

UNIVERSITÉ DE LIÈGE
Faculté des sciences
Sciences Géographiques

Analyse des inondations en région liégeoise sur base des relevés des services d'intervention



Mémoire présenté par
Jean Van Campenhout
Pour l'obtention du titre de
Licencié en sciences géographiques

Année académique
2003-2004

UNIVERSITÉ DE LIÈGE
Faculté des sciences
Sciences Géographiques

Analyse des inondations en région liégeoise sur base des relevés des services d'intervention

Mémoire présenté par
Jean Van Campenhout
Pour l'obtention du titre de
Licencié en sciences géographiques

Année académique
2003-2004

Remerciements

J'exprime mes plus vifs remerciements à mon promoteur, M. François Petit pour m'avoir proposé le sujet de ce mémoire et surtout pour l'aide qu'il m'a apportée tout au long de la conception de celui-ci. Je remercie également M. Eric Hallot, M. Patrick Engels, M. Michel Erpicum de l'ULg ainsi que M. Marc Vandiepenbeeck de l'Institut Royal Météorologique de m'avoir permis d'obtenir les données indispensables à sa réalisation technique.

Je remercie l'ensemble du corps des pompiers de la caserne de Liège Outremeuse pour leur disponibilité et leur dévouement m'ayant permis de mener ce travail à son terme. A ce propos, je souhaite remercier personnellement le Lieutenant-colonel Jean-Marc Gilissen pour m'avoir autorisé à exploiter les archives de l'Intercommunale d'Incendie de Liège et Environs, le Sous-lieutenant Roger Dejardin pour les informations essentielles qu'il a pu me fournir ainsi que les membres du personnel du service de l'Instruction pour leur disponibilité et leur accueil chaleureux durant les nombreux mois nécessaires à l'encodage des données.

Je témoigne toute ma gratitude aux membres du jury ayant accepté de lire avec intérêt le fruit de mon travail.

Je terminerai en remerciant comme il se doit Amélie Ledent qui a donné de son temps pour relire mon mémoire ainsi que Vanessa Avendaño Moreno pour le soutien respectif qu'elles m'ont apporté au cours de ce travail. Enfin, je remercie mes parents pour m'avoir aidé tout au long de ce projet.

Table des matières

TABLE DES MATIERES	3
I. INTRODUCTION ET DEFINITIONS GENERALES.....	5
I.1. INTRODUCTION.....	5
I.2. OBJECTIF DE CETTE ANALYSE	6
I.3. LES TYPES DE CRUES	6
I.3.1. Les inondations	7
I.3.2. Le ruissellement et les inondations pluviales	7
I.3.3. Les crues torrentielles.....	8
I.3.4. Les coulées boueuses	10
I.3.5. Les remontées de nappes.....	10
I.3.6. Les inondations liées aux anciennes conduites minières.....	10
I.3.7. Les autres types d'inondations	11
I.4. LEXIQUE DES TERMES TECHNIQUES UTILISES DANS CETTE ETUDE	11
I.5. DEVELOPPEMENT THEORIQUE DE LA GENESE DU RUISSellement LIE AUX PRECIPITATIONS	11
I.5.1. La théorie de Horton.....	11
I.5.2. La théorie de saturation du milieu	12
I.5.3. La théorie de la contribution partielle de la surface du bassin au ruissellement.....	13
I.5.4. Les facteurs influençant le volume ruisselé sur les surfaces perméables	14
I.5.5. Les facteurs influençant la vitesse du fluide en mouvement.....	15
II. BREVE DESCRIPTION HISTORIQUE DES PHENOMENES HYDROCLIMATOLOGIQUES A L'ECHELLE MONDIALE ET ANALYSE DETAILLÉE DE CEUX-CI EN REGION LIEGEOISE	16
II.1. REPERCUTIONS DES FLASH-FLOODS DANS LE MONDE.....	16
II.2. OCCURRENCE DES PRECIPITATIONS EXCEPTIONNELLES A L'ECHELLE MONDIALE	16
II.3. LES PRECIPITATIONS EXCEPTIONNELLES ET LES FLASH-FLOODS A L'ECHELLE REGIONALE	18
II.4. ANALYSE DE LA REPARTITION SAISONNIERE DES PRECIPITATIONS EXCEPTIONNELLES A L'ECHELLE HISTORIQUE EN PROVINCE DE LIEGE.....	26
II.5. ANALYSE DES DONNEES DE PRECIPITATIONS EXCEPTIONNELLES A LA STATION METEOROLOGIQUE DE LIEGE-BIERSET	28
II.6. ANALYSE DES HAUTEURS DE PRECIPITATIONS POUR LES STATIONS DE LA REGION LIEGEOISE ENTRE 1970 ET 2002.....	32
III. CONCEPTION DE LA BASE DE DONNEES DES INTERVENTIONS DES POMPIERS DE LIEGE DANS LE CADRE DES POMPAGES ET INONDATIONS	41
III.1. METHODOLOGIE DE L'ENCODAGE.....	41
III.2. REMARQUES METHODOLOGIQUES.....	43
III.3. CRITIQUE DES DONNEES ENCODEES	43
III.4. EXAMEN DES SUPPORTS DE DONNEES DISPONIBLES.....	44
III.5. ANALYSE STATISTIQUE DE L'OCCURRENCE DES INTERVENTIONS	45
III.6. TENTATIVE DE CLASSIFICATION DES INTERVENTIONS SUR BASE DES RAPPORTS SUCCINCTS DES INTERVENTIONS DU SERVICE D'INCENDIE	46
III.7. CARTOGRAPHIE PAR TYPE D'INTERVENTION	47
III.8. RELATION ENTRE LE TYPE D'INTERVENTION ET L'ALTITUDE DES POINTS DEFINIS	47
III.9. CRITERES DE SELECTION DES INTERVENTIONS MONTRANT DES CARACTERISTIQUES SIMILAIRES AUX FLASH-FLOODS.....	51
III.10. ETABLISSEMENT DES EVENEMENTS PLUVIEUX MAJEURS AYANT ENTRAINE DE NOMBREUSES INTERVENTIONS	52
III.11. EXTRACTION DES DONNEES DE PRECIPITATIONS HORAIRES A LA STATION DE LIEGE-BIERSET LORS DES EVENEMENTS CONCERNES.....	54
IV. DEFINITION DE LA ZONE D'ETUDE ET ANALYSE GEOGRAPHIQUE DETAILLÉE	55
IV.1. ANALYSE DES DONNEES	55
IV.2. CALCUL DE L'OCCURRENCE DES INTERVENTIONS DANS LA REGION LIEGEOISE	56

