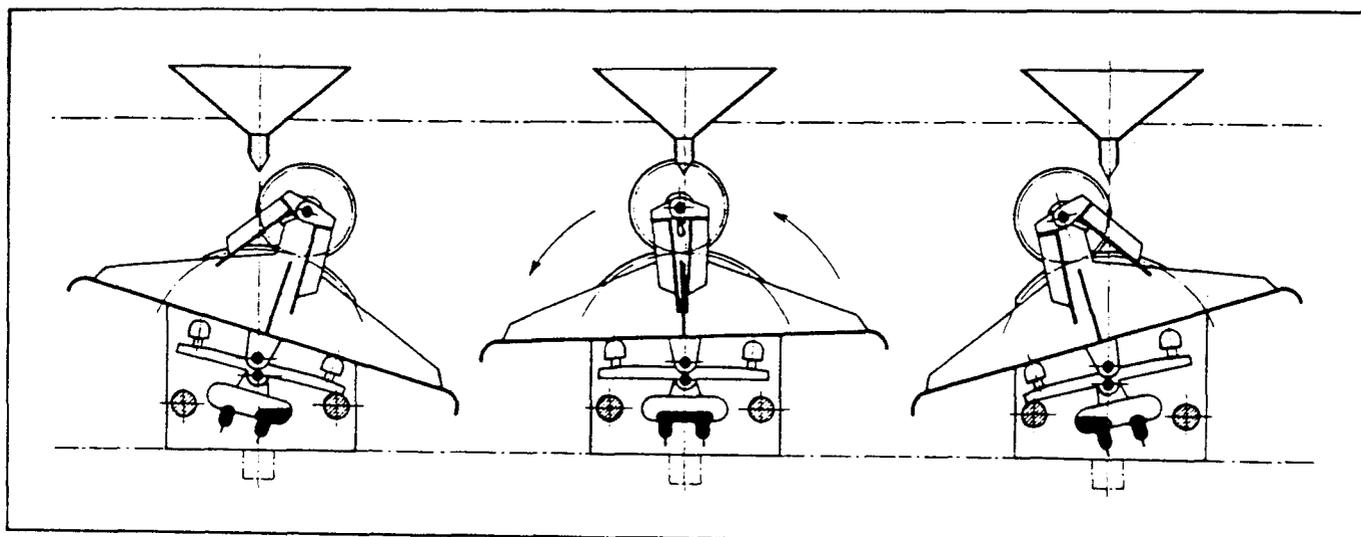


Schéma du transducteur à augets basculeurs

Le pluviographe à augets basculeurs ne permet pas une mesure directe des intensités, mais la mesure d'une hauteur d'eau pendant un intervalle de temps donné. L'intensité sera donc calculée en rapportant la hauteur d'eau à la durée.

L'intensité enregistrée (I_r) n'est strictement égale à l'intensité vraie (I_v) que pour une hauteur fixée, appelée intensité d'étalonnage (I_e). Un réglage du pluviographe pour des intensités habituellement observées (quelques dizaines de mm.H^{-1}) conduit à sous-estimer les intensités fortes, et a contrario, un réglage destiné à mieux mesurer les intensités fortes (30 à 100 mm.H^{-1} et plus) conduit à surestimer les intensités habituelles. Ces erreurs systématiques peuvent être corrigées à l'aide d'un faisceau de courbes $I_v = f(I_r, I_e)$, valable pour un type d'appareil donné dont on connaît l'intensité d'étalonnage (I_e).

Le fonctionnement du pluviographe à augets basculeurs entraîne un autre type d'erreur, l'erreur d'échantillonnage : en effet, au début ou à la fin du pas de temps d'intégration, l'auget peut être, soit vide, soit pratiquement plein, ce qui se traduit par une erreur de plus ou moins un basculement pour chaque pas de temps considéré. Cette erreur d'échantillonnage dépend de l'intensité de la pluie et du pas de temps d'intégration. Ainsi, cette erreur est moins importante dans le cas de pluie de forte intensité que dans le cas de pluies continues de faible intensité.

Annexe n°2 : Journées avec écart supérieur ou égal à 1 mm en valeur absolue.

Les cumuls journaliers sont effectués de 6H du jour à 6H le lendemain (en heures UTC). Les séquences pluvieuses ayant eu lieu pendant ces journées ont été supprimées.

Date	Cumul journalier des valeurs homogénéisées	Cumul journalier du T.C.M.	Ecart
09-Jan-82	0.3	1.4	-1.1
10-Jan-82	2.1	0.8	1.3
11-Jan-82	3.8	5.1	-1.3
25-Jan-82	3.9	5.3	-1.4
12-Jun-82	0	2.2	-2.2
13-Jun-82	0	2.3	-2.3
15-Jun-82	0	3.3	-3.3
18-Jun-82	13.6	16.2	-2.6
23-Jun-82	11.1	9.8	1.3
26-Jun-82	11.2	17.5	-6.3
30-Jul-82	22.9	21.7	1.2
01-Août-82	6.2	0	6.2
02-Août-82	0.2	6.2	-6
23-Sep-82	9.1	6.3	2.8
13-Oct-82	12.1	10.6	1.5
14-Oct-82	2.6	4.1	-1.5
12-Nov-82	16.6	14.9	1.7
13-Nov-82	3.5	5.6	-2.1
20-Déc-82	19.1	16.6	2.5
21-Déc-82	6.3	8.8	-2.5
31-Jan-83	12.6	15.3	-2.7
04-Avr-83	10.9	12	-1.1
17-Avr-83	1.8	0.2	1.6
02-Mai-83	2.5	3.9	-1.4
09-Mai-83	3.9	2.6	1.3
21-Mai-83	6.1	7.6	-1.5
31-Jul-83	12	10.7	1.3
01-Août-83	6.2	11.6	-5.4
11-Sep-83	2.4	3.5	-1.1
22-Jan-84	5.9	7.7	-1.8
05-Avr-84	12.5	13.6	-1.1
06-Avr-84	13	11.9	1.1
06-Oct-84	5.6	8	-2.4
21-Oct-84	5.6	3.5	2.1
22-Oct-84	1.9	3.9	-2
14-Nov-84	0	2.6	-2.6
06-Jan-85	1.2	2.5	-1.3
08-Fév-85	11	13.6	-2.6
13-Mai-85	4.9	3.5	1.4
14-Mai-85	14.6	15.9	-1.3
05-Jun-85	23.3	24.9	-1.6

ANNEXES

Date	Cumul journalier des valeurs homogénéisées	Cumul journalier du T.C.M.	Ecart
18-Jul-85	12.5	13.5	-1
26-Jul-85	12.2	13.2	-1
28-Jul-85	16.4	17.4	-1
05-Nov-85	14.7	16.1	-1.4
06-Nov-85	0	1.7	-1.7
08-Nov-85	1.4	2.8	-1.4
21-Nov-85	0.2	2.8	-2.6
29-Nov-85	8.9	11.9	-3
28-Fév-86	1.4	4.4	-3
04-Mar-86	7.9	8.9	-1
23-Mar-86	4	5.3	-1.3
24-Mar-86	7.5	8.6	-1.1
27-Mar-86	20.4	21.6	-1.2
06-Avr-86	1.7	3	-1.3
07-Avr-86	8.7	9.7	-1
21-Avr-86	12.9	15	-2.1
22-Jun-86	6.4	8.4	-2
14-Sep-86	9.2	10.2	-1
20-Oct-86	10.2	11.4	-1.2
22-Oct-86	28.5	30.1	-1.6
15-Déc-86	14.4	15.5	-1.1
22-Déc-86	8	9.2	-1.2
25-Déc-86	18.6	19.8	-1.2
01-Jan-87	13.1	14.1	-1
06-Fév-87	12.6	16.4	-3.8
11-Fév-87	2.4	1.4	1
15-Fév-87	4.4	6.3	-1.9
18-Fév-87	0.2	1.6	-1.4
17-Mar-87	8.1	5.5	2.6
18-Mar-87	6.7	10.2	-3.5
21-Mar-87	4.1	5.9	-1.8
23-Mar-87	18.9	20.5	-1.6
24-Mar-87	2.9	4.9	-2
25-Mar-87	0	1.2	-1.2
27-Mar-87	0	8	-8
28-Mar-87	2.7	7.9	-5.2
12-Mai-87	12.1	13.6	-1.5
14-Mai-87	8.2	9.2	-1
27-Mai-87	2.9	4	-1.1
07-Jun-87	23	30.4	-7.4
08-Jun-87	11.2	4	7.2
15-Jun-87	5.4	6.5	-1.1
17-Jun-87	11.8	13.5	-1.7
19-Jun-87	23.6	25.8	-2.2

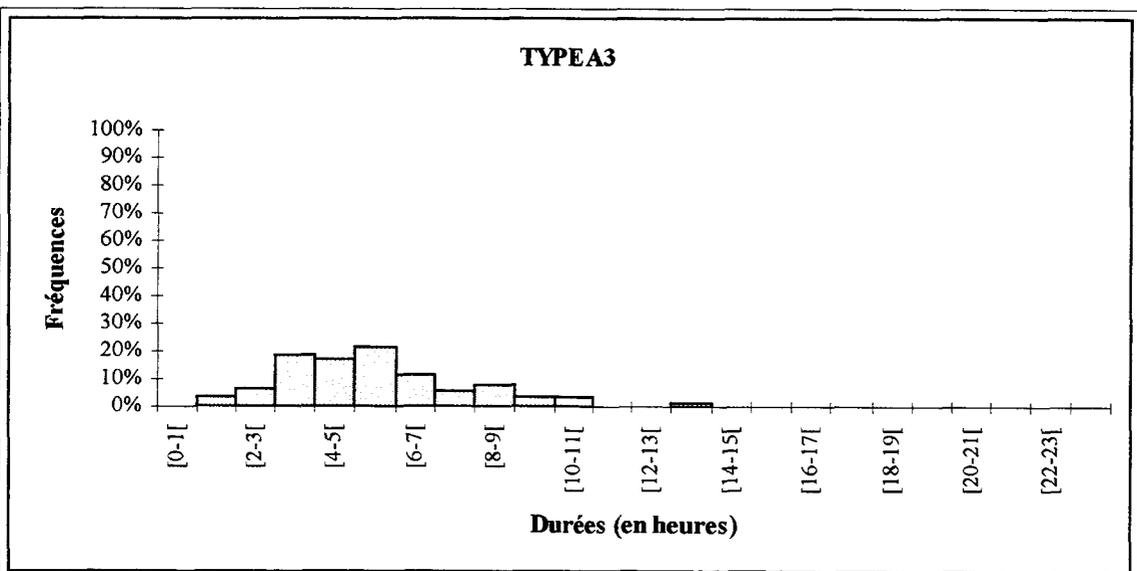
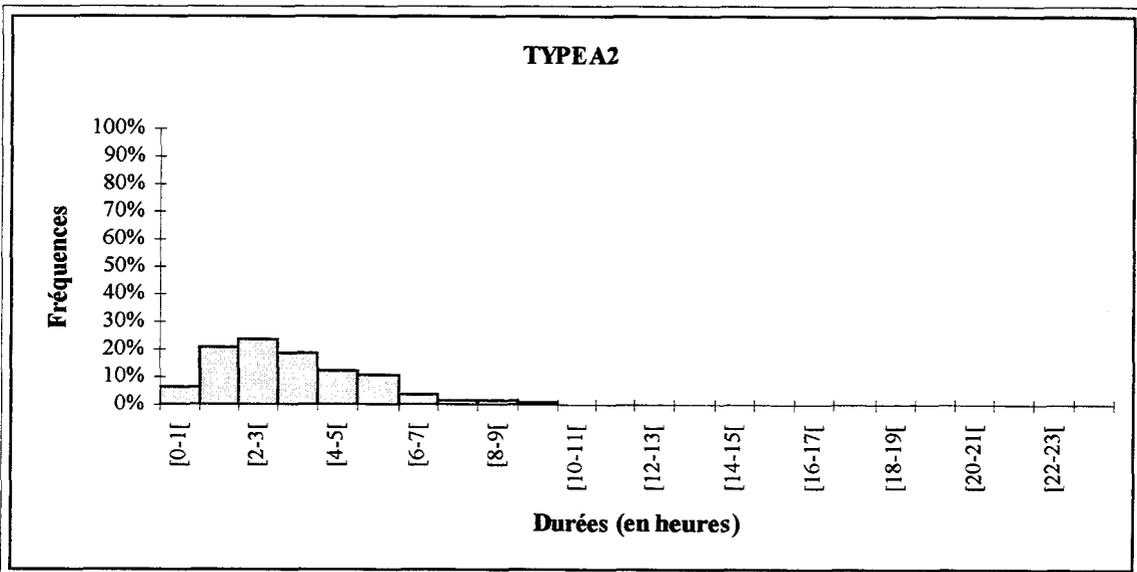
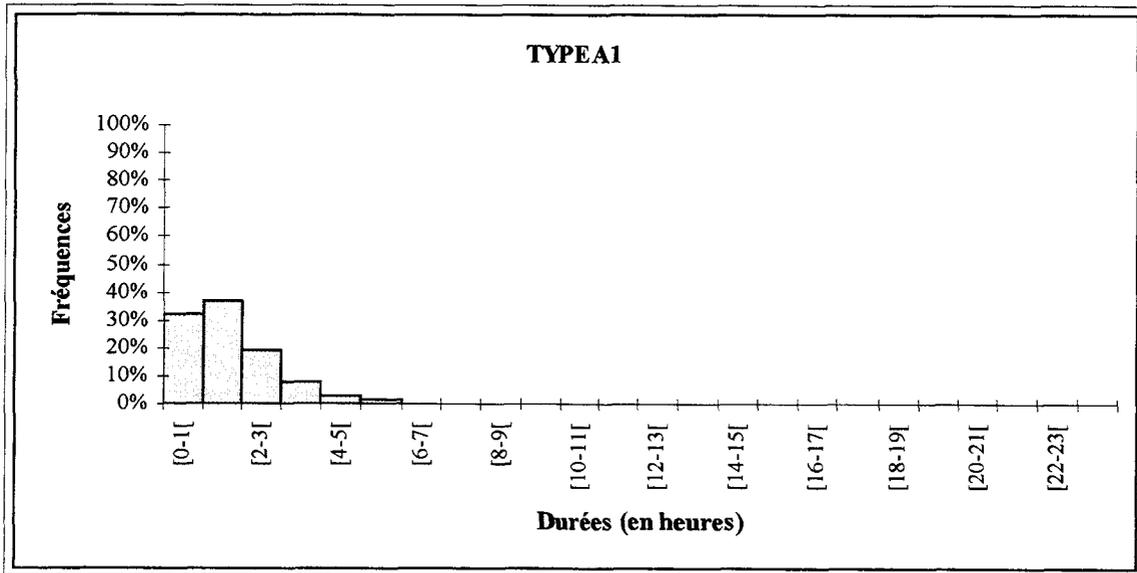
ANNEXES

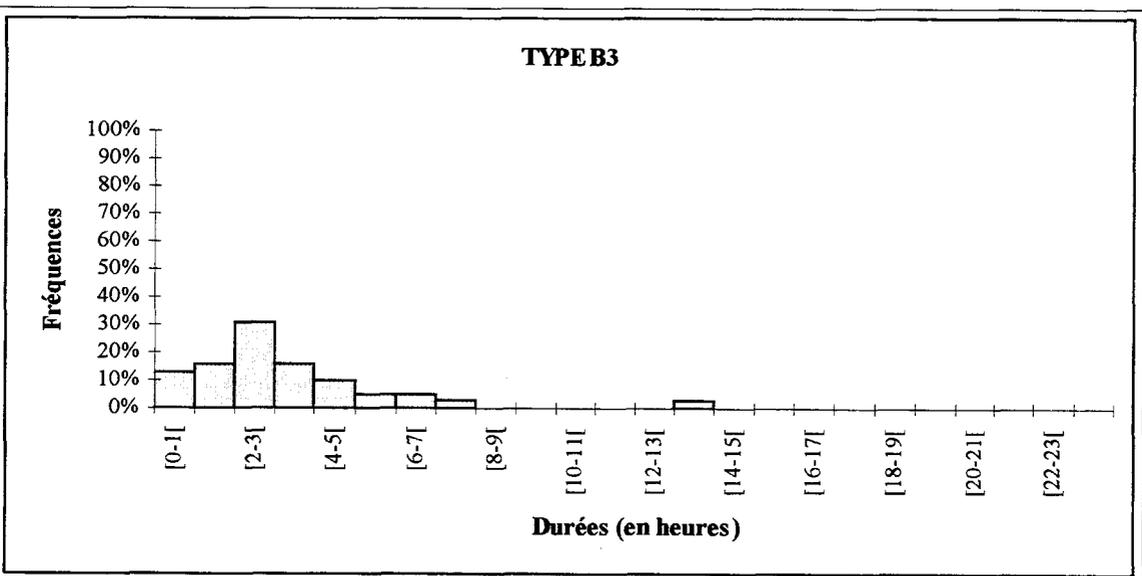
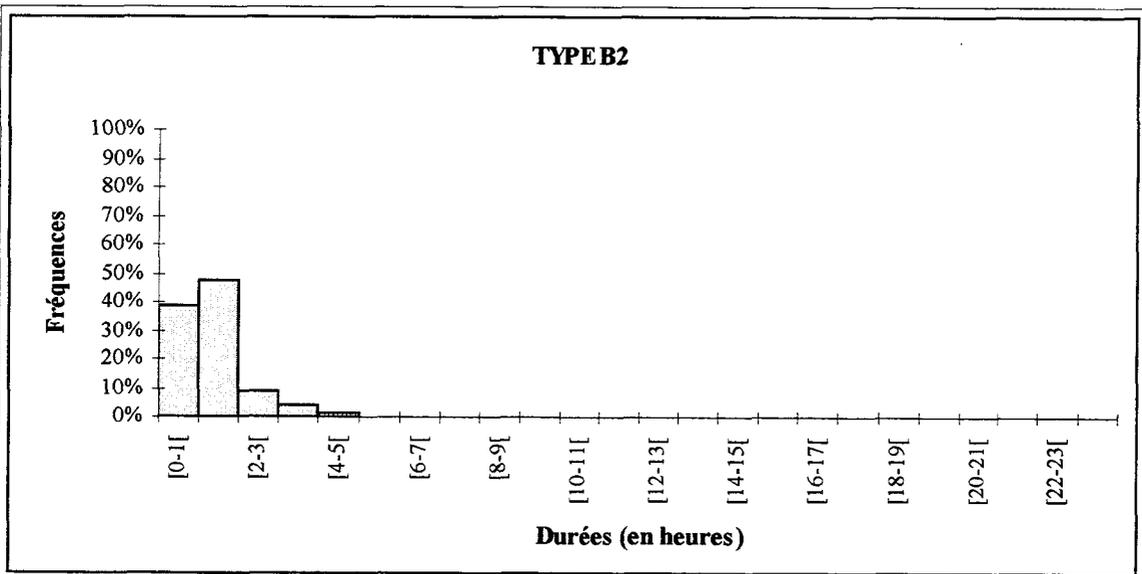
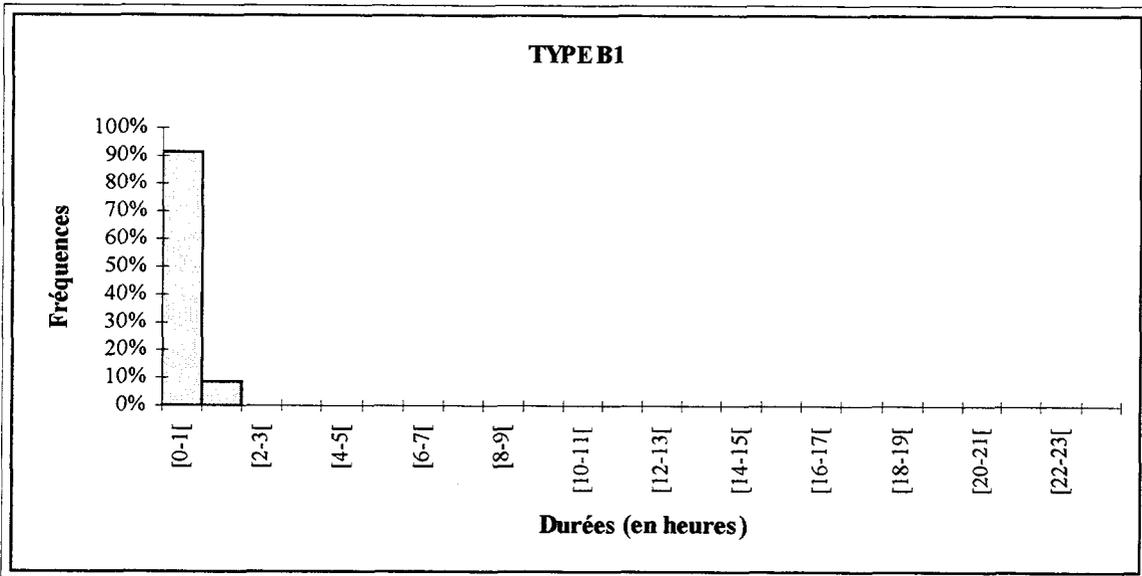
Date	Cumul journalier des valeurs homogénéisées	Cumul journalier du T.C.M.	Ecart
22-Jun-87	5.5	6.6	-1.1
17-Jul-87	28.2	33.8	-5.6
20-Jul-87	12.4	15.1	-2.7
27-Jul-87	11	13.4	-2.4
29-Jul-87	12.8	16.7	-3.9
09-Août-87	1.2	2.2	-1
22-Août-87	2.7	3.7	-1
25-Août-87	13.6	15.6	-2
13-Sep-87	0	5	-5
24-Sep-87	0	7.4	-7.4
26-Sep-87	0	2.1	-2.1
06-Oct-87	1.8	7.6	-5.8
07-Oct-87	20.8	22.8	-2
08-Oct-87	3.7	5.7	-2
28-Oct-87	2.8	5.1	-2.3
11-Nov-87	3.6	11.7	-8.1
12-Nov-87	4.5	12.8	-8.3
13-Nov-87	3.8	8.5	-4.7
25-Nov-87	7	9.2	-2.2
26-Nov-87	2	3.6	-1.6
25-Déc-87	1.3	2.8	-1.5
01-Jan-88	7.3	8.6	-1.3
20-Jan-88	3.6	4.6	-1
13-Mar-88	8.6	6.6	2
29-Nov-88	13.6	15.4	-1.8
07-Mar-89	22	26.3	-4.3
14-Mar-89	1.2	2.2	-1
05-Avr-89	12.2	19.4	-7.2
16-Avr-89	1.2	2.4	-1.2
21-Avr-89	1.2	4.2	-3
27-Avr-89	0	3	-3
08-Jun-89	0.6	2.8	-2.2
21-Jun-89	11	12.4	-1.4
12-Sep-89	9	16.8	-7.8
13-Sep-89	7.8	8.8	-1
14-Sep-89	11	14.4	-3.4
15-Sep-89	5.4	8	-2.6
27-Sep-89	6.2	10.4	-4.2
29-Sep-89	0	2.4	-2.4
28-Oct-89	5.6	7.2	-1.6
29-Oct-89	20.2	23.6	-3.4
08-Nov-89	0	5.2	-5.2
13-Déc-89	13.6	21.2	-7.6
15-Déc-89	24.4	26.8	-2.4