IV.3.	DELIMITATION DE LA ZONE D'ETUDE	57
IV.4.	EFFETS DE LA DISTRIBUTION DE LA POPULATION EN REGION LIEGEOISE SUR LA COHERENCE ET LA REPRESENTATIVITE DES DONNEES COLLECTEES.	62
IV.4.1.	<i>Détermination des paramètres de correction en mode image</i>	62
IV.4.2.	<i>Conversion du nombre de bâtiments par secteur statistique en densité de bâtiments par pixel de l'image créée au point précédent.</i>	63
IV.4.3.	<i>Représentation du nombre d'interventions enregistrées par pixel</i>	64
IV.4.4.	<i>Relation entre la densité du bâti et le nombre d'interventions enregistrées</i>	65
IV.4.5.	<i>Etude à l'échelle locale des sites montrant un nombre d'interventions par bâtiment plus élevé que la moyenne régionale</i>	65
IV.5.	DESCRIPTION SYSTEMIQUE DE LA ZONE ETUDIEE A L'ECHELLE REGIONALE ET LOCALE	67
IV.6.	ANALYSE GEOGRAPHIQUE DE L'OCCURRENCE DES INTERVENTIONS.....	83
IV.7.	ETUDE DES CONDITIONS LOCALES DU CENTRE-VILLE DE LIEGE	84
IV.8.	ETUDE DE L'OCCURRENCE DES INTERVENTIONS EN PERIPHERIE LIEGEOISE	88
V.	LA LUTTE CONTRE LES INONDATIONS DANS LE BASSIN MINIER LIEGEOIS : LE DEMERGEMENT ET LE RESEAU D'EGOUTTAGE URBAIN	89
V.1.	UNE CAUSE PONCTUELLE D'INONDATION : LE DEBORDEMENT DES AREINES	89
V.2.	LES RUISSEAUX URBAINS SOUTERRAINS	91
V.3.	LES INFRASTRUCTURES D'EGOUTTAGE DE LA REGION LIEGEOISE ET LEUR COMPORTEMENT VIS-A-VIS DES PRECIPITATIONS IMPORTANTES.....	92
V.4.	LES PRINCIPES DE SEPARATION DES RESEAUX DE RECOLTE DES EAUX USEES ET DES EAUX DE PLUIE	93
V.5.	LE DEMERGEMENT : LA MAITRISE DES EAUX EN MILIEU URBAIN.....	94
V.6.	L'AMENAGEMENT DES RIVES EN ZONE URBAINE.....	100
V.7.	LE SUIVI DU PROCESSUS DU DEMERGEMENT DANS LE FUTUR	101
V.8.	LES TRAVAUX RECENTS MIS EN ŒUVRE PAR LA VILLE DE LIEGE POUR LUTTER CONTRE LES INONDATIONS URBAINES	102
VI.	MODELE THEORIQUE DE LOCALISATION DES INTERVENTIONS.....	104
VI.1.	DELIMITATION DES BASSINS VERSANTS COMPRIS DANS LA ZONE D'ETUDE	104
VI.2.	ESTIMATION DES COEFFICIENTS DE RUISSELLEMENT SUR BASE DE L'AFFECTATION DU SOL.....	107
VII.	CONCLUSION	110
VIII.	BIBLIOGRAPHIE	112
ANNEXE	115

I. Introduction et définitions générales

I.1. Introduction

Ce mémoire consiste en l'étude des phénomènes hydroclimatologiques qui se sont déroulés au fil du temps dans la région de Liège. Ces événements concernent tant les inondations liées au débordement de la Meuse et de ses affluents que les inondations pluviales. Celles-ci, aussi appelées « flash-floods », ont pour origine d'intenses précipitations affectant généralement une superficie réduite et présentent une très grande variabilité spatiale.

Avant tout, il s'agira de définir l'ensemble des termes relatifs aux inondations en climat tempéré de manière à atténuer une certaine confusion liée à l'emploi par les médias de qualificatifs non adaptés aux situations rencontrées.

Dans un second temps, l'étude portera sur des phénomènes hydroclimatologiques relevés dans les archives et les textes historiques accessibles de manière à caractériser l'importance, la localisation et la répartition saisonnière des événements. Il s'agira également d'analyser l'occurrence de ces faits, en tenant compte de l'abondance des relevés disponibles et de la qualité des informations qu'ils contiennent. La période étudiée dans cette première partie débute au milieu du IX^e siècle, plus précisément au mois de mai 858, date à laquelle le premier flash-flood recensé en région liégeoise a été consigné dans les textes. L'étude historique globale se termine au mois de juillet 2004.

La troisième partie est consacrée à l'acquisition, la critique et la représentation détaillée des données relatives aux interventions effectuées par les pompiers de la caserne de Liège Outremeuse suite aux appels téléphoniques de la population dans le cadre d'inondations ou de pompages de cave. Pour des raisons que nous aborderons par la suite, le relevé de ces données s'étend du 1^{er} janvier 1993 au 3 juin 2004. Il est évident que cette seconde partie représente la majorité du temps alloué à la réalisation de ce mémoire. Au sein de celui-ci, les phases d'encodage et de localisation des interventions conditionnent la qualité des analyses qui s'ensuivent. Une grande attention a donc été apportée à l'élaboration de la base de données contenant l'ensemble des informations utiles.

Après avoir défini et caractérisé la zone d'intervention protégée par l'Intercommunale d'Incendie de Liège et Environs (IILE), la quatrième partie s'attellera à utiliser la base de données encodée en vue de concevoir différents types de cartes à l'échelle régionale et

locale. Celles-ci sont regroupées dans l'atlas hors-texte fourni avec ce fascicule. L'objectif est de déterminer l'influence des facteurs topographiques, géologiques, pédologiques et d'occupation du sol sur la répartition des interventions en région liégeoise. Les paramètres météorologiques prendront part à l'interprétation des cartes conçues précédemment. Il s'agira également de définir les événements pluvieux à l'origine des interventions effectuées par le corps des pompiers de Liège et de mettre en relation les hauteurs d'eau précipitées et l'importance des troubles causés en zone urbaine.

La cinquième partie présentera succinctement le démergement et les autres activités de l'Association Intercommunale pour le Démergement et l'Épuration des Communes de la Province de Liège (AIDE) destinées à lutter contre les inondations dans le bassin minier liégeois. En outre, des informations relatives au réseau d'égouttage et à son dimensionnement seront analysées vis-à-vis de son comportement face aux précipitations exceptionnelles.

Enfin, la sixième et dernière partie abordera la prévision des inondations pluviales urbaines de manière théorique. Basée sur l'étude des caractéristiques des bassins versants constitutifs de la zone étudiée et de l'occupation du sol, il sera question de déterminer l'incidence des paramètres physiques de ceux-ci sur les inondations.