ANNEXES

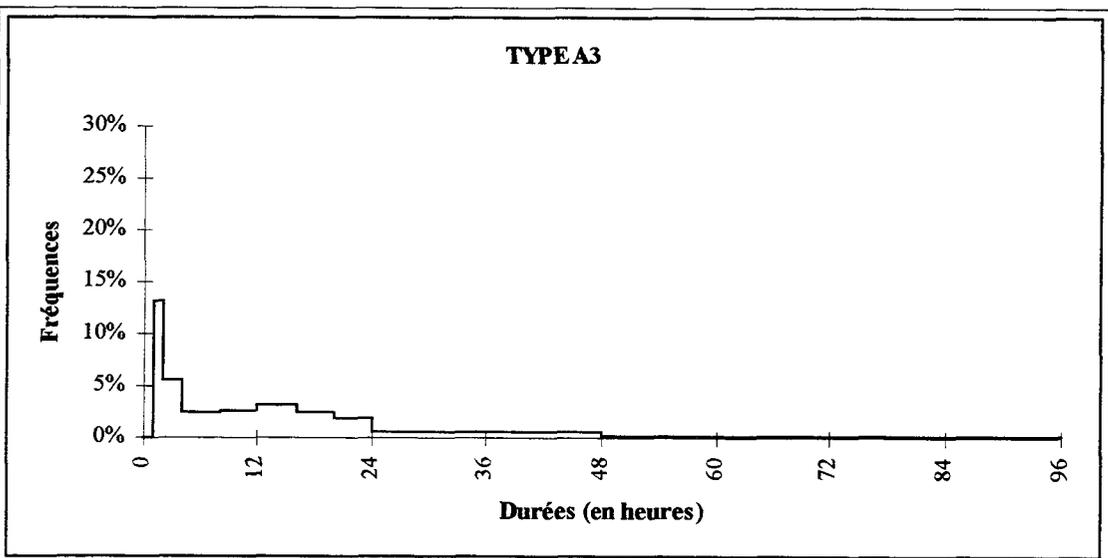
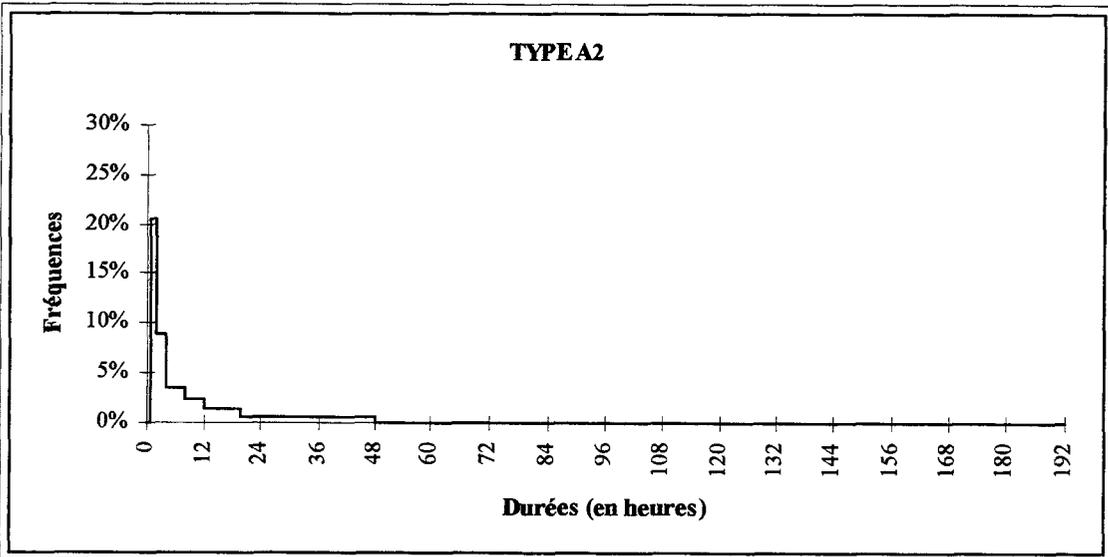
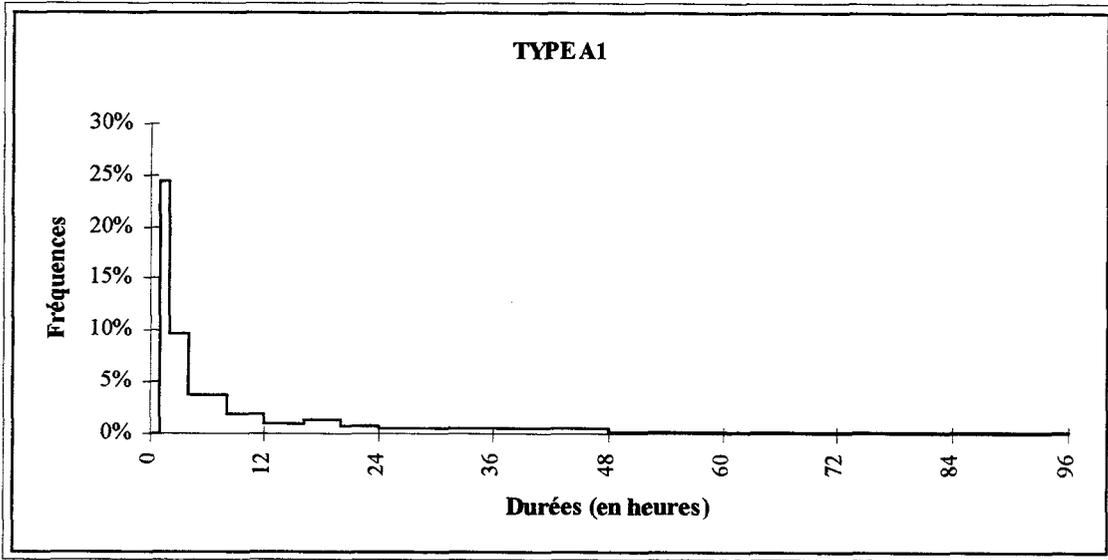
Date	Cumul journalier des valeurs homogénéisées	Cumul journalier du T.C.M.	Ecart
19-Déc-89	3.8	8.6	-4.8
25-Jan-90	6.4	10.4	-4
11-Fév-90	4.6	5.6	-1
14-Fév-90	6.4	17	-10.6
25-Fév-90	1	5.8	-4.8
28-Fév-90	2.2	13.4	-11.2
23-Mar-90	1	0	1
01-Jun-90	13	14.8	-1.8
18-Jun-90	0	1.2	-1.2
19-Jun-90	1.8	10	-8.2
17-Sep-90	1	2.8	-1.8
23-Sep-90	6.2	12.4	-6.2
19-Nov-90	16	19	-3
29-Nov-90	1.4	3.2	-1.8
09-Déc-90	2.6	4.6	-2
10-Déc-90	3	7	-4
21-Déc-90	3.8	6.2	-2.4
07-Fév-91	0	1.8	-1.8
08-Fév-91	0	3.4	-3.4
10-Fév-91	2.8	4	-1.2
11-Fév-91	0.6	2.1	-1.5
12-Fév-91	0.2	1.4	-1.2
15-Fév-91	2.8	5.2	-2.4
18-Fév-91	1.2	0	1.2
22-Fév-91	1.4	0	1.4
16-Mar-91	0	1	-1
17-Mar-91	0	3	-3
21-Avr-91	7.2	8.8	-1.6
30-Avr-91	15.4	16.6	-1.2
06-Jul-91	0.4	25	-24.6
19-Oct-91	18	20.6	-2.6
30-Oct-91	3.8	6.2	-2.4
05-Nov-91	17.2	19	-1.8

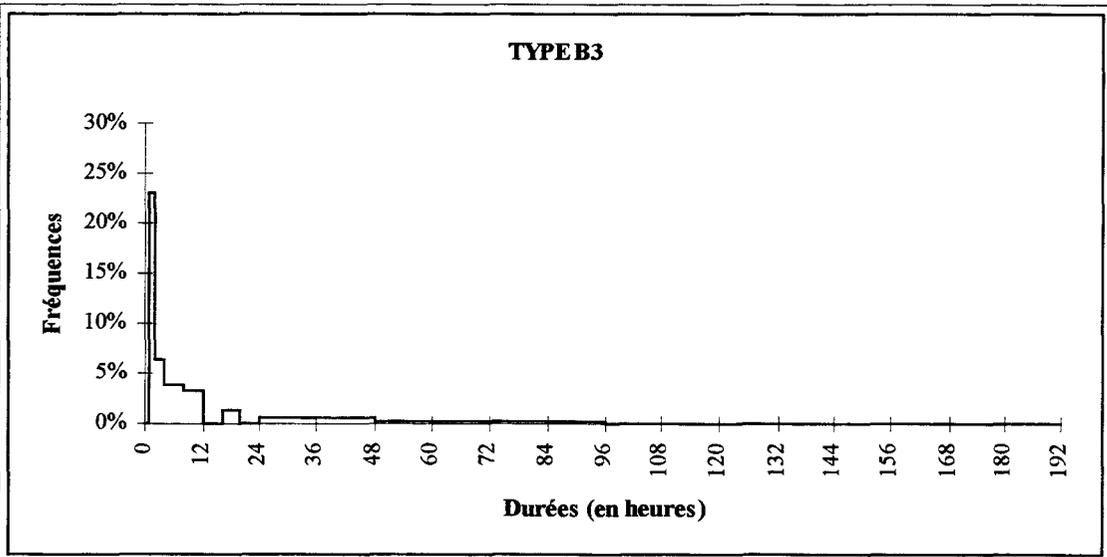
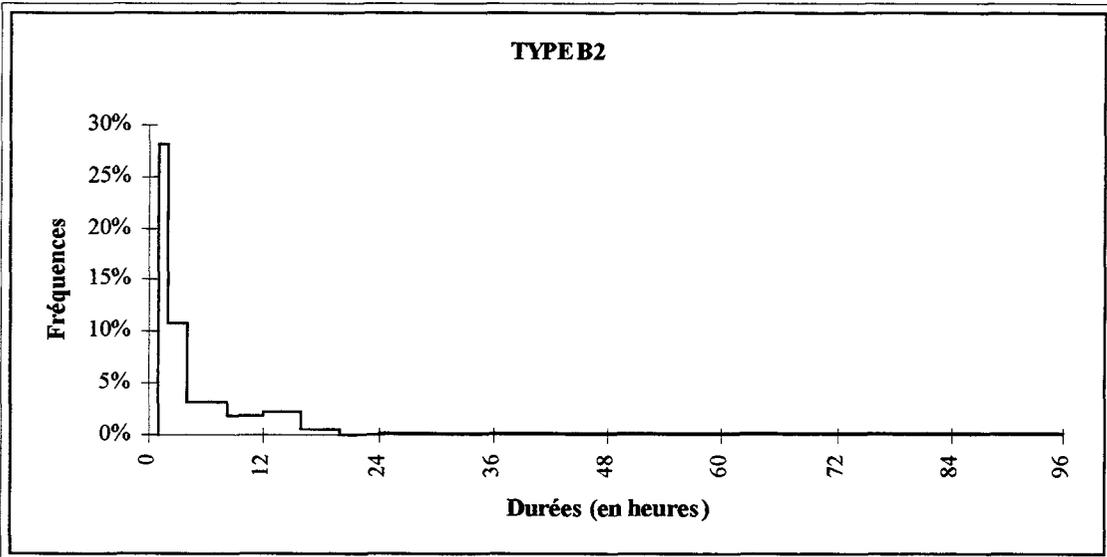
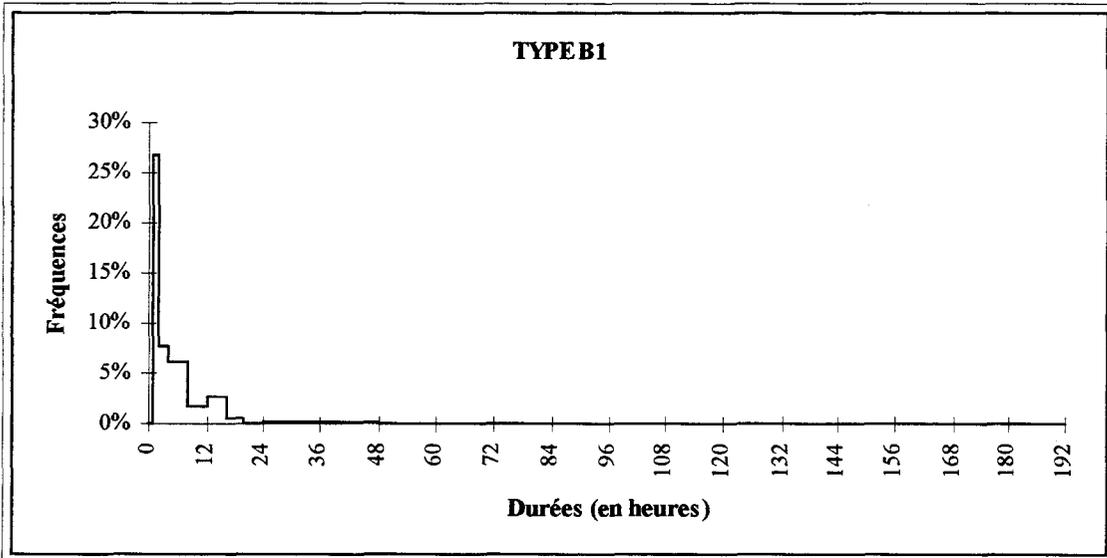
Annexe n°3 : Distribution des séquences selon la durée pour les pluies courantes.





Annexe n°4 : Distribution des séquences selon la durée de temps sec pour les pluies courantes.





Annexe n°5 : Intensités maximales classées par ordre décroissant pour différents pas de temps.

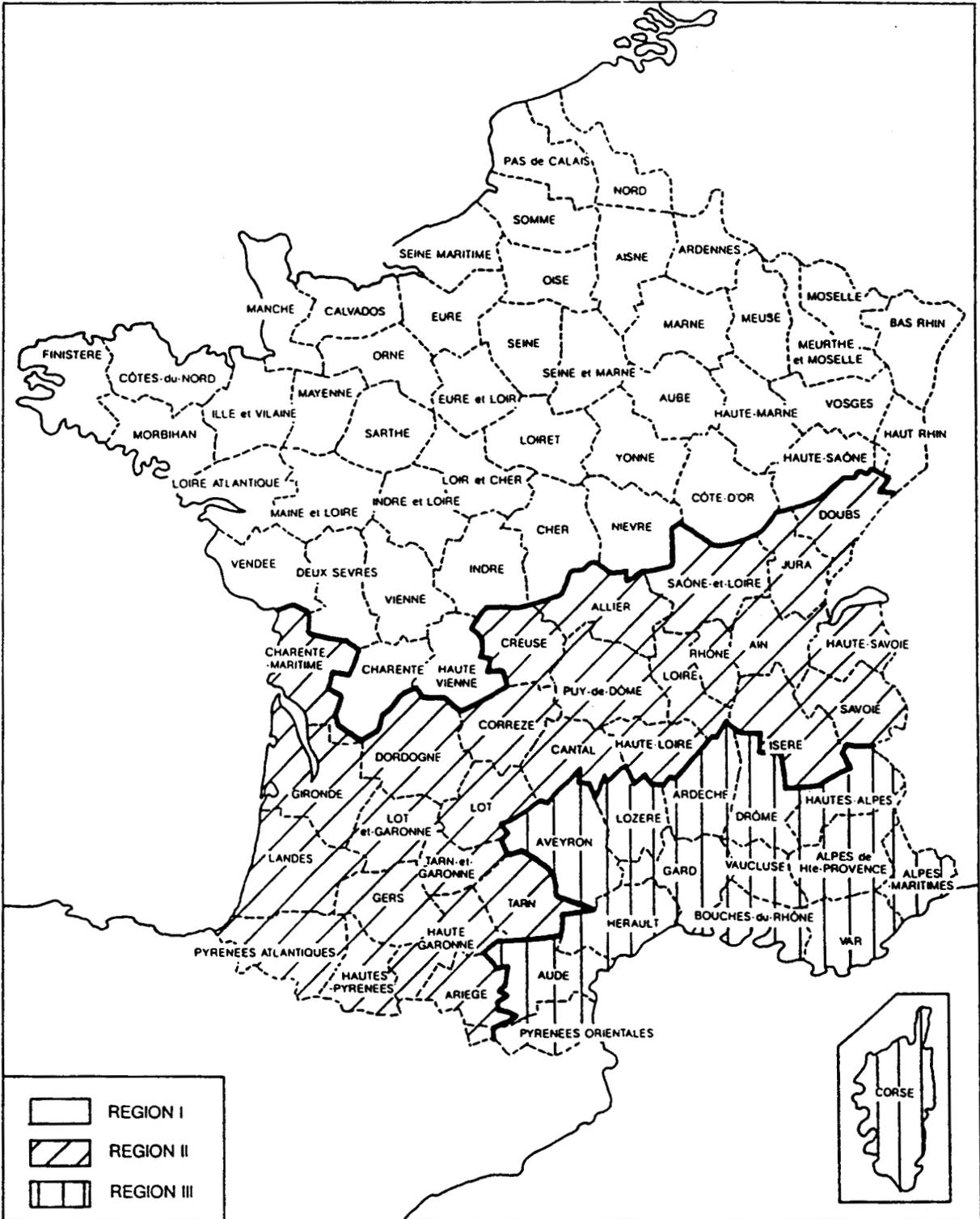
6 minutes			12 minutes			18 minutes			24 minutes		
Date	Imax	Durée	Hauteur	Date	Imax	Durée	Hauteur	Date	Imax	Durée	Hauteur
07/07/91	100.00	60	37.8	25/08/90	58.00	48	22.2	25/08/90	47.33	48	22.2
25/08/90	62.00	24	12.6	25/08/90	50.00	24	12.6	06/06/82	41.33	54	17.4
25/08/90	62.00	48	22.2	26/07/83	49.00	132	17.2	25/08/90	40.67	24	12.6
26/07/83	59.00	132	17.2	06/06/82	41.50	54	17.4	26/07/83	39.67	132	17.2
23/08/83	48.00	96	11.7	11/07/84	39.00	54	12	11/07/84	32.00	54	12
07/07/89	46.00	72	13.8	23/08/83	38.00	96	11.7	18/08/82	28.33	84	11.8
25/05/88	44.00	36	8.8	24/08/87	36.00	570	36.1	23/08/83	27.67	96	11.7
06/06/82	42.00	54	17.4	18/08/82	31.00	84	11.8	24/08/87	27.33	570	36.1
03/07/82	41.00	30	5.9	31/08/88	31.00	24	6.6	25/05/88	26.67	36	8.8
24/08/87	40.00	570	36.1	20/04/83	29.50	126	10.6	07/07/89	25.33	72	13.8