I.2. Objectif de cette analyse

L'intérêt de ce mémoire est essentiellement la prévention des risques matériels, plutôt que l'aléa humain, en déterminant les zones susceptibles d'être régulièrement touchées par des inondations liées au ruissellement pluvial et aux coups d'eau provoqués par d'intenses précipitations orageuses ou non, généralement très localisées dans le temps et dans l'espace. Intéressons-nous tout d'abord à la définition de ces phénomènes.

I.3. Les types de crues¹

En matière d'hydrologie, on identifie plusieurs types d'inondations par les fleuves et les rivières. Ils se distinguent par leurs causes, leurs caractéristiques, leur durée et leurs conséquences au niveau physique et humain.

¹ [http://www.geosciences-consult.com/francais/Activite/diagnostic/Guide PME/FICHE B.pdf](http://www.geosciences-consult.com/francais/Activite/diagnostic/Guide_PME/FICHE_B.pdf), consulté le 16 mars 2004

I.3.1. Les inondations

Les inondations se traduisent par le débordement d'un cours d'eau sorti de son lit habituel (lit mineur), et atteignant de manière complète ou partielle son lit majeur. Il peut parfois être précédé ou suivi de remontées de nappes phréatiques et d'inondations de caves, suite au réajustement de l'équilibre hydrostatique. Leurs causes sont d'abondantes précipitations étendues sur plusieurs jours, voire plusieurs semaines, qui engendrent une saturation hydrique du sol. La fonte de la couverture neigeuse peut être à l'origine de cette situation. De confluence en confluence, le débit maximal pouvant être géré par la rivière ou le fleuve est dépassé et l'habitat est touché par l'inondation si aucune mesure de protection comme des digues ou des murs anti-crues n'a été mise en place.

→ Caractéristiques et conséquences des inondations de plaines :

- la montée des eaux est généralement longue (supérieure à une journée) ;
- la durée de submersion peut atteindre quelques semaines (essentiellement dans les points bas non drainés où l'eau ne peut être évacuée) ;
- les dommages matériels sont principalement dus à la durée de submersion et aux hauteurs d'eau ;
- le délai d'alerte vis-à-vis de la population est supérieur à la journée.

I.3.2. Le ruissellement et les inondations pluviales

Les inondations liées au ruissellement pluvial se manifestent par l'accumulation des eaux de pluie en zone urbaine fortement imperméabilisée. En zone rurale, le ruissellement entraîne l'érosion des terres non végétalisées ainsi que la réactivation des cours d'eau semi-permanents.

→ Caractéristiques et conséquences des inondations liées au ruissellement pluvial :

- le phénomène est localisé, intense et rapide ;
- les eaux de ruissellement s'accumulent dans les points bas. Les zones de stagnation des eaux de pluie, en particulier en zones urbaines y sont le plus soumises car l'état et la capacité du réseau d'évacuation pluviale ne permettent pas d'éviter l'inondation des quartiers les plus bas ;
- les zones en dépression qui ne peuvent offrir aux eaux de pluie d'autre exutoire que l'infiltration dans le sous-sol, l'évaporation ou éventuellement le pompage par une intervention anthropique particulière. Ces sites peuvent se trouver inondés sans qu'ils

soient en relation avec un quelconque cours d'eau. Il en est de même dans les zones à très faible pente, où l'évacuation ne peut se faire que très lentement ;

- le ruissellement pluvial peut réactiver de petits cours d'eau temporaires et favoriser l'érosion de ceux-ci ;
- des dommages dus à la violence du courant, à la durée de submersion, à une forte érosion sont généralement constatés ;
- le délai d'alerte est court (inférieur ou égal à la journée, mais parfois de quelques heures) ;
- les zones en relation directe avec une nappe phréatique affleurante préexistante (à ne pas confondre avec une remontée de nappe liée aux précipitations) conduisent, en cas d'abondantes précipitations, au développement de sols saturés en eau, ce qui conduit à une imperméabilisation locale.

Dans le cas d'une inondation pluviale, le niveau atteint par la lame d'eau et sa vitesse d'écoulement sont faibles. Lorsque ce type de phénomène gagne des secteurs étendus, on parle d'inondations de plaine. La population peut dès lors être touchée par ces flash-floods, car le temps de réponse hydrologique est beaucoup plus court que le temps de réaction nécessaire à la protection des biens et des personnes, contrairement à ce qu'il se passe lors d'une élévation régulière du niveau d'une rivière en crue.

I.3.3. Les crues torrentielles

Elles résultent de l'accélération du débit d'un torrent suite à d'intenses précipitations.

→ Caractéristiques et conséquences des crues torrentielles :

- des éléments solides sont charriés par les eaux ;
- la montée des eaux est rapide, les rivières et les fleuves affichent des vitesses et des débits considérables ;
- la durée de submersion est courte puisque le phénomène est ponctuel dans le temps et dans l'espace ;
- des dommages principalement dus à la violence et à la force du courant (arrachement, érosion) sont constatés suite à la crue torrentielle ;
- un délai d'alerte très court (inférieur à la journée).

Nous désignerons les « flash-floods » comme faisant partie des crues torrentielles, bien que leur définition soit peu précise dans nos régions. Le terme « floods » signifie qu'il s'agit d'un flux d'eau important submergeant des zones du territoire situées hors du lit mineur des rivières. L'adjectif « flash » indique que ce type d'inondation provient de subites et

importantes précipitations, se déroulant sur un sol relativement imperméable. Les flash-floods peuvent aussi résulter de la fonte rapide d'un manteau neigeux considérable. Nous verrons par après les raisons possibles de cette imperméabilisation.

La définition de l'*International Association of Geomorphologists* (GOUDIE, 2004) est similaire, mais fait également référence aux origines de ce terme de « flash-floods ». Un flash-flood désigne une augmentation rapide du débit d'une rivière ou d'un cours d'eau, provoquant un événement bref et ponctuel. Par convention, le terme a été associé aux régimes hydriques éphémères dans lesquels la majorité des événements sont alimentés par de fortes précipitations.

Le flash-flood affecte le lit d'une rivière qui est initialement à sec et qui est mis en eau en un court instant. Ce délai varie de quelques heures dans le cas de petits bassins versants à quelques jours lorsque le bassin implique une plus longue durée de transfert des précipitations. En conséquence, les flash-floods ont été, à l'origine, généralement associés aux déserts et aux semi-déserts des latitudes moyennes. Les flux rapides dans les régions de plus grande latitude résultent plus souvent de la fonte rapide des neiges. Cependant, le terme a également été utilisé plus largement pour décrire une subite augmentation du débit d'un cours d'eau intermittent ou semi-permanent due aux précipitations.

La Compagnie Suisse de Réassurances emploie également dans ses contrats le terme d'inondations soudaines : « Les inondations soudaines constituent le type d'événement le plus courant ; elles peuvent survenir pour ainsi dire n'importe où et causer d'énormes dégâts. Elles sont provoquées par des précipitations locales d'une intensité extrême, qui peuvent durer plusieurs heures. Le sol ne pouvant absorber qu'une faible partie des pluies, l'eau s'écoule pour l'essentiel en surface. Ce type d'inondation survient non seulement le long de petits et moyens cours d'eau, mais aussi à tous les points de confluence. Les réseaux de canalisations sont alors rapidement saturés et les eaux refluent pour s'infiltrer dans les bâtiments par voie souterraine »².

Nous pouvons constater ici que la notion d' « inondation soudaine » se rapproche de la définition actuellement retenue pour l'inondation pluviale.

² GASCHEN S., HAUSMANN P., MENZINGER I., SCHAAD W., PERILS C. 1999. *Les inondations : un risque assurable ? Un tour d'horizon*. Zurich : Compagnie Suisse de Réassurances – Swiss Re, 2 volumes, 39 & 51 p.

I.3.4. Les coulées boueuses

La Compagnie Swiss Re définit les coulées boueuses de la manière suivante. Un talus de terre meuble, dont la pente est proche de celle de l'équilibre de gravité peut céder à tout moment s'il est exposé à des pluies abondantes. Lorsque le sol est suffisamment saturé d'eau, il peut se transformer en une coulée de boue qui se précipite dans la vallée en empruntant les rigoles et ruisseaux, généralement en tête de bassin hydrographique. Une coulée boueuse provient d'un glissement de terrain conjugué avec une crue. De par leur vitesse et leur concentration en eau et en cailloux, les coulées boueuses sont potentiellement très dévastatrices. Elles surviennent généralement de manière ponctuelles mais plusieurs coulées de boue consécutives peuvent se succéder dans un court laps de temps et occasionner une inondation majeure.