30 minutes			36 minutes			42 minutes			48 minutes		
Date	Imax	Durée	Hauteur	Date	Imax	Durée	Hauteur	Date	Imax	Durée	Hauteur
25/08/90	35.20	48	22.2	25/08/90	33.33	48	22.2	25/08/90	31.43	48	22.2
06/06/82	34.20	54	17.4	06/06/82	28.67	54	17.4	06/06/82	24.57	54	17.4
26/07/83	24.60	132	17.2	26/07/83	22.33	132	17.2	26/07/83	21.14	132	17.2
11/07/84	23.20	54	12	11/07/84	19.50	54	12	07/07/89	17.43	72	13.8
19/05/82	19.80	42	10.4	18/08/82	17.33	84	11.8	11/07/84	16.86	54	12
18/08/82	19.80	84	11.8	23/08/83	17.33	96	11.7	23/08/83	15.57	96	11.7
23/08/83	19.60	96	11.7	07/07/89	17.33	72	13.8	18/08/82	15.43	84	11.8
24/08/87	19.00	570	36.1	19/05/82	17.17	42	10.4	24/08/87	15.43	570	36.1
20/04/83	17.40	126	10.6	24/08/87	17.00	570	36.1	19/05/82	14.86	42	10.4
25/05/88	17.20	36	8.8	20/04/83	15.83	126	10.6	20/04/83	13.86	126	10.6
								12/05/85	12.50	186	14.3

54 minutes				60 minutes				90 minutes				120 minutes			
Date	Imax	Durée	Hauteur	Date	Imax	Durée	Hauteur	Date	Imax	Durée	Hauteur	Date	Imax	Durée	Hauteur
06/06/82	19.33	54	17.4	26/07/83	14.80	132	17.2	24/08/87	11.27	570	36.1	24/08/87	9.80	570	36.1
26/07/83	16.44	132	17.2	07/07/89	13.20	72	13.8	26/07/83	9.87	132	17.2	26/07/83	8.00	132	17.2
07/07/89	14.67	72	13.8	24/08/87	12.40	570	36.1	12/05/85	8.47	186	14.3	12/05/85	6.90	186	14.3
11/07/84	13.33	54	12	18/08/82	11.40	84	11.8	23/07/88	8.00	216	19.2	12/11/91	6.60	180	15.4
24/08/87	13.22	570	36.1	23/08/83	11.30	96	11.7	23/08/83	7.73	96	11.7	23/07/88	6.50	216	19.2
18/08/82	12.56	84	11.8	12/05/85	11.10	186	14.3	27/06/89	7.73	180	13.8	27/06/89	6.10	180	13.8
23/08/83	12.44	96	11.7	20/04/83	10.40	126	10.6	12/11/91	7.73	180	15.4	17/05/82	6.05	360	15.2
12/05/85	11.78	186	14.3	27/06/89	10.40	180	13.8	20/08/88	7.47	204	12.8	20/08/88	6.00	204	12.8
20/04/83	11.33	126	10.6	23/06/83	9.80	132	10.8	30/09/91	7.33	228	12.8	30/09/91	5.70	228	12.8
27/06/89	11.11	180	13.8	12/11/91	9.60	180	15.4	23/06/83	7.07	132	10.8	17/09/84	5.45	282	15.5

180 minutes				240 minutes				360 minutes				720 minutes			
Date	Imax	Durée	Hauteur	Date	Imax	Durée	Hauteur	Date	Imax	Durée	Hauteur	Date	Imax	Durée	Hauteur
24/08/87	7.87	570	36.1	24/08/87	6.48	570	36.1	24/08/87	5.15	570	36.1	21/05/84	1.83	750	22.3
23/07/88	5.93	216	19.2	15/09/86	4.38	624	25.4	19/06/91	3.53	702	26	29/04/91	1.78	1200	29.6
12/11/91	5.13	180	15.4	19/06/91	4.15	702	26	15/09/86	3.38	624	25.4	19/05/84	1.53	1098	19.6
15/09/86	5.00	624	25.4	19/11/91	3.90	606	23.2	28/10/90	3.30	504	23.8	22/10/82	1.44	1056	22.4
17/05/82	4.93	360	15.2	17/05/82	3.75	360	15.2	23/01/90	3.20	582	23.8	21/10/86	1.33	792	17.8
12/05/85	4.73	186	14.3	28/10/90	3.75	504	23.8	19/11/91	3.17	606	23.2	08/12/83	1.20	1188	17
27/06/89	4.60	180	13.8	17/09/84	3.70	282	15.5	05/12/82	2.83	606	20.4	10/01/88	0.92	1092	14.6
19/06/91	4.60	702	26	07/10/85	3.33	510	18.8	07/10/85	2.68	510	18.8	29/05/84	0.90	900	11.1
14/09/88	4.40	192	10.6	24/09/84	3.28	444	18.6	24/09/84	2.65	444	18.6	28/05/83	0.72	816	9.3
17/09/84	4.30	282	15.5	05/12/82	3.23	606	20.4	29/12/90	2.63	540	19	03/03/82	0.69	810	8.6

Annexe n°6 : Instruction technique 1977.



Délimitation des zones de pluviométrie homogène.

Annexe n°7 : Présentation du pluviomètre français SPIEA modifié MN et du pluviomètre belge IRM P50.

SPIEA

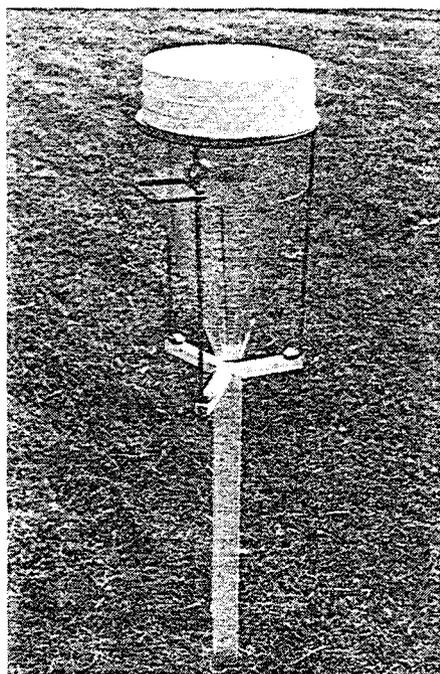
DORIZE L. - 1989 - *Les précipitations : de la réalité à la mesure* - Physio-Géo n°19.

VITRON P. - 1990 - *Mesures de la pluie* - La Météorologie, n°33.

Le pluviomètre SPIEA modifié Météorologie Nationale est composé d'un collecteur de 400 cm² de surface, entouré d'une bague à bords tranchants solidaire d'un entonnoir conique de pente suffisante pour limiter les rejaillissements. L'eau collectée s'écoule dans une éprouvette maintenue verticalement par une entretoise sous le cône. Cette éprouvette est graduée au 1/20 de mm entre 0.05 et 8 mm, et lorsque la précipitation excède 8 mm, celle-ci s'accumule dans le réceptacle d'une contenance utile de 4 litres. Le cône de réception, l'éprouvette et le seau collecteur sont en plastique. La surface de réception est située à 1 m du sol, le cône de réception et le seau collecteur étant fixé sur un pied métallique.

Le relevé s'effectue une à deux fois par 24 heures selon les stations, la mesure effectuée est une hauteur de précipitation sous forme liquide depuis l'observation précédente, ou une hauteur d'eau équivalente pour la neige et la grêle après fusion.

Pluviomètre
SPIEA modifié
MN (photo MN
n° 7962)



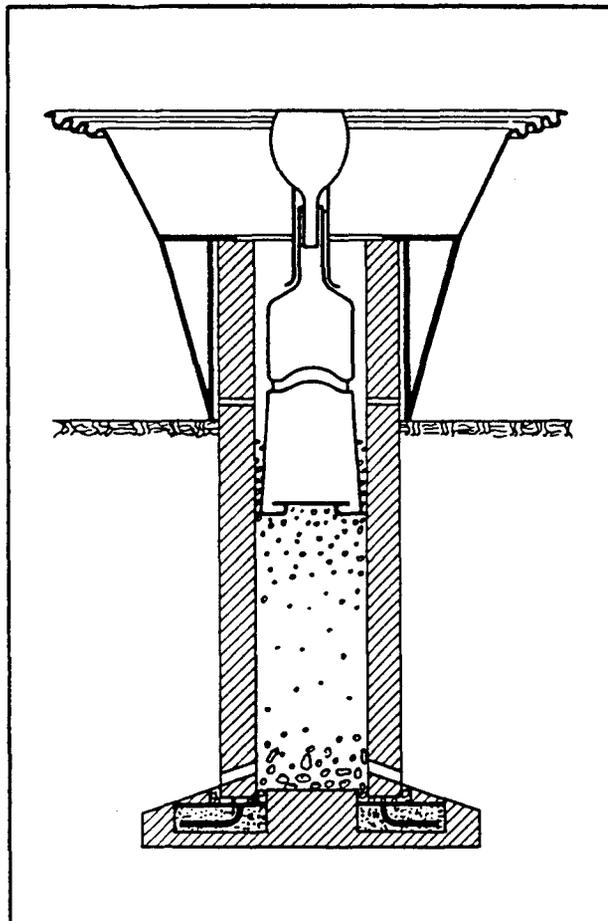
IRM P50

DUFOUR L. et PONCELET L. - 1954 - *Observations et instruments météorologiques* - Institut Royal Météorologique de Belgique.

Le pluviomètre IRM P50 est composé d'un entonnoir (situé à 50 cm du sol) en laiton chromé embouti dont l'ouverture circulaire présente une surface de 100 cm², surmontant une bouteille spéciale dont la contenance est de 2 litres. Cet ensemble constituant le pluviomètre proprement dit est placé sur un support tripode fixé de façon stable dans un tube de béton protecteur. Ce tube est fixé sur une embase carrée en béton enfouie dans le sol, de façon à assurer une grande stabilité à l'ensemble. Le pluviomètre est entouré d'un cône de protection (cône de Nipher) destiné à rabattre le vent au voisinage immédiat de l'entonnoir et à assurer l'horizontalité de l'écoulement de l'air au-dessus de l'ouverture du pluviomètre.

Les observateurs disposent de deux bouteilles : pendant que l'une est en place sous l'entonnoir, l'autre est mise à sécher sur un piquet et remplacera la bouteille en place au moment du relevé.

La mesure de l'eau recueillie dans la bouteille se fait à l'aide d'une éprouvette de 100 cm³ graduée en cm³ : en divisant par 10 le nombre de cm³ d'eau recueillie, on obtient la cote pluviométrique exprimée en mm (un millimètre correspond à un litre par m²).



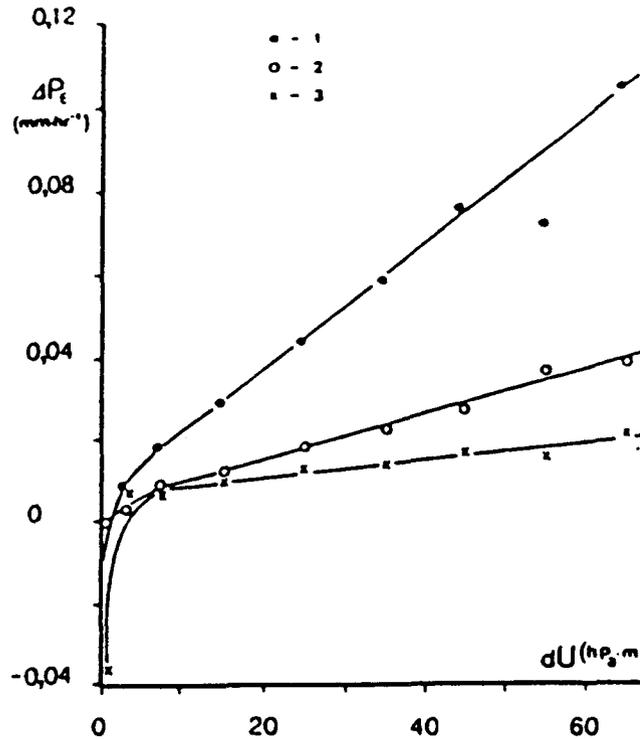
Coupe schématique de l'installation pluviométrique.

Ce pluviomètre est associé à des nivomètres, c'est-à-dire deux tubes en laiton chromé embouti d'une hauteur égale à celle du pluviomètre complet (entonnoir + bouteille), d'ouverture identique, destinés à recueillir les précipitations solides (grêle, grésil, neige). L'installation comporte deux tubes, l'un étant en service, doit au moment de la mesure, être remplacé par le second tenu en réserve, de façon à permettre à l'observateur de faire fondre ces précipitations solides. La mesure se fait à l'aide de la même éprouvette.

En été, le nivomètre sert d'instrument de secours pour les cas où l'utilisation du pluviomètre est impossible (grêle forte, bouteille cassée, entonnoir obstrué...). En hiver, par temps de gelée et de neige, le nivomètre remplace le pluviomètre mis hors-service dans le tube de béton muni du cône de Nipher.

Annexe n°8 : Intensité de l'évaporation de différents modèles de pluviomètres.

L'intensité de l'évaporation pour le pluviomètre belge IRM P50 suit la Courbe 2 (d'après SEVRUK B., 1989)



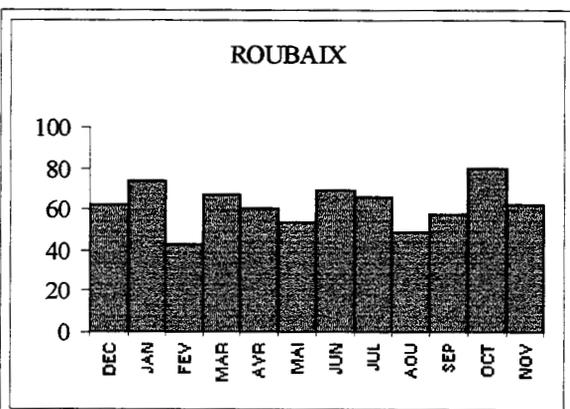
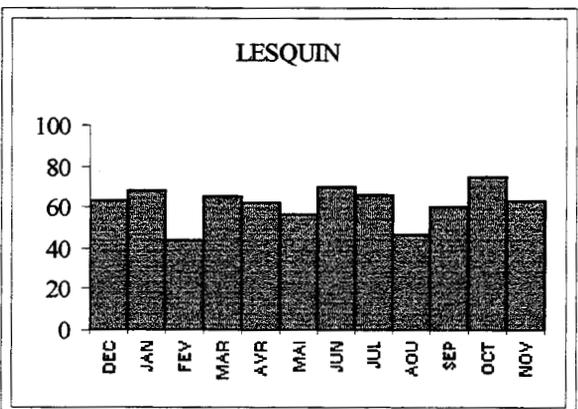
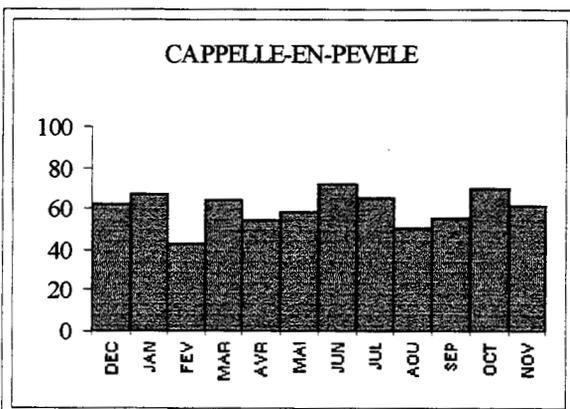
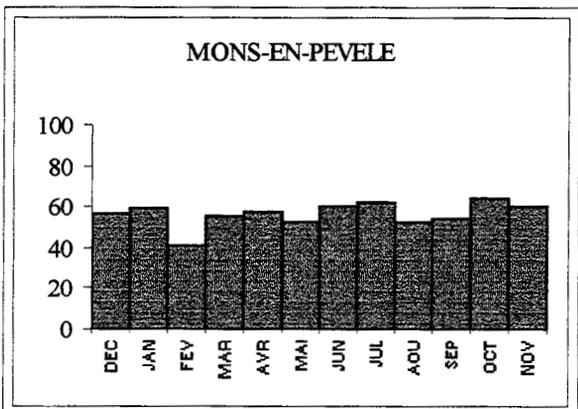
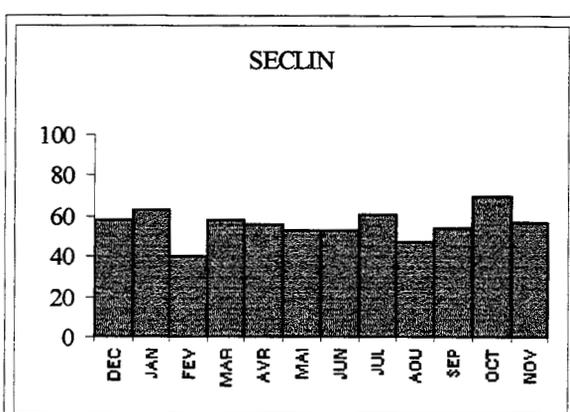
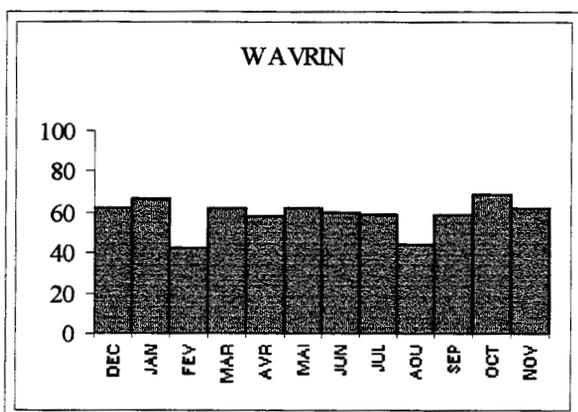
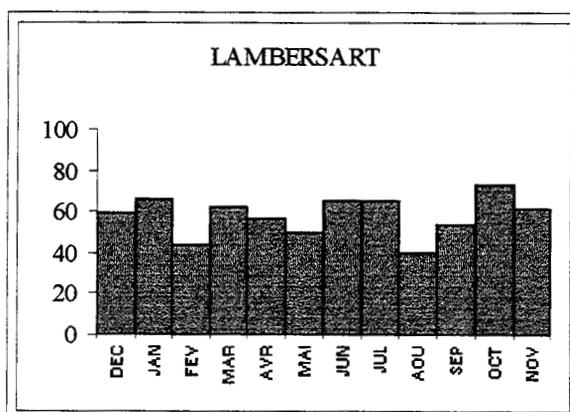
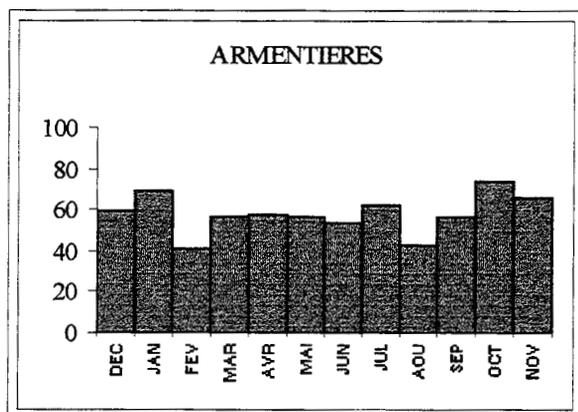
Intensity of evaporation, ΔP_e , from the precipitation gauge container as a function of the product of the saturation deficit and wind speed, dU , for various gauges, according to Golubev (1986). 1 Tretjakov gauge with removable tunnel, 2 Hellmann gauge with fixed funnel and removable container, 3 Nipher compact gauge with fixed funnel and container.

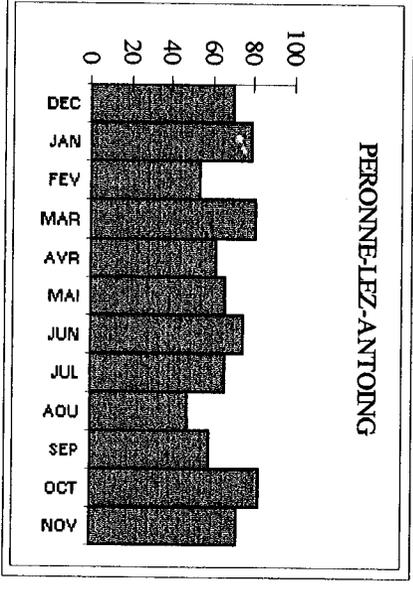
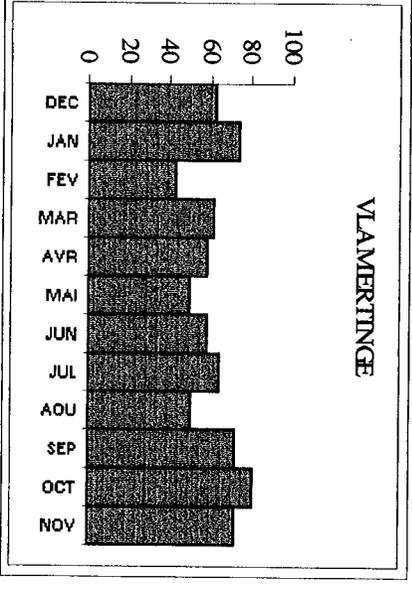
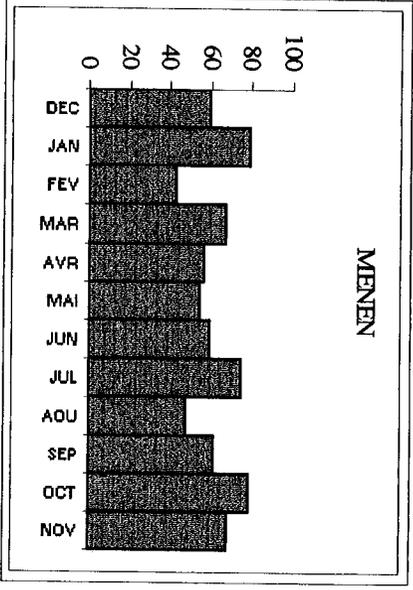
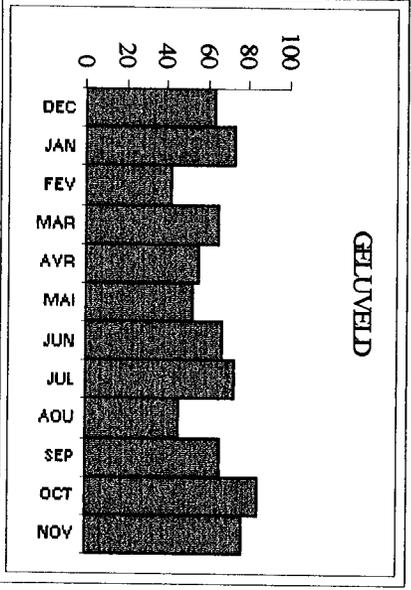
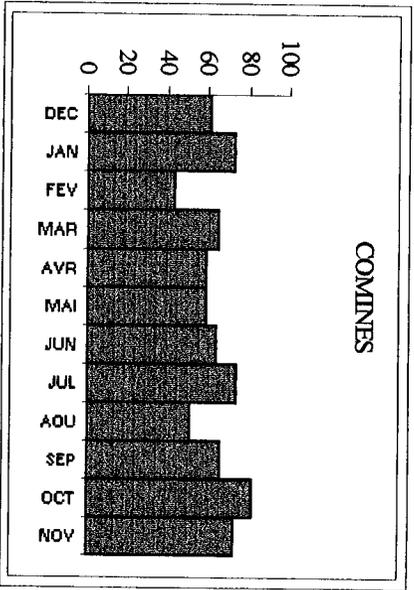
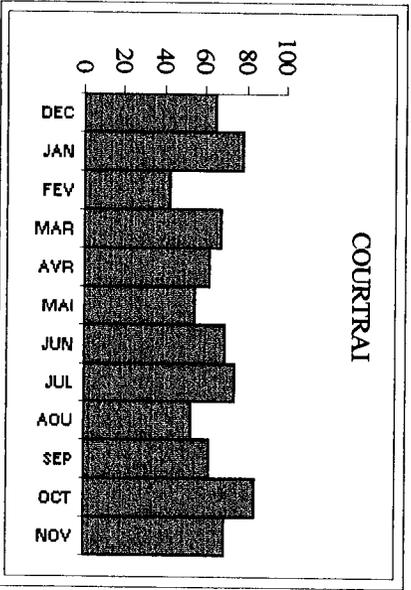
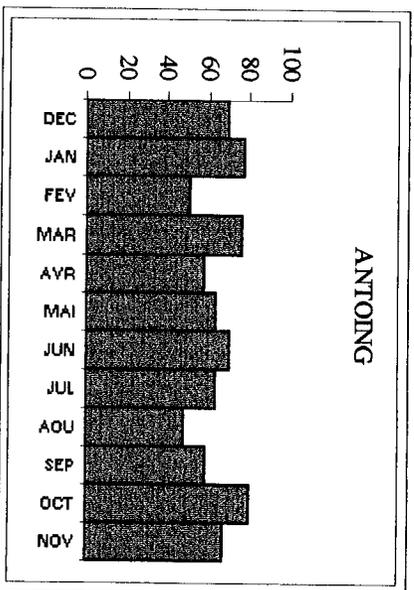
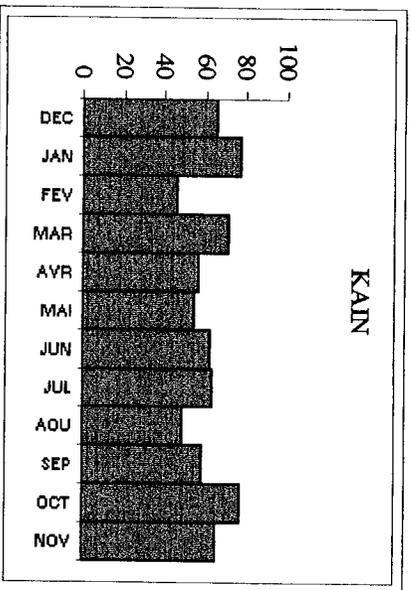
ANNEXES

Annexe n°9 : Valeurs du test du double-cumul, période 1982-1991 (en mm).

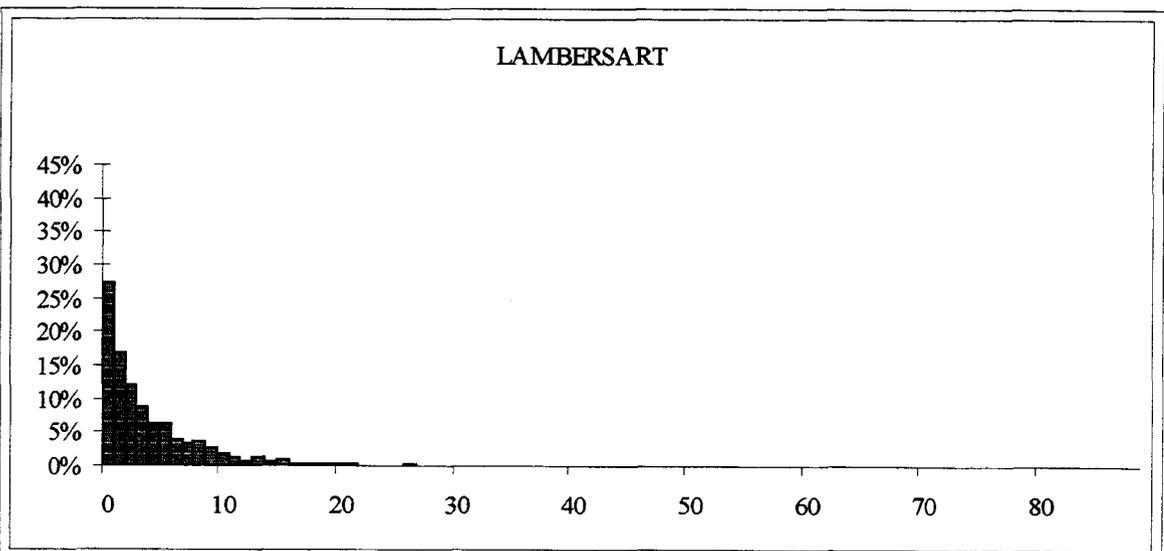
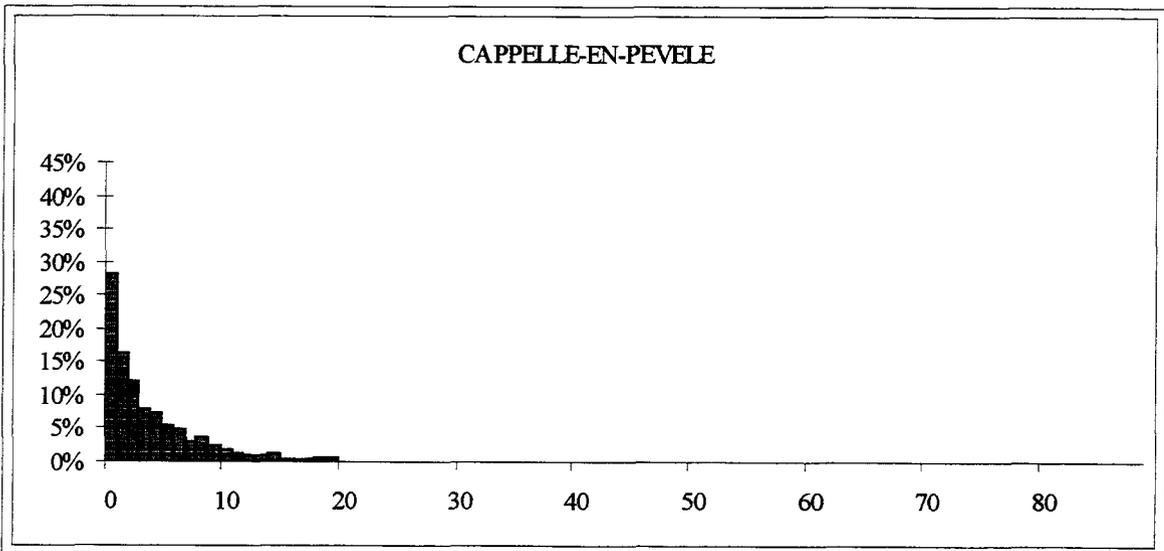
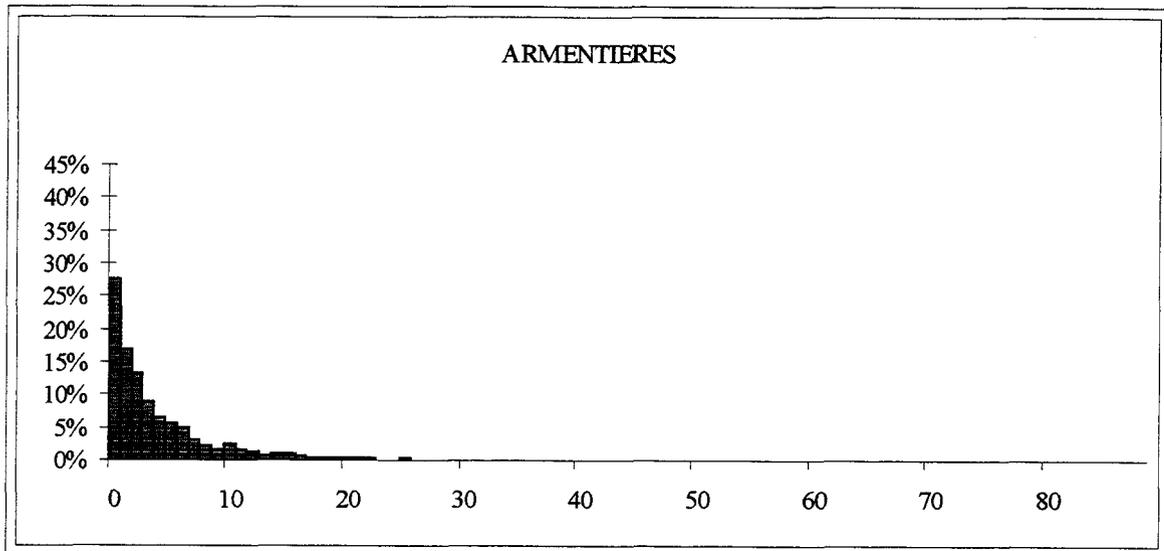
ARM	MOY	CAP	MOY	LAM	MOY	LES	MOY	MON	MOY	ROU	MOY	SEC	MOY	WAV	MOY
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
698	721	717	720	729	719	736	718	654	724	718	720	713	720	839	711
1324	1377	1405	1372	1281	1380	1384	1373	1275	1380	1414	1371	1268	1381	1461	1368
2174	2213	2201	2211	2088	2219	2215	2210	1991	2225	2236	2209	2051	2221	2292	2205
2801	2875	2879	2870	2735	2880	2859	2871	2586	2889	2884	2870	2683	2883	2953	2865
3530	3673	3689	3662	3513	3674	3638	3665	3304	3688	3675	3663	3396	3682	3717	3660
4283	4496	4477	4483	4311	4494	4464	4484	4021	4513	4517	4480	4139	4506	4494	4482
5008	5299	5210	5286	5050	5296	5200	5286	4715	5319	5342	5277	4846	5310	5192	5287
5628	5936	5835	5922	5660	5934	5869	5920	5307	5957	6009	5910	5394	5951	5744	5928
6255	6616	6506	6600	6247	6617	6594	6594	6048	6630	6671	6589	6029	6632	6391	6607
6938	7385	7215	7366	6936	7385	7388	7355	6741	7398	7410	7353	6678	7402	7041	7378
ANT	MOY	COM	MOY	COU	MOY	GEL	MOY	KAIN	MOY	MEN	MOY	PER	MOY	VLA	MOY
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
733	719	703	720	683	722	791	715	688	722	667	723	764	716	680	722
1404	1372	1403	1372	1410	1371	1457	1368	1287	1380	1374	1374	1444	1369	1392	1373
2284	2206	2283	2206	2289	2206	2309	2204	2115	2217	2250	2208	2332	2203	2261	2207
3004	2862	2955	2865	2974	2864	2931	2866	2798	2875	2906	2868	3076	2857	2904	2868
3881	3649	3735	3659	3879	3649	3702	3661	3661	3664	3732	3659	3957	3644	3612	3667
4777	4463	4583	4476	4771	4464	4572	4477	4536	4479	4522	4480	4817	4460	4440	4486
5629	5258	5560	5262	5625	5258	5425	5271	5361	5276	5391	5274	5666	5255	5275	5281
6309	5890	6147	5901	6322	5889	6062	5907	6061	5907	6025	5909	6358	5887	5932	5915
6948	6570	6825	6578	7019	6565	6795	6580	6699	6587	6666	6589	7173	6555	6637	6591
7764	7330	7670	7336	7838	7325	7627	7339	7424	7352	7483	7348	8095	7308	7463	7350

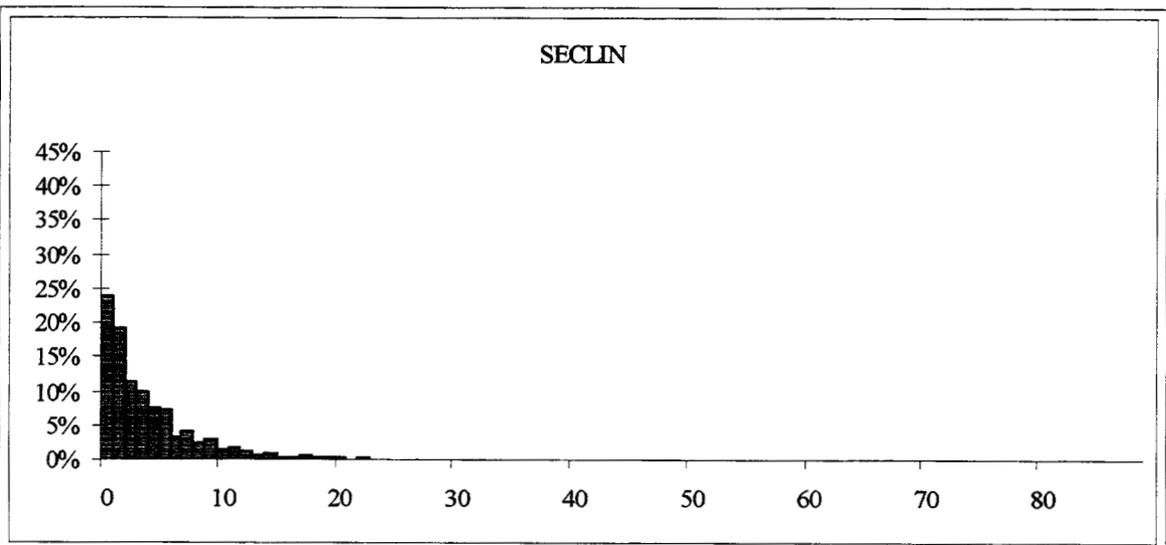
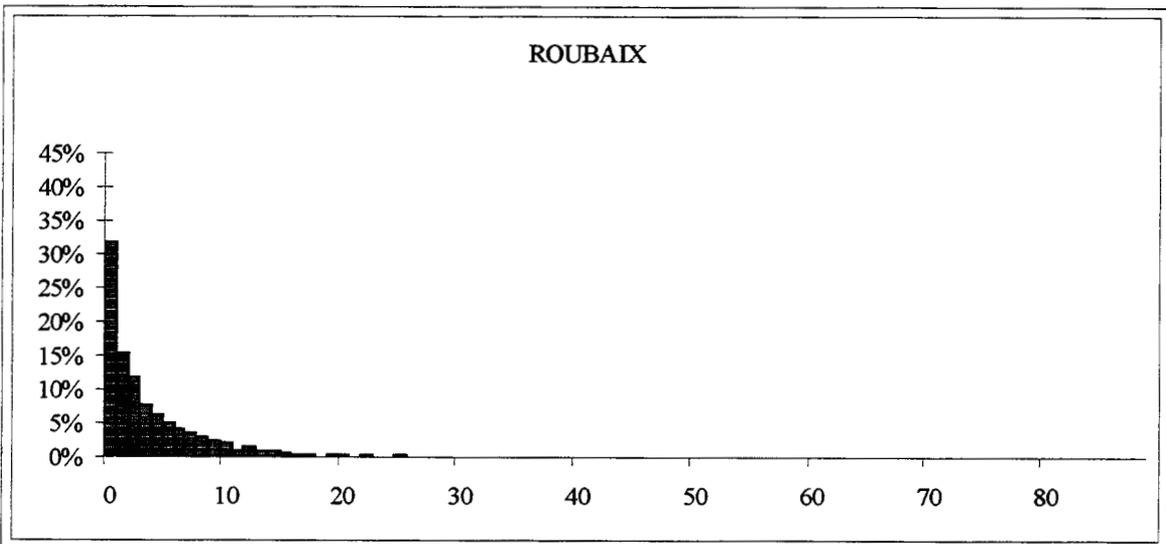
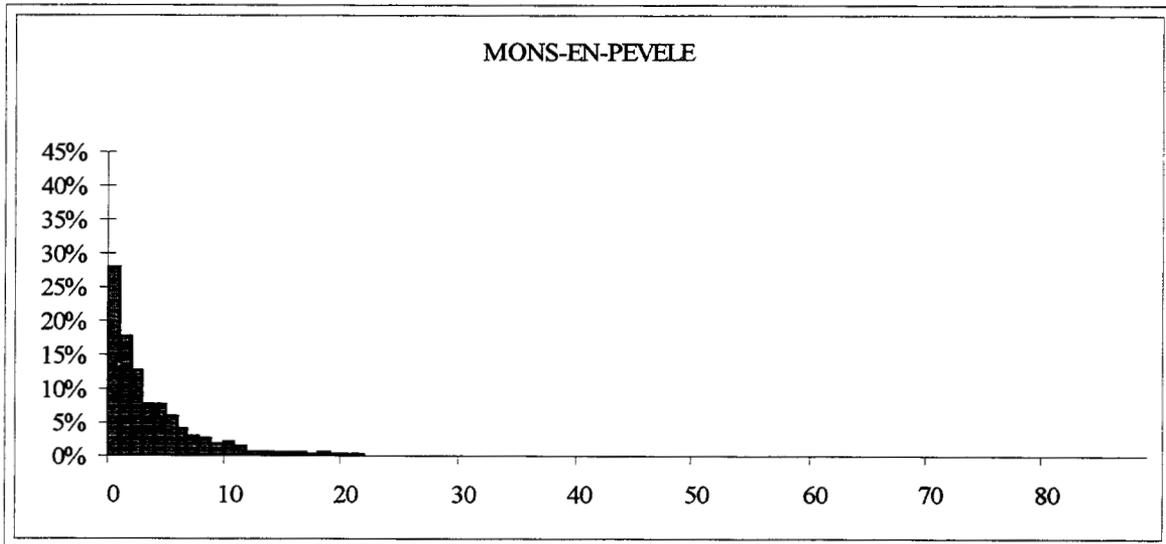
Annexe n°10 : Régime pluviométrique moyen (1982-1991) des stations de la région lilloise.