I.3.5. Les remontées de nappes

Ce phénomène correspond à une inondation par débordement indirect. Il se manifeste par la remontée de la nappe phréatique qui affleure en surface et/ou d'une intrusion d'eau dans les différents réseaux d'assainissement. La crue de la rivière empêche l'évacuation des eaux et crée donc un refoulement. L'eau s'accumule dans ces zones jusqu'à ce que l'écoulement par gravité soit rétabli.

Ces phénomènes sont difficilement prévisibles et localisables sur carte, excepté dans les zones plus sensibles, fréquemment soumises à ce type de risque. Dans bien des cas, seule l'expérience d'une crue permet de classer telle ou telle zone comme pouvant être soumise dans le futur au même phénomène.

I.3.6. Les inondations liées aux anciennes conduites minières

Des « coups d'eau » peuvent se produire lors de fortes pluies suite au stockage de celles-ci dans les anciennes galeries minières. Les pompes d'épuisement n'étant plus en fonction, le niveau piezométrique varie selon les apports d'eau en surface. Les conduites d'exhaure, qui permettaient auparavant d'évacuer les eaux pompées dans les galeries des charbonnages, favorisent aujourd'hui des inondations dans une zone plus ou moins vaste à proximité de leur exutoire, généralement situé en bas de versant.

I.3.7. Les autres types d'inondations

D'autres phénomènes participent également à la submersion des territoires. Pour information, mentionnons les ruptures de digue de protection qui provoquent une inondation soudaine et violente ; et les tempêtes en zone littorale. Cependant, ces phénomènes ne concernent pas cette analyse.

I.4. Lexique des termes techniques utilisés dans cette étude

Les termes techniques repris dans ce texte sont définis en annexe.

A ce stade, une brève explication concernant les termes amenant une certaine confusion à propos du ruissellement et de l'écoulement est nécessaire. Un aperçu des processus génétiques du ruissellement sera abordé ultérieurement.

Afin d'éviter toute confusion, nous utiliserons le terme de ruissellement lorsqu'il s'agit d'une circulation organisée essentiellement le long des versants. L'écoulement correspondra à la circulation de l'eau dans un réseau hydrographique suffisamment marqué dans le paysage pour qu'il y soit perceptible.

I.5. Développement théorique de la genèse du ruissellement lié aux précipitations³

Trois théories s'affrontent pour expliquer la genèse du ruissellement sur les surfaces non imperméabilisées ou dont le coefficient d'imperméabilisation est faible. Ces surfaces concernent notamment les zones agricoles, les prairies, les vergers, les friches et les terrains vagues. Comme nous le verrons par la suite, l'affectation du sol de la zone étudiée hors de la zone fortement urbanisée de Liège mérite que l'on recherche les causes du ruissellement, à l'origine des flash-floods.

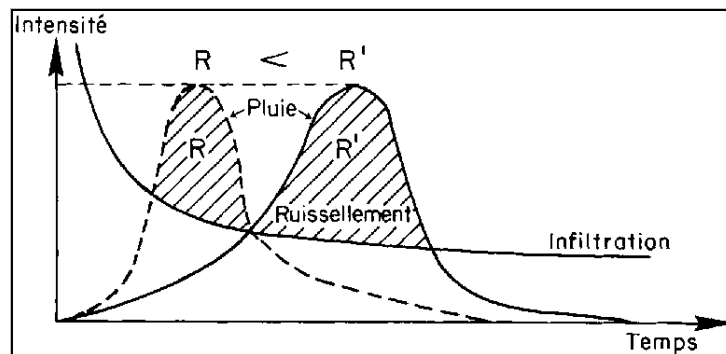
I.5.1. La théorie de Horton

Elaborée en 1945, la théorie de Horton postule que le ruissellement naît lorsque l'intensité des pluies est supérieure à la capacité d'infiltration du sol (voir figure 1). Si l'on compare l'infiltration à l'intensité de la pluie, on constate que l'intensité d'infiltration décroît au cours du temps, d'une part parce que le potentiel capillaire diminue à mesure que le front d'infiltration

³ Source : <http://www.fao.org/docrep/T1765F/t1765f0t.htm>

pénètre dans le sol et d'autre part, par dégradation de l'état de la structure à la surface du sol. Par contre, l'intensité de la pluie passe généralement par un (ou plusieurs) maximum et le volume de la pluie situé au-dessus de la courbe d'infiltration peut être considéré comme le ruissellement. Plus tôt apparaît ce maximum, plus réduit sera le ruissellement puisque la capacité d'infiltration diminue au cours du temps. Cependant, il est rare d'obtenir une bonne corrélation entre le volume ruisselé sur un bassin versant et l'intensité des pluies. Cette constatation a mené à chercher une autre explication.

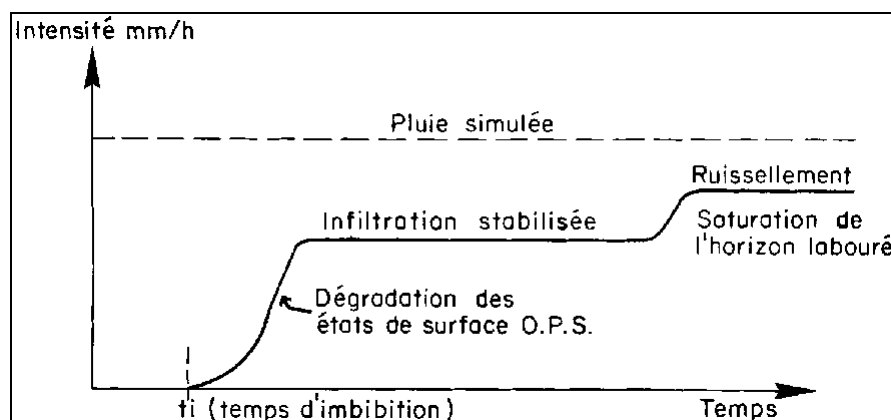
Figure 1. Processus génétique du ruissellement



Source : <http://www.fao.org/docrep/T1765F/t1765f0t.htm>

I.5.2. La théorie de saturation du milieu

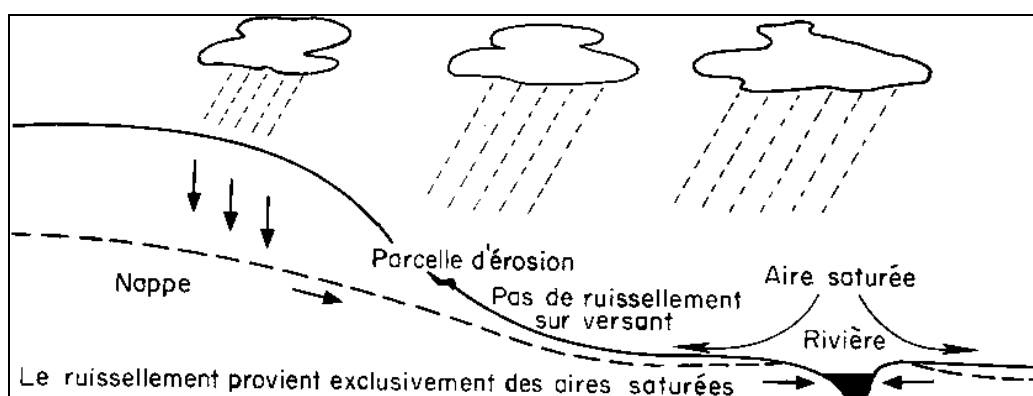
Selon cette théorie, le ruissellement apparaît lorsque l'espace poreux du sol est saturé (voir figure 2). Si au cours d'une pluie simulée on constate d'abord le démarrage du ruissellement après une pluie d'imbibition, le ruissellement va augmenter jusqu'à atteindre un niveau stabilisé correspondant à la capacité d'infiltration stabilisée du sol. Mais si le volume des précipitations s'accroît (au-delà de 100 mm), il peut arriver que l'on observe une nouvelle croissance du ruissellement et un nouveau plateau d'infiltration stabilisée. Il s'agit de la saturation de l'horizon labouré. On peut constater soit que l'intensité de ruissellement correspond exactement à celle de la pluie simulée si l'horizon de profondeur est totalement imperméable ou qu'il reste une certaine capacité d'infiltration résiduelle correspondant à celle de la couche inférieure du labour.

Figure 2. Etats hydriques du sol lors d'une simulation de précipitations

Source : <http://www.fao.org/docrep/T1765F/t1765f0t.htm>

I.5.3. La théorie de la contribution partielle de la surface du bassin au ruissellement

La figure 3 montre que le ruissellement observé au niveau de la rivière est fonction de la surface du sol saturé au fond de la vallée. Si, au cours de la saison sèche, on mesure le ruissellement sur un bassin versant, on constate que la rivière réagit très rapidement aux orages alors qu'on n'observe pas de ruissellement sur les versants. Le volume ruisselé est réduit pendant cette période sèche car la surface saturée du fond de vallée est très étroite, souvent réduite au lit mineur. En fin de période hivernale sous climat tempéré, par contre, lorsque tout le volume de la couverture pédologique a été réhumecté jusqu'à capacité au champ, la moindre averse réalimente la nappe. Celle-ci sature une surface plus grande que la vallée. Par conséquent, même s'il n'y a pas de ruissellement sur le versant en période humide, l'ensemble du bassin versant va contribuer au volume écoulé par la rivière par extension de la surface saturée, la nappe étant alimentée directement par le drainage de l'ensemble du bassin.