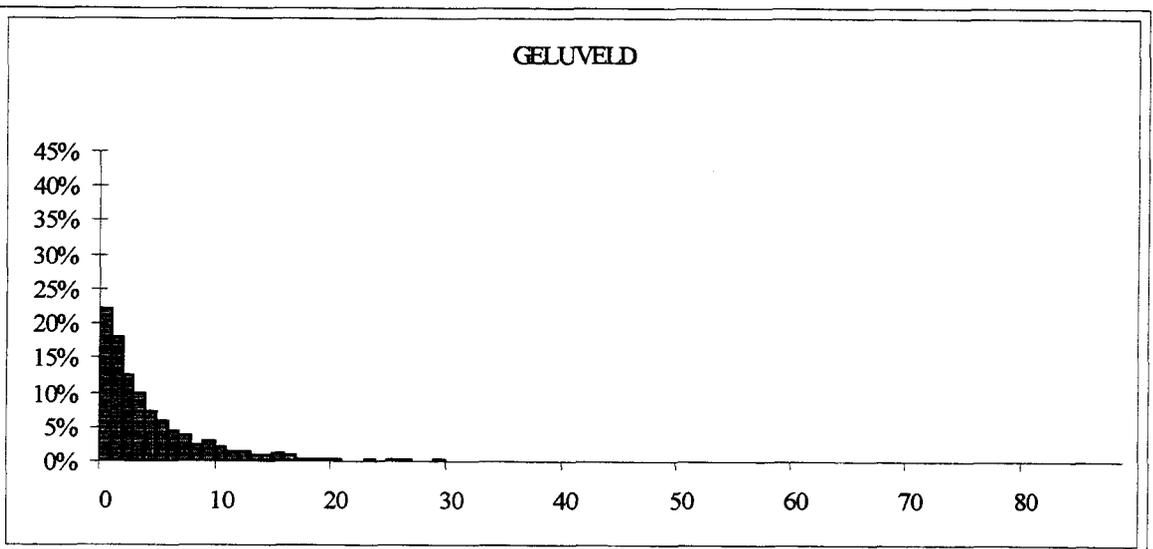
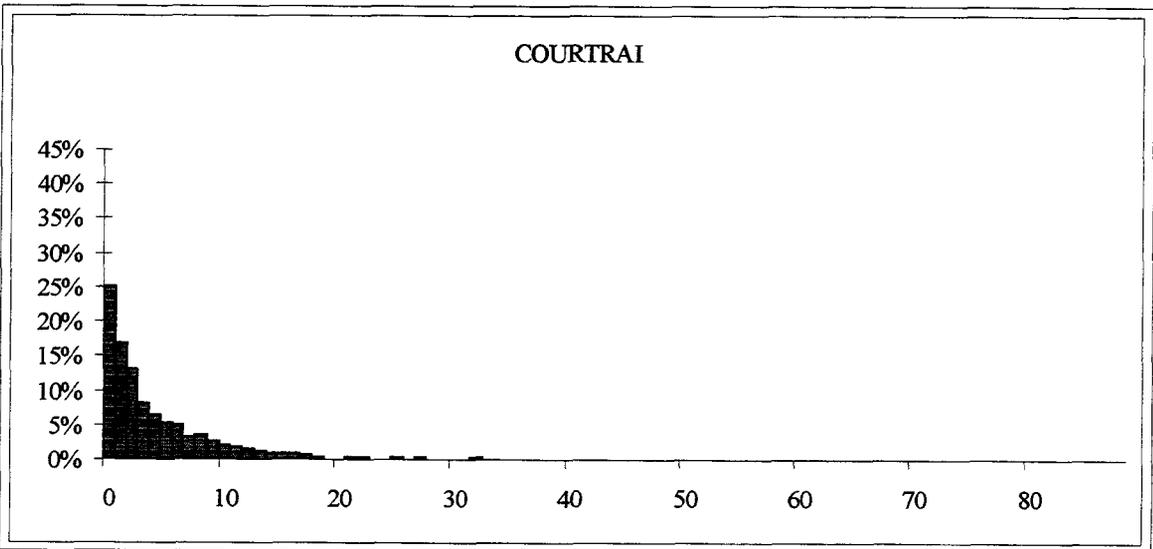
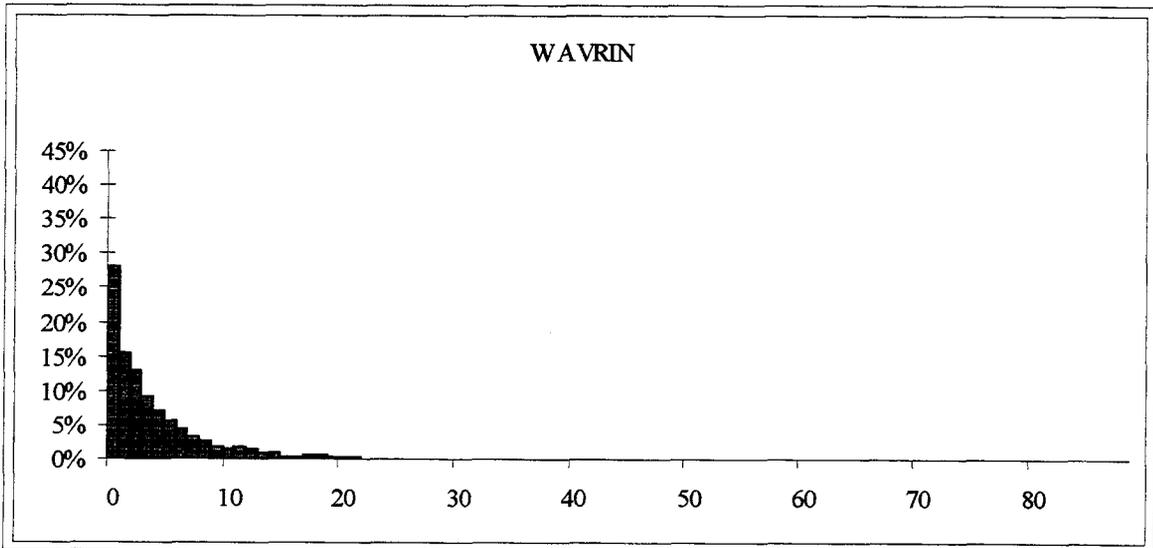


Annexe n°11 : Histogramme des hauteurs journalières des stations de la région lilloise.

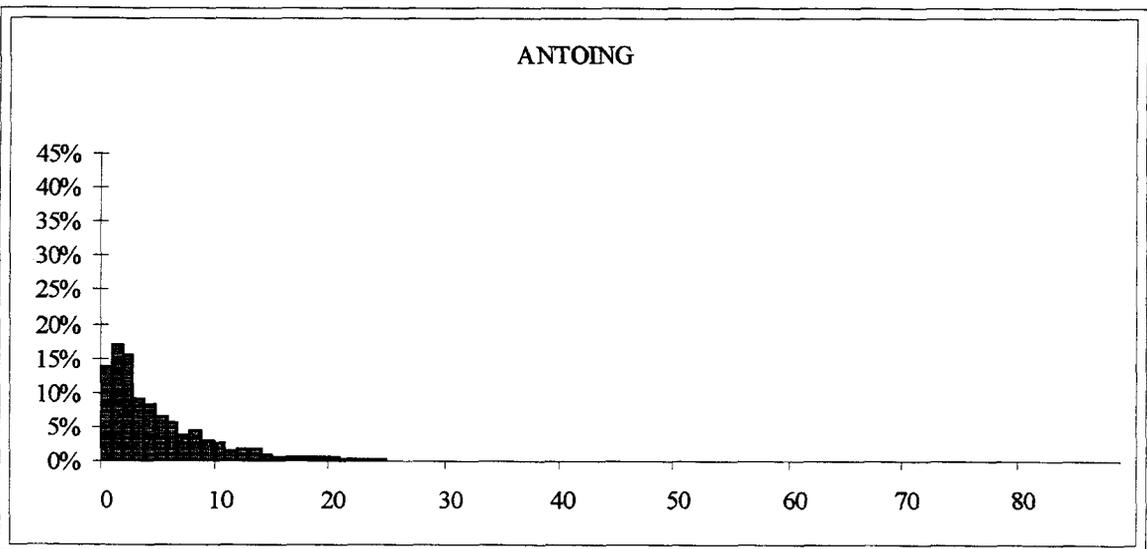
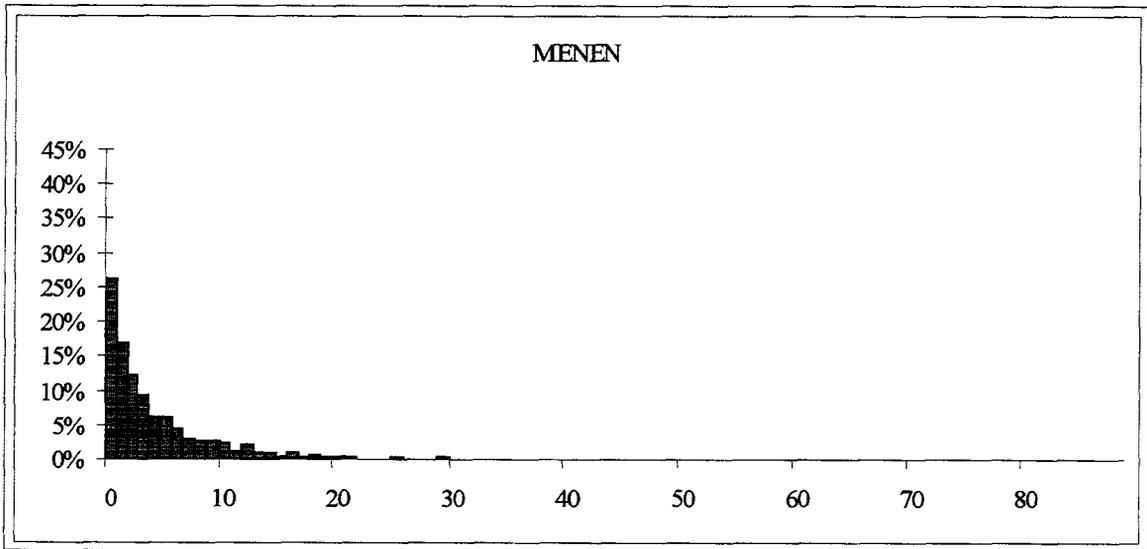
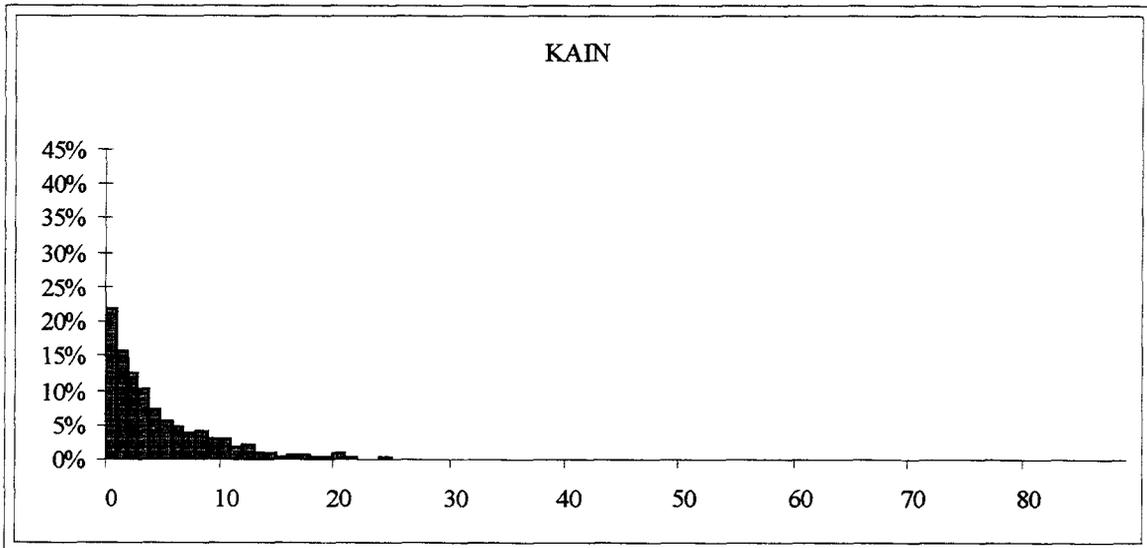




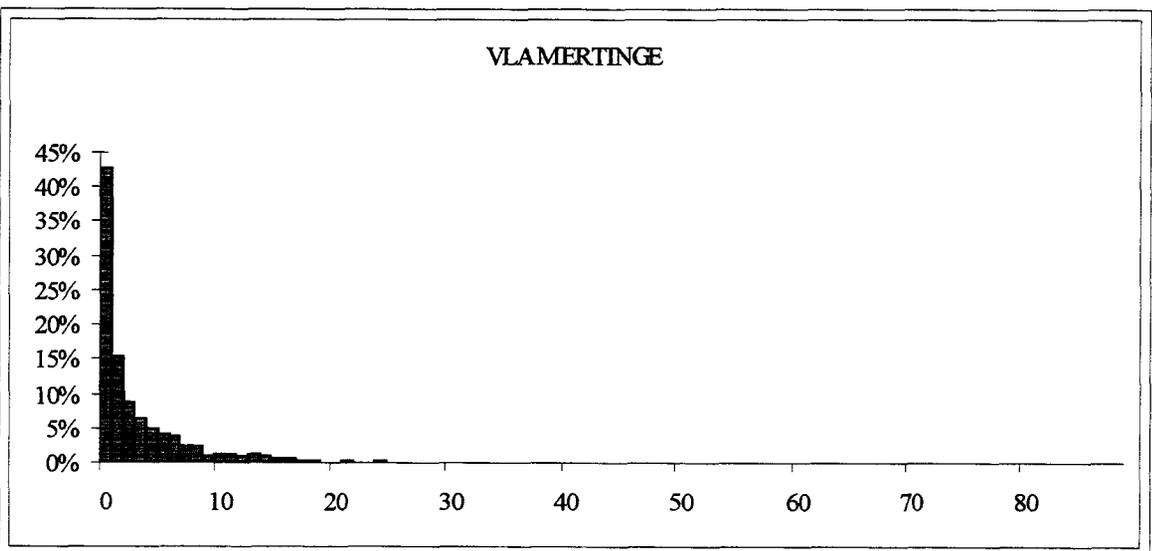
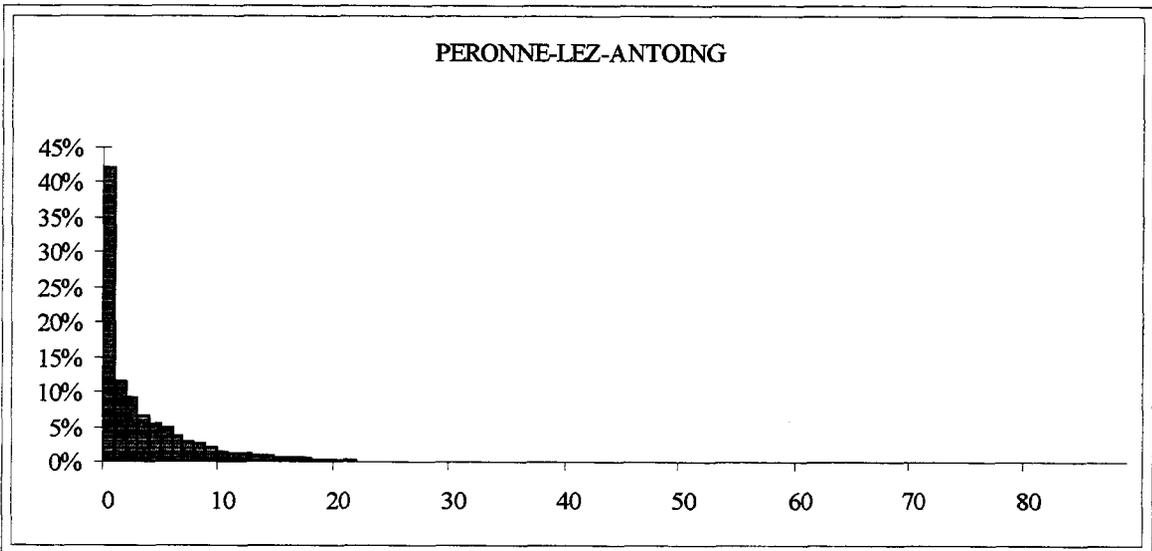
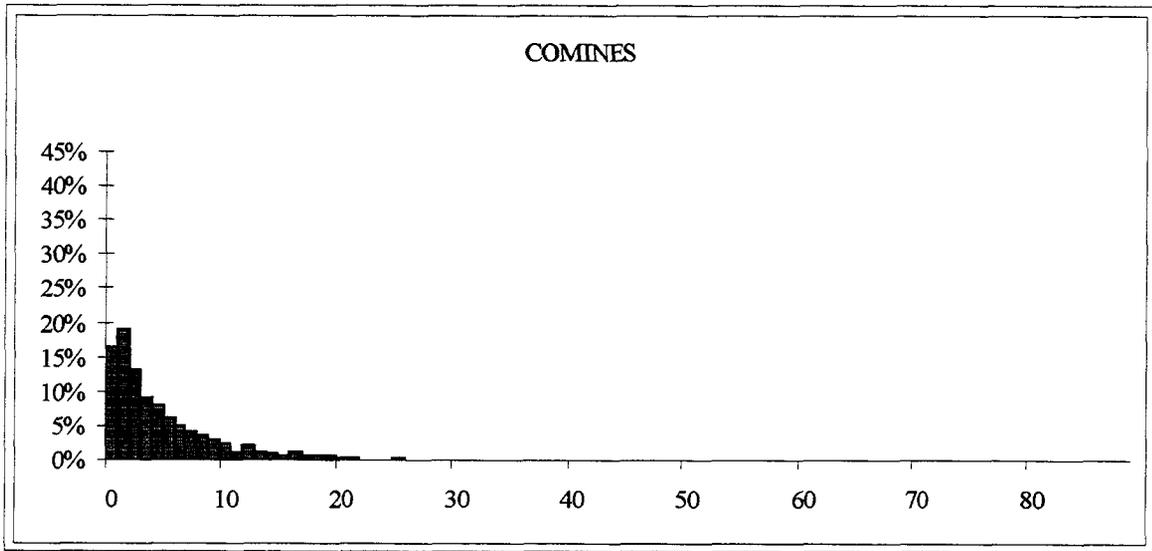
ANNEXES



ANNEXES

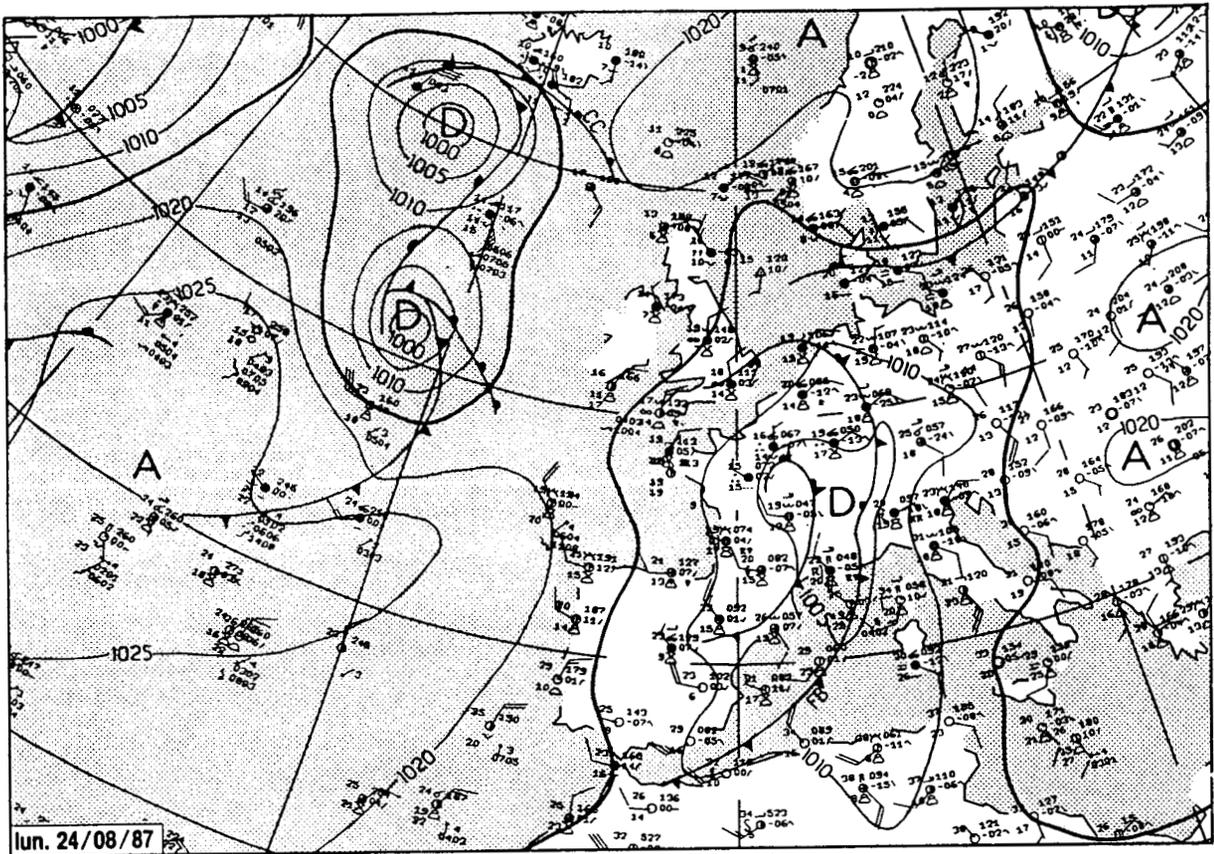


ANNEXES

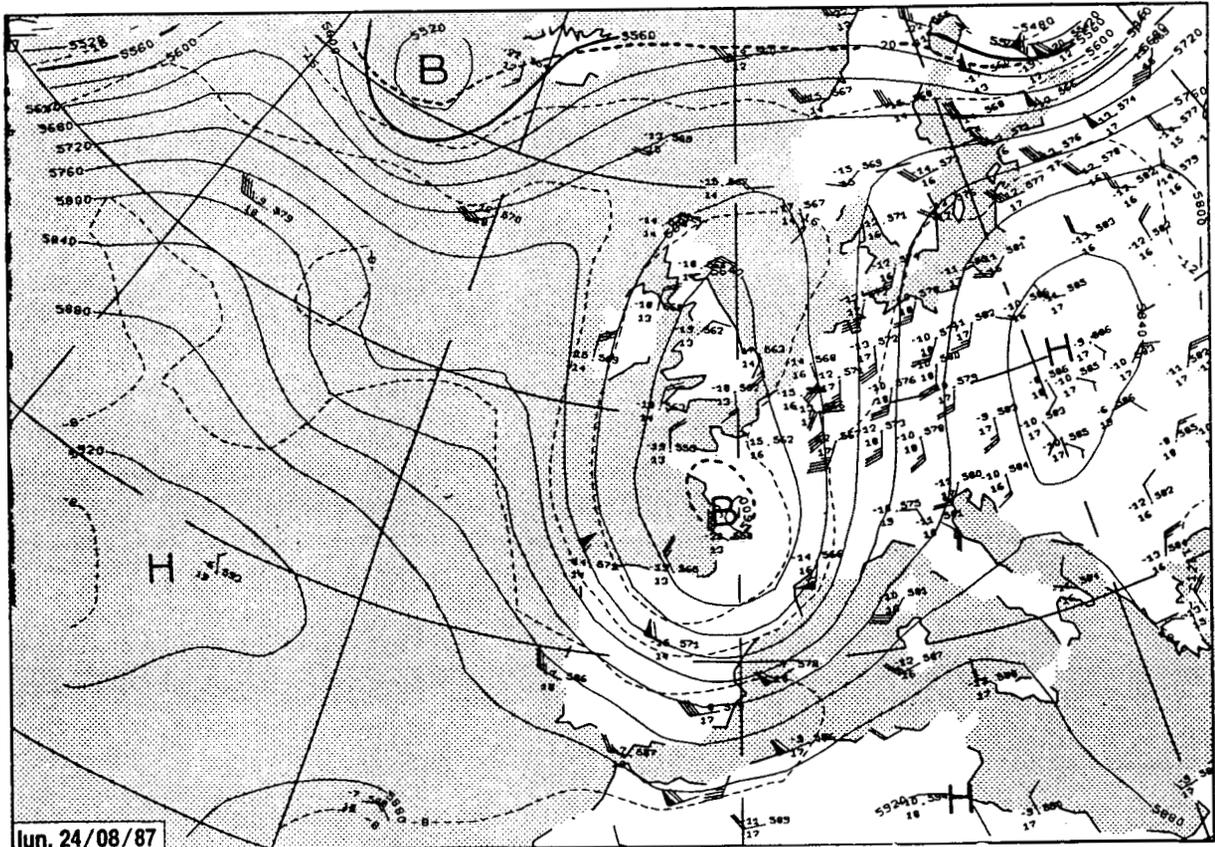


Annexe n°12 : Cartes du Météo-Hebdo du 24.08.87.

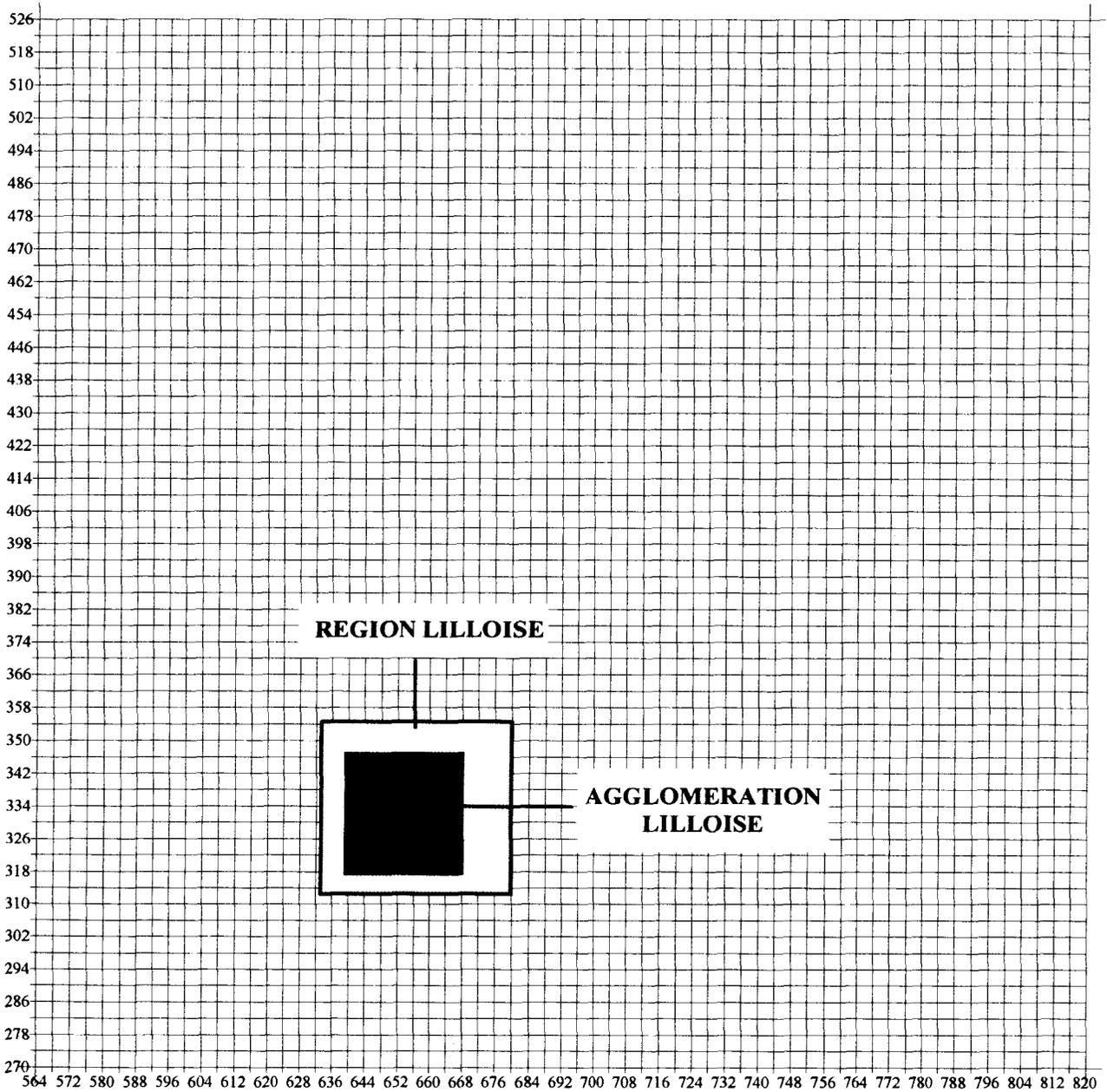
ANALYSE EN SURFACE



SURFACE 500 hPa



Annexe n°13 : Délimitation sur l'image radar de la zone "agglomération lilloise" et "région lilloise"



ANNEXES

Annexe n°14 : Résultats du Khi-carré pour les 11 événements.

14.04.93	N	v	X ² calc	X ² lu	Résultat	Coeff. contingence
GRIMONPONT	50	28	68.8	48.3	R	0.76
MARQUETTE	50	15	21.4	30.6	A	-
HOUPLIN-ANC.	50	20	35.9	37.6	A	-
SECLIN	50	24	23.6	43	A	-
HOUPLINES	50	6	26.8	16.8	R	0.59
SERGEANT	50	35	73.5	57.3	R	0.77
FOREST	50	10	14.7	23.2	A	-
HALLUIN	50	8	31.3	20.1	R	0.62

10.06.93	N	v	X ² calc	X ² lu	Résultat	Coeff. contingence
GRIMONPONT	47	36	105.5	51	R	0.83
HOUPLIN-ANC.	47	42	86.4	58.1	R	0.80
SECLIN	47	35	99.3	49.8	R	0.82
HOUPLINES	47	35	78.5	49.8	R	0.79
FOREST	47	30	97.5	43.8	R	0.82
HALLUIN	47	36	125.0	51	R	0.85

12.06.93	N	v	X ² calc	X ² lu	Résultat	Coeff. contingence
GRIMONPONT	77	8	39.3	15.5	R	0.58
HOUPLIN-ANC.	77	8	41.8	15.5	R	0.59
SECLIN	77	8	32.7	15.5	R	0.55
HOUPLINES	77	12	37.2	21	R	0.57
FOREST	77	8	37.7	15.5	R	0.57
HALLUIN	77	8	22.1	15.5	R	0.47

24.07.93	N	v	X ² calc	X ² lu	Résultat	Coeff. contingence
GRIMONPONT	45	30	99.2	43.8	R	0.83
MARQUETTE	45	42	80.9	58.1	R	0.80
HOUPLIN-ANC.	45	30	103.2	43.8	R	0.83
SECLIN	45	30	95.5	43.8	R	0.82
HOUPLINES	45	5	14.3	11.1	R	0.49
HALLUIN	45	30	93.3	43.8	R	0.82

ANNEXES

27.09.93	N	v	X ² calc	X ² lu	Résultat	Coeff. contingence
GRIMONPONT	81	8	4.82	15.5	A	-
MARQUETTE	81	8	19.24	15.5	R	0.44
HOUPLIN-ANC.	81	8	26.4	15.5	R	0.50
HOUPLINES	81	15	20.75	25	A	-
FOREST	81	8	11.7	15.5	A	-
LINSELLES	81	10	11.98	18.3	A	-

14.05.94	N	v	X ² calc	X ² lu	Résultat	Coeff. contingence
GRIMONPONT	53	6	43.1	12.6	R	0.67
MARQUETTE	53	16	68.3	26.3	R	0.75
HOUPLIN-ANC.	53	16	61.3	26.3	R	0.73
FACHES	53	20	95.4	31.4	R	0.80
HOUPLINES	53	16	73.9	26.3	R	0.76
SERGEANT	53	12	51.9	21	R	0.70
HALLUIN	53	6	49.9	12.6	R	0.70
LINSELLES	53	8	51.9	15.5	R	0.70
COMINES	53	12	43.6	21	R	0.67
JOUHAUX	53	24	144.8	36.4	R	0.86
FOURNES	53	25	110.1	37.7	R	0.82

15.05.94	N	v	X ² calc	X ² lu	Résultat	Coeff. contingence
GRIMONPONT	45	18	58.4	28.9	R	0.75
MARQUETTE	45	15	71.5	25	R	0.78
HOUPLIN-ANC.	45	35	85.7	49.8	R	0.81
FACHES	45	30	91.6	43.8	R	0.82
HOUPLINES	45	16	52.9	26.3	R	0.74
SERGEANT	45	24	73.1	36.4	R	0.79
HALLUIN	45	20	57.2	31.4	R	0.75
LINSELLES	45	15	45.3	25	R	0.71
COMINES	45	5	14.6	11.1	R	0.50
JOUHAUX	45	30	117.6	43.8	R	0.85
FOURNES	45	36	66.4	51	R	0.77

ANNEXES

26.05.94	N	v	X ² calc	X ² lu	Résultat	Coeff. contingence
GRIMONPONT	105	4	56.3	9.49	R	0.59
MARQUETTE	105	8	86.1	15.5	R	0.67
HOUPLIN-ANC.	105	12	83.9	21	R	0.67
FACHES	105	15	128.2	25	R	0.74
HOUPLINES	105	6	57.5	12.6	R	0.59
SERGEANT	105	8	63.1	15.5	R	0.61
FOREST	105	10	82.2	18.3	R	0.66
HALLUIN	105	6	54.0	12.6	R	0.58
LINSELLES	105	3	43.4	7.81	R	0.54
COMINES	105	10	24.0	18.3	R	0.43
JOUHAUX	105	15	80.7	25	R	0.66

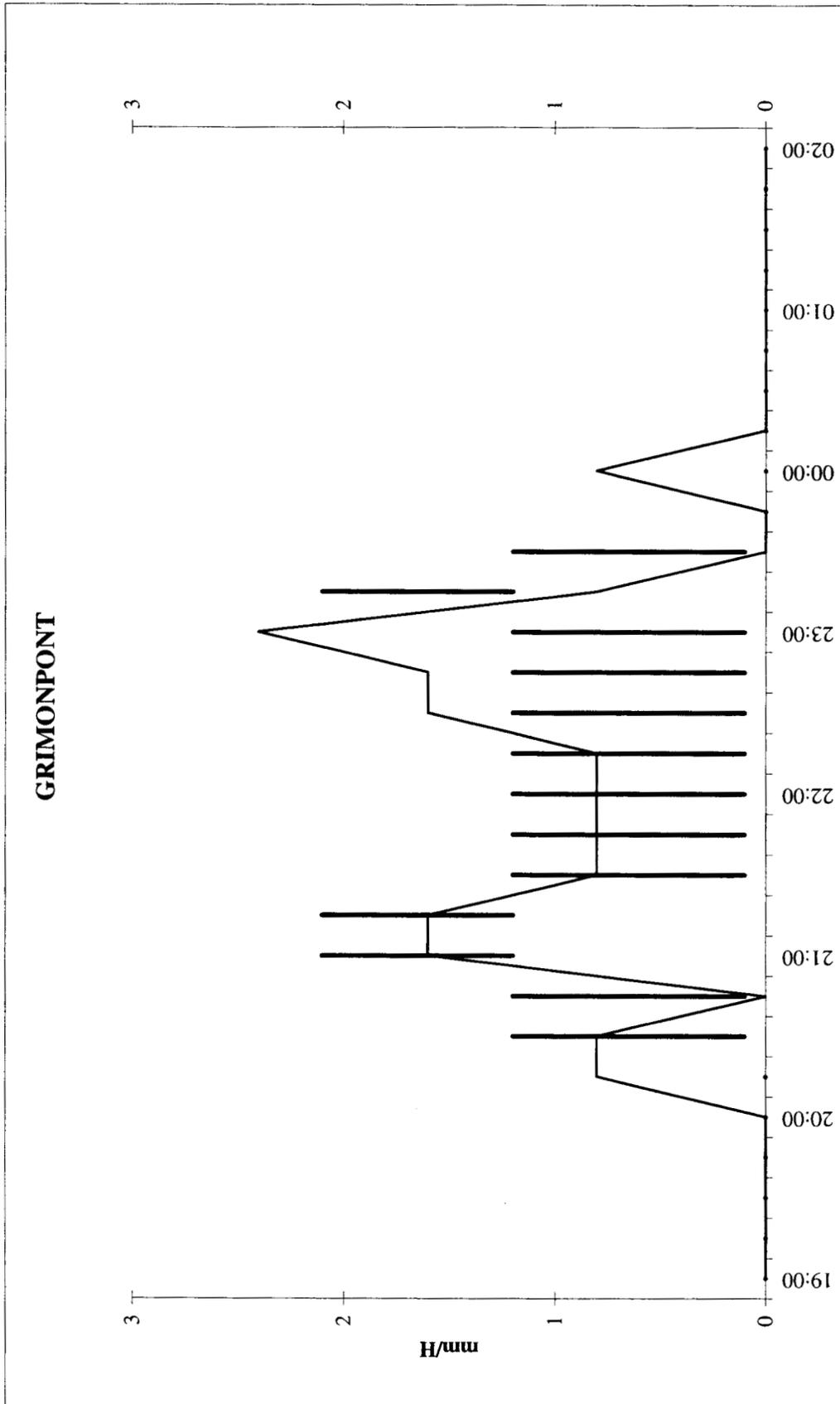
02.06.94	N	v	X ² calc	X ² lu	Résultat	Coeff. contingence
GRIMONPONT	65	12	13.2	19.7	A	-
MARQUETTE	65	20	138.8	31.4	R	0.83
HOUPLIN-ANC.	65	15	79.2	25	R	0.74
FACHES	65	8	88.2	15.5	R	0.76
HOUPLINES	65	16	75.0	26.3	R	0.73
SERGEANT	65	15	71.8	25	R	0.72
FOREST	65	3	24.1	7.81	R	0.52
HALLUIN	65	15	70.7	25	R	0.72
LINSELLES	65	20	125.5	31.4	R	0.81
COMINES	65	15	38.5	25	R	0.61
JOUHAUX	65	15	103.8	25	R	0.78

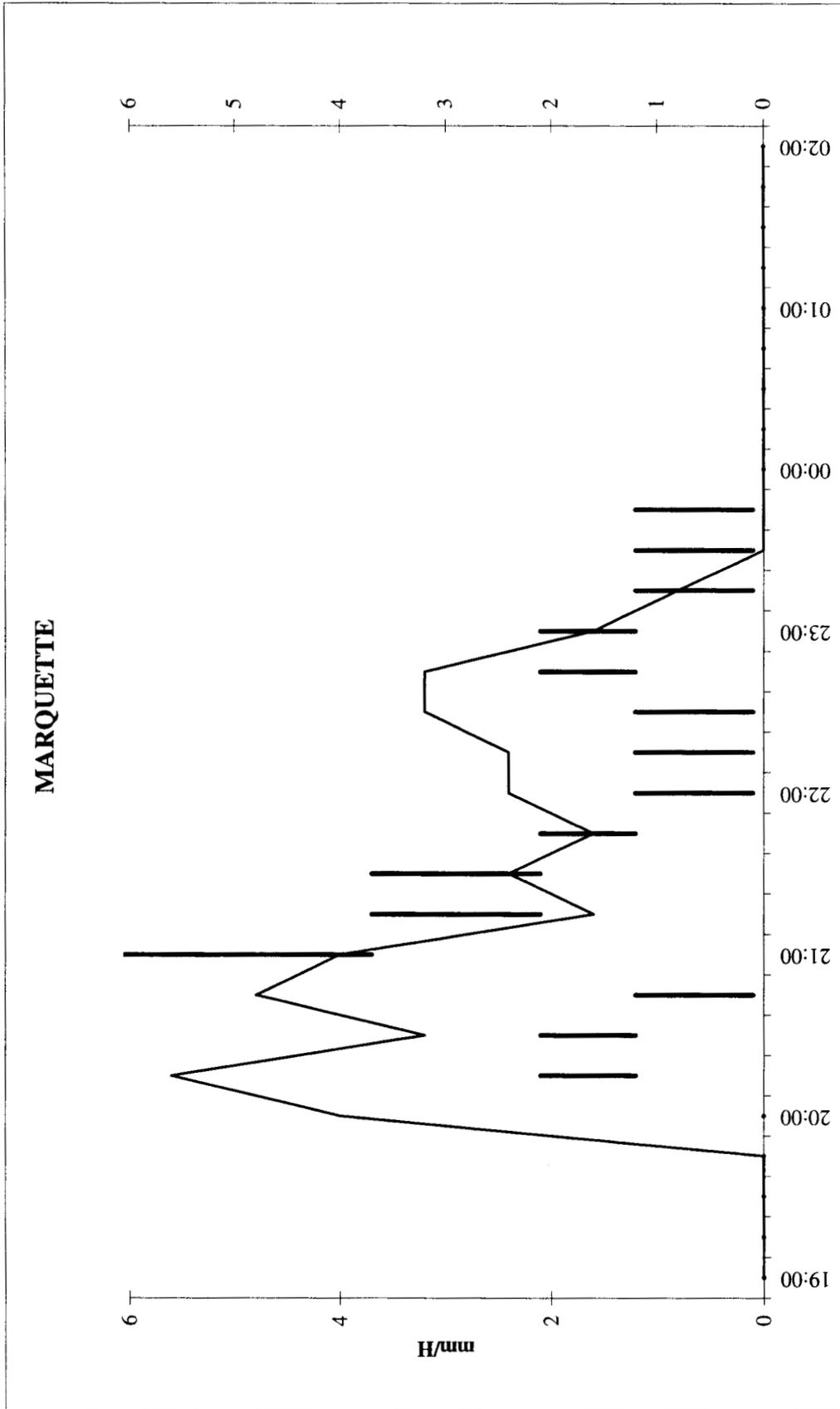
31.07.94	N	v	X ² calc	X ² lu	Résultat	Coeff. contingence
GRIMONPONT	92	24	134.1	36.4	R	0.77
MARQUETTE	92	35	183.4	49.8	R	0.82
HOUPLIN-ANC.	92	30	254.3	43.8	R	0.86
FACHES	92	4	22.2	9.49	R	0.44
HOUPLINES	92	36	240.8	51	R	0.85
FOREST	92	42	222.8	58.14	R	0.84
HALLUIN	92	42	188.7	58.14	R	0.82
LINSELLES	92	20	163.7	31.4	R	0.80
COMINES	92	16	116.2	26.3	R	0.75
JOUHAUX	92	30	183.0	43.8	R	0.82
FOURNES	92	36	282.7	51	R	0.87

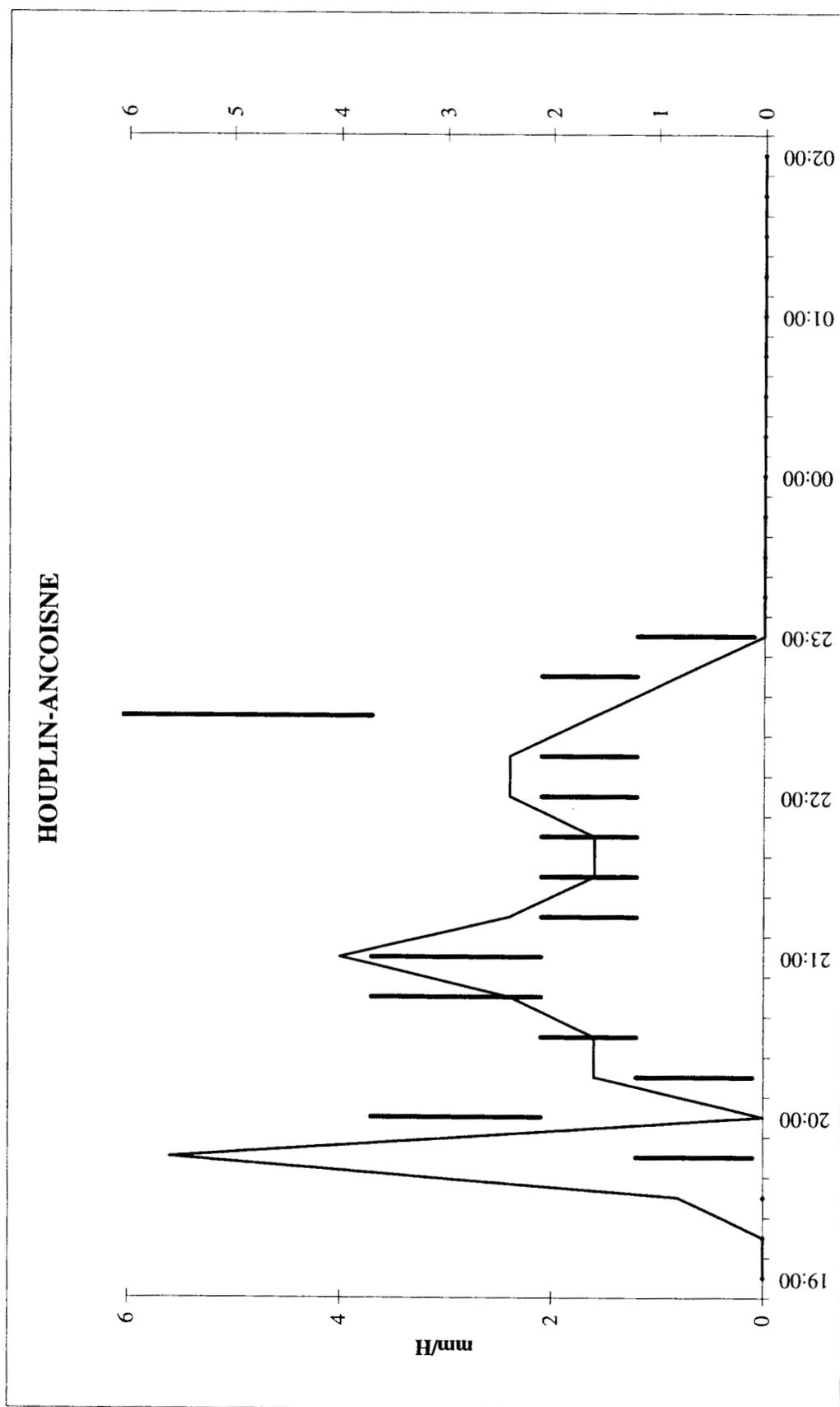
ANNEXES

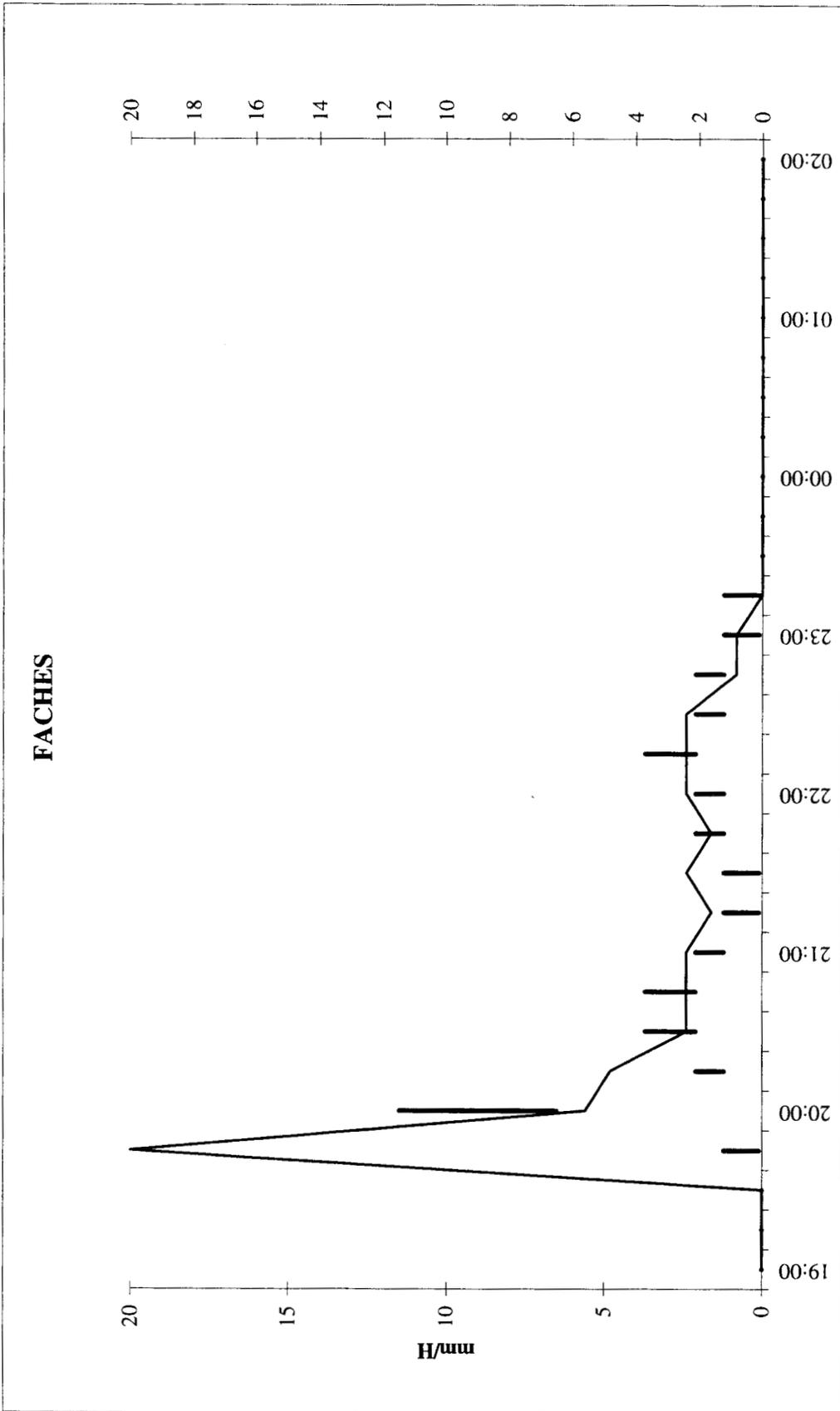
08.12.94	N	v	X² calc	X² lu	Résultat	Coeff. contingence
GRIMONPONT	83	5	37.9	11.1	R	0.56
MARQUETTE	83	6	27.7	12.6	R	0.50
HOUPLIN-ANC.	83	8	18.7	15.5	R	0.43
SECLIN	83	6	16.4	12.6	R	0.41
HOUPLINES	83	12	79.0	21	R	0.70
FOREST	83	5	22.6	11.1	R	0.46
HALLUIN	83	7	7.7	14.1	A	-
LINSELLES	83	7	10.8	14.1	A	-
JOUHAUX	83	10	40.4	18.3	R	0.57

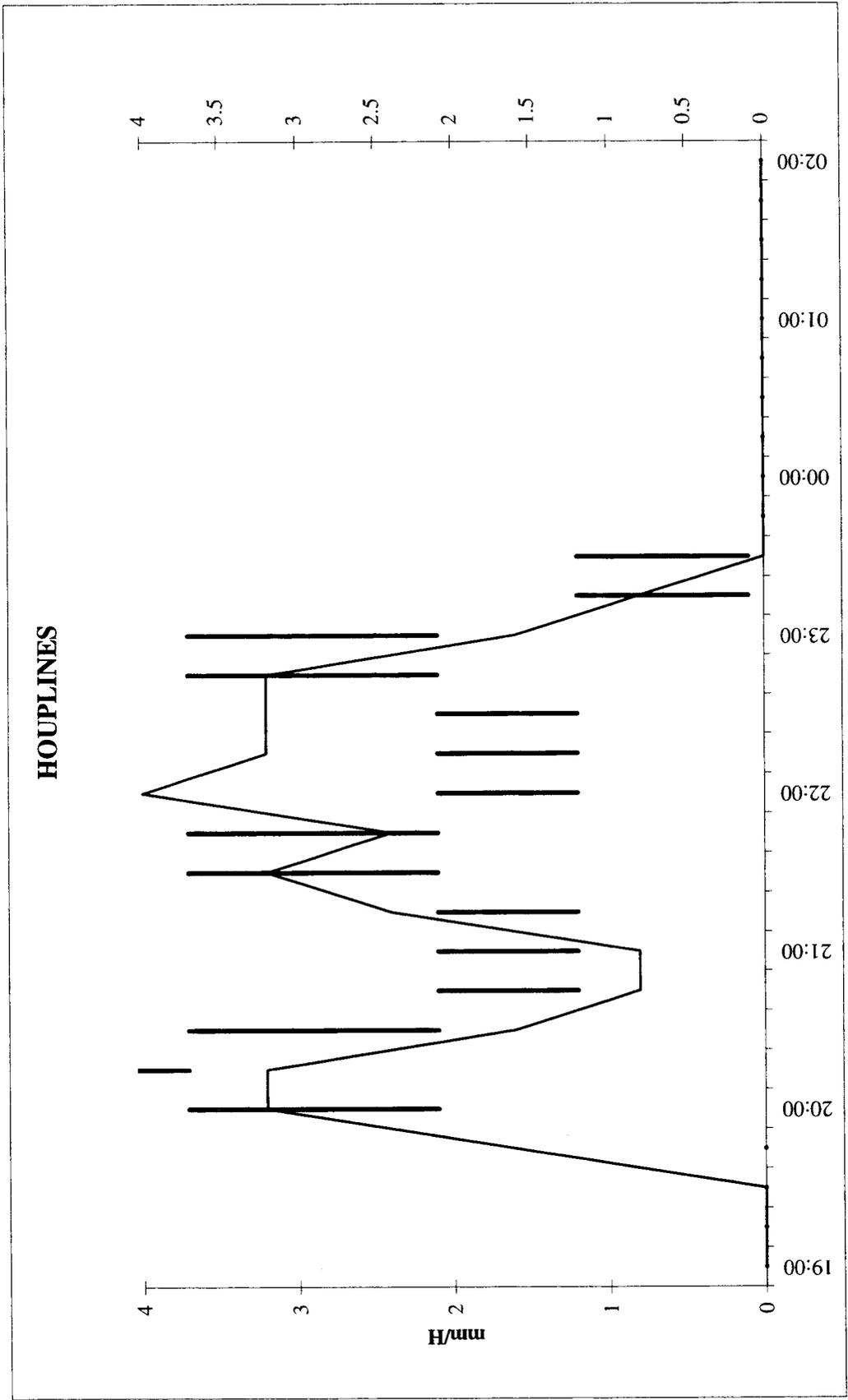
Annexe n°15 : Intensités sur 15 minutes et intensités instantanées aux pixels surplombant les pluviographes, le 14 mai 1994.

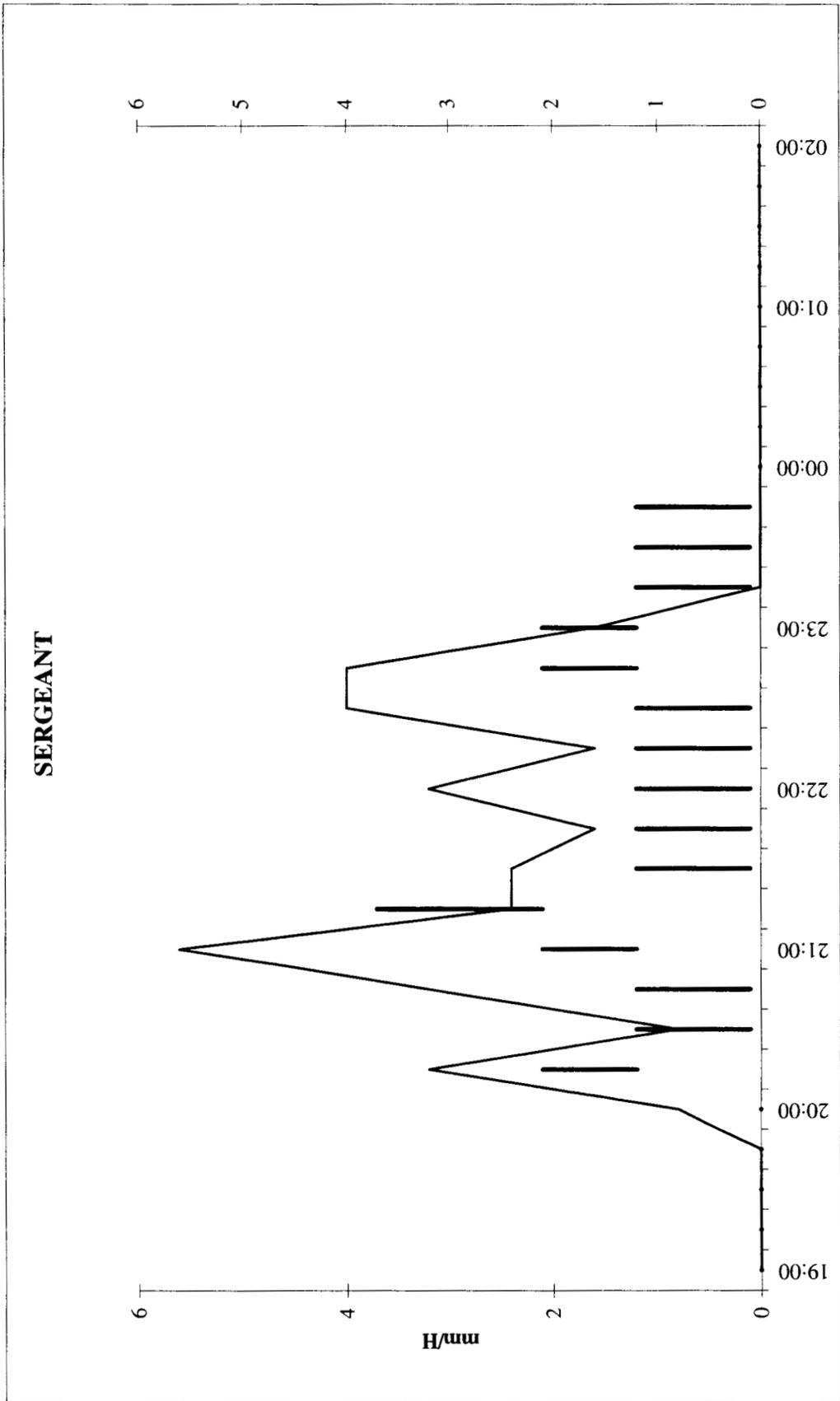


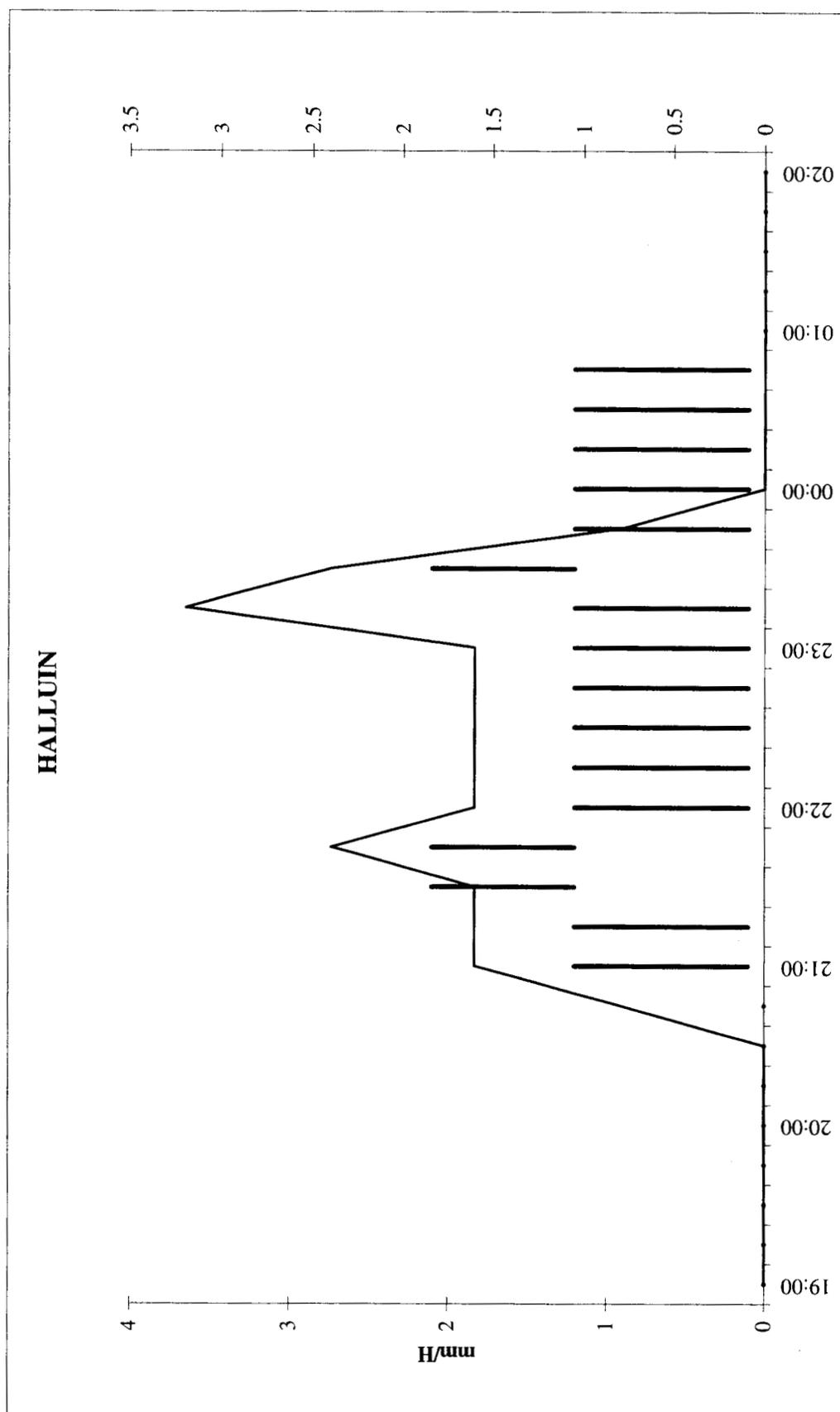


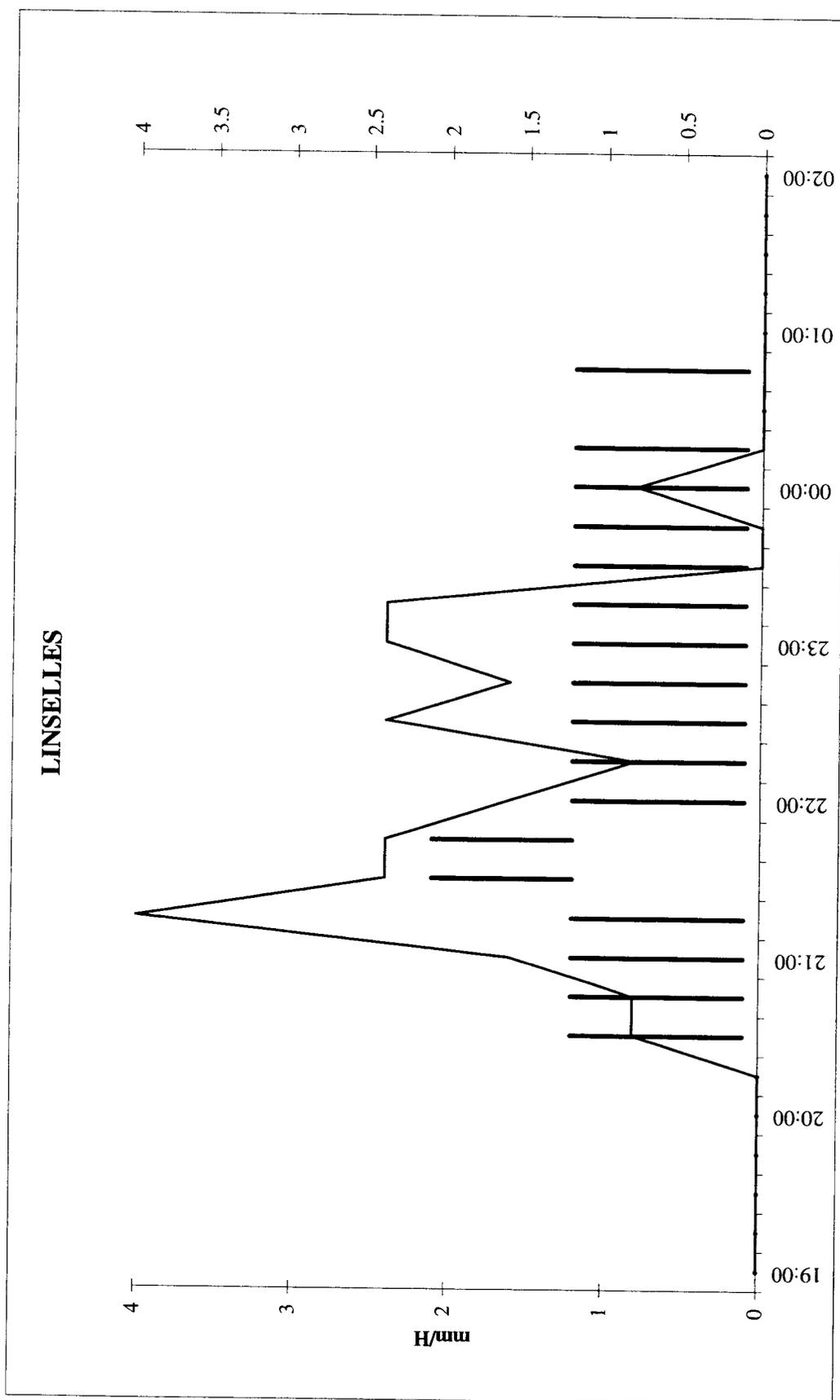


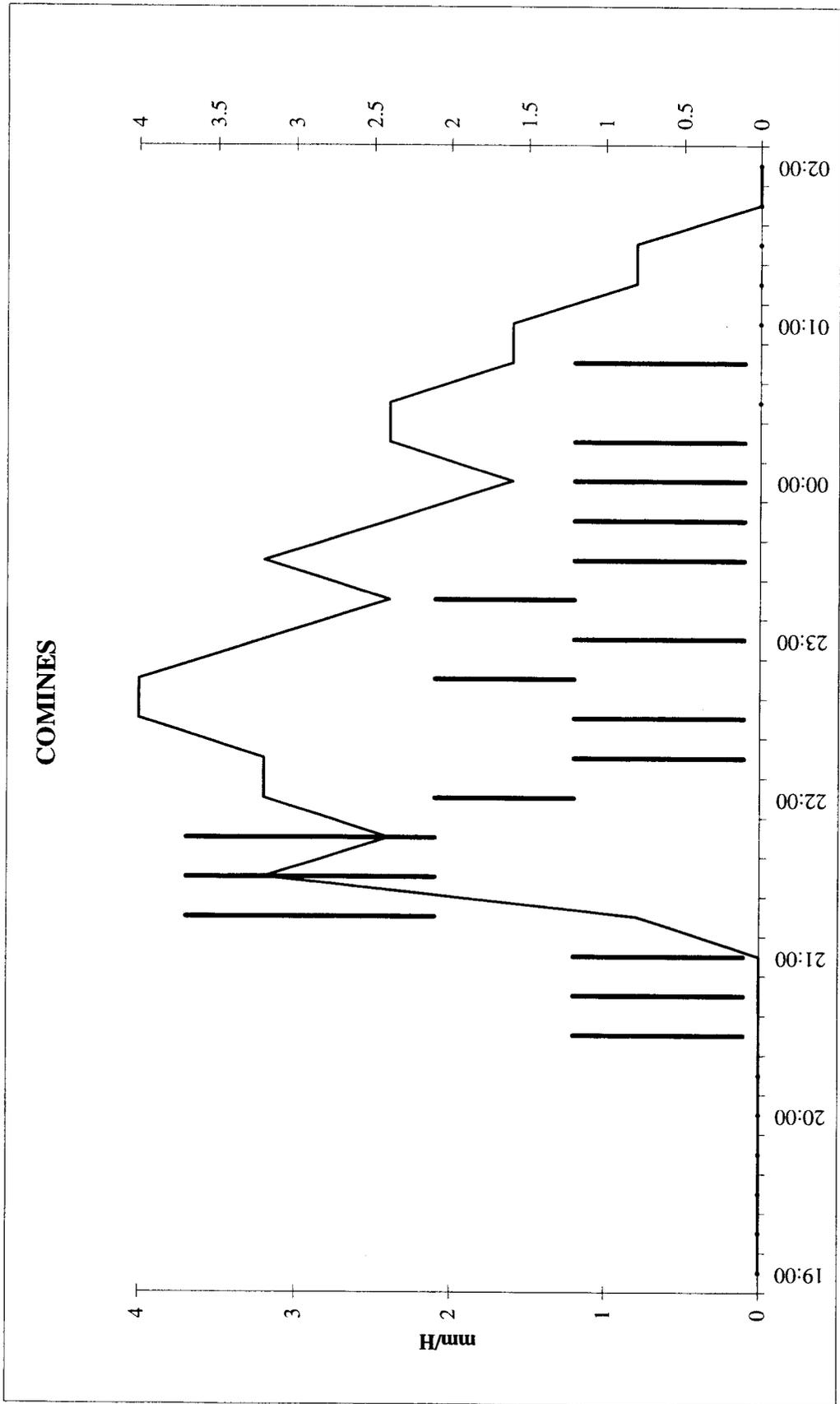


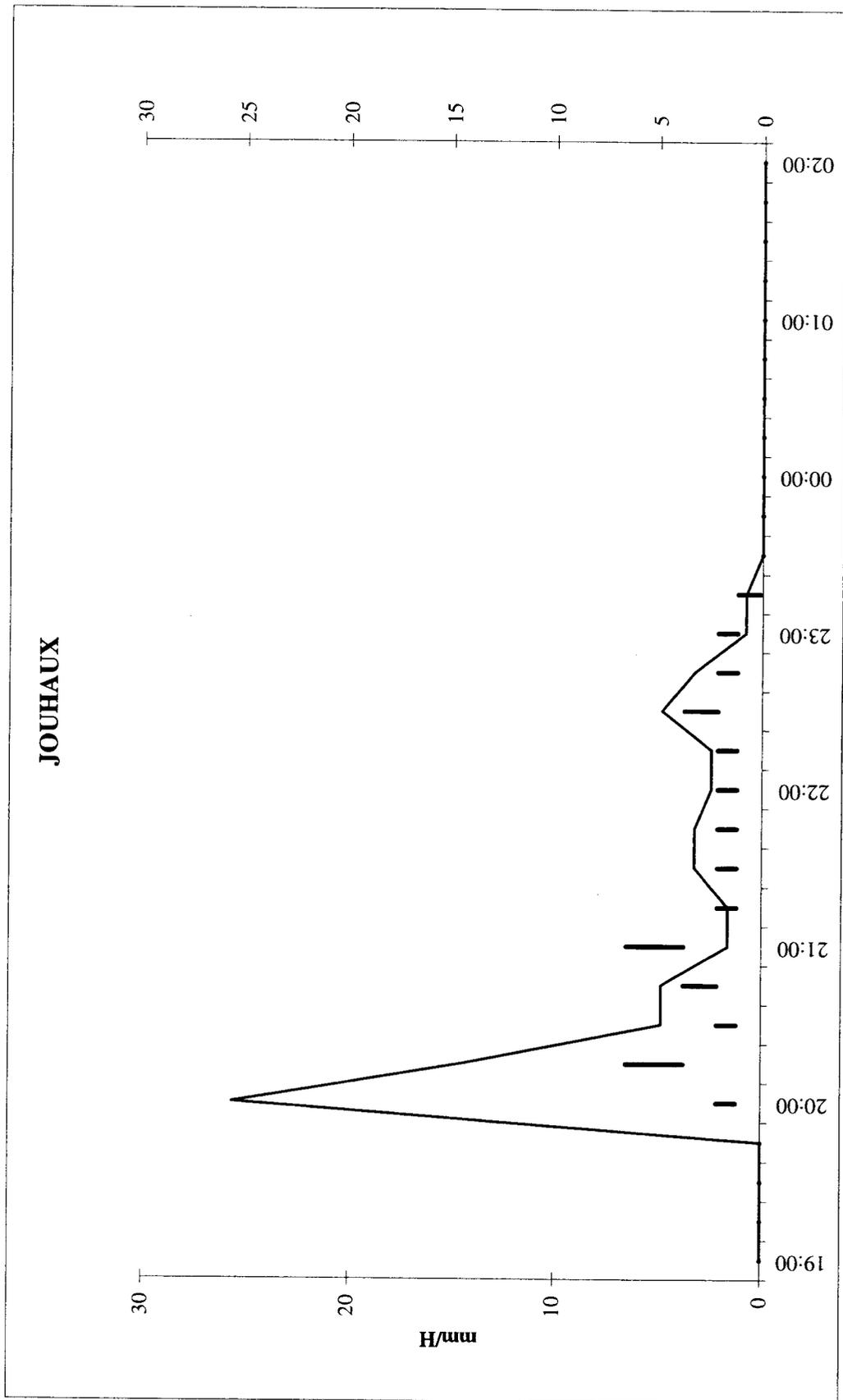


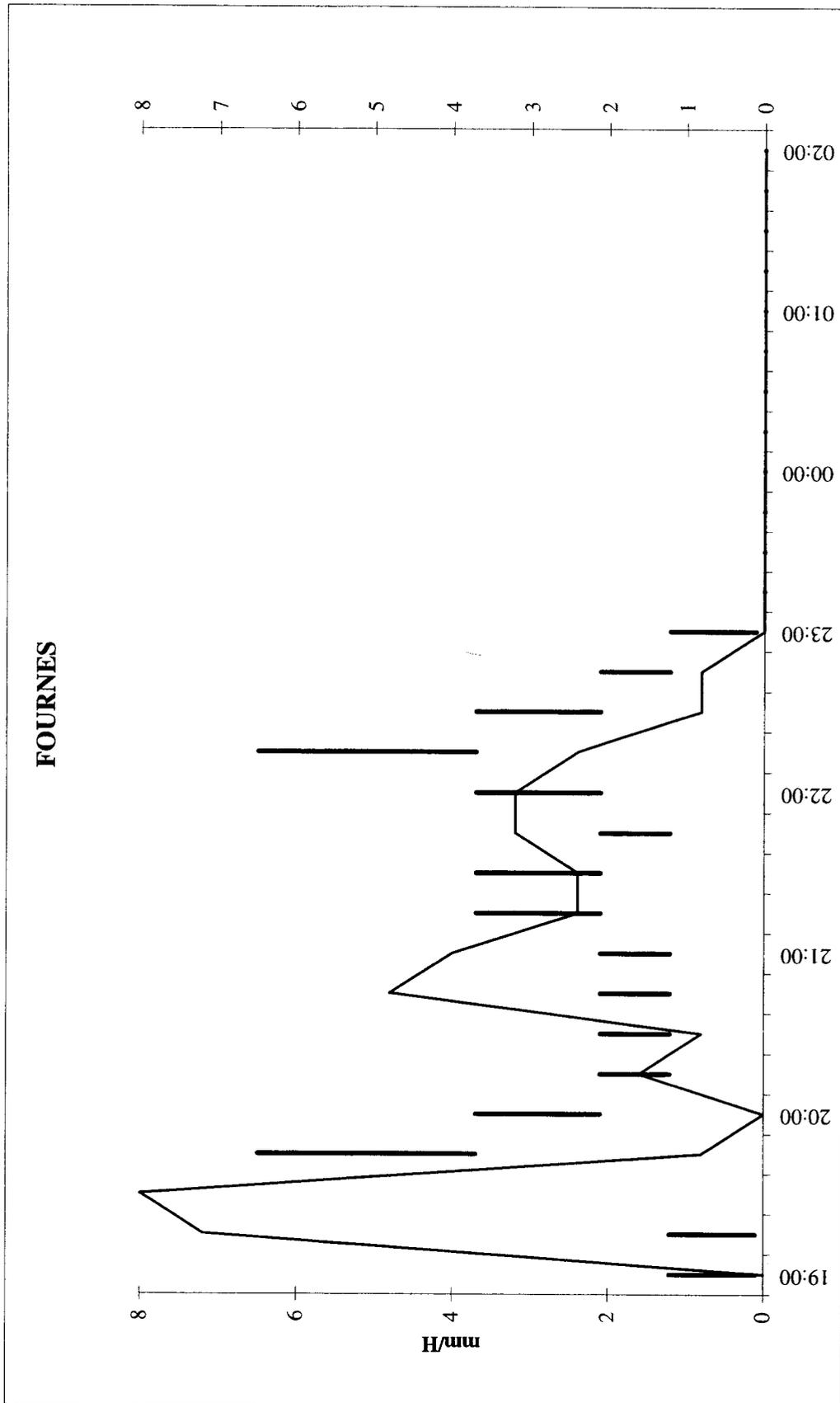












Annexe n°16 : Intensités sur 15 minutes et intensités instantanées aux pixels surplombant les pluviographes, le 12 décembre 1994.