Figure 3. Illustration du phénomène de contribution locale au ruissellement

Source : <http://www.fao.org/docrep/T1765F/t1765f0t.htm>

I.5.4. Les facteurs influençant le volume ruisselé sur les surfaces perméables

I.5.4.1. La hauteur des précipitations

La hauteur des précipitations récoltées sur la surface concernée est le facteur principal gérant l'importance du ruissellement qui s'ensuivra. En première approximation, nous pouvons considérer que le ruissellement sera d'autant plus grand que la hauteur et l'intensité des précipitations sont importantes. L'intensité influence la battance et modifie les paramètres physiques de la surface du sol. Une dégradation de la structure du sol suite à d'intenses précipitations a pour effet de réduire la capacité d'infiltration du substrat.

I.5.4.2. L'humidité du sol préalable à l'averse

L'humidité du sol préalable à l'averse peut être définie comme étant le déficit de saturation de la couche pédologique superficielle juste avant l'averse. Certains auteurs la déterminent cependant en mesurant le temps écoulé depuis la dernière averse, bien que dans ce cas nous ne tenons pas compte de l'intensité et de la hauteur des précipitations antérieures. Un troisième paramètre permet enfin d'estimer de manière simple le déficit de saturation du sol en tenant compte des pluies ayant eu lieu durant les jours précédents l'estimation souhaitée en appliquant un coefficient de diminution de l'humidité du sol d'après le laps de temps écoulé depuis les derniers événements.

Comme exemple, nous citerons ici un ordre de grandeur concernant la pluie d'imbibition (la hauteur d'eau nécessaire pour saturer la couche superficielle du sol) qui varie en fonction de l'humidité préalable du sol. Elle variera de 10 à 40 mm sur un sol sec contre 1 à 10 mm sur un sol préalablement humide selon la FAO (*Food and Agriculture Organization*).

I.5.4.3. La superficie du bassin hydrographique concerné par l'averse

La superficie du bassin hydrographique drainé par un même thalweg influence également le volume ruisselé puisque la hauteur d'eau récoltée par ce chenal unique sera évidemment d'autant plus importante que la superficie du bassin drainé est grande.

I.5.4.4. La rugosité de la surface du sol

La rugosité de la surface du sol, qui correspond à l'importance des aspérités présentes à l'interface air-sol, influence la hauteur d'eau nécessaire à imbiber le sol. Cependant,

l'influence de la rugosité est moindre lorsque la pente du terrain augmente car le volume stocké dans les irrégularités du sol diminue.

I.5.4.5. L'inclinaison de la pente du terrain

Une pente locale forte diminue la quantité d'eau ruisselée. Cela résulte du drainage généralement plus favorable sur pente forte que sur un terrain plan. En outre, la formation des croûtes de battance est plus lente sur un terrain nu ayant une forte pente, la diminution de la capacité d'infiltration est donc moindre dans ce cas précis.

I.5.4.6. La longueur de la pente

La longueur de la pente influence également l'importance du volume ruisselé, même si théoriquement, ce volume, exprimé en pourcentage, reste constant tout au long de la pente.

I.5.5. Les facteurs influençant la vitesse du fluide en mouvement

La vitesse du fluide mis en mouvement dépend des trois paramètres suivants : l'épaisseur de la lame ruisselante, la pente du chenal emprunté par le ruissellement et la rugosité du sol. Sur sol nu, la pente favorise l'augmentation de la vitesse d'écoulement puisque l'énergie cinétique qu'acquièrent les particules de fluide s'accroît.

II. Brève description historique des phénomènes hydroclimatologiques à l'échelle mondiale et analyse détaillée de ceux-ci en région liégeoise

Préalablement à l'étude historique des événements liés à des précipitations exceptionnelles, il s'agira de décrire en quelques faits la localisation et l'importance de ces phénomènes naturels. La suite de ce chapitre sera consacrée exclusivement à l'étude des faits ayant touché la région liégeoise.

II.1. Répercussions des flash-floods dans le monde

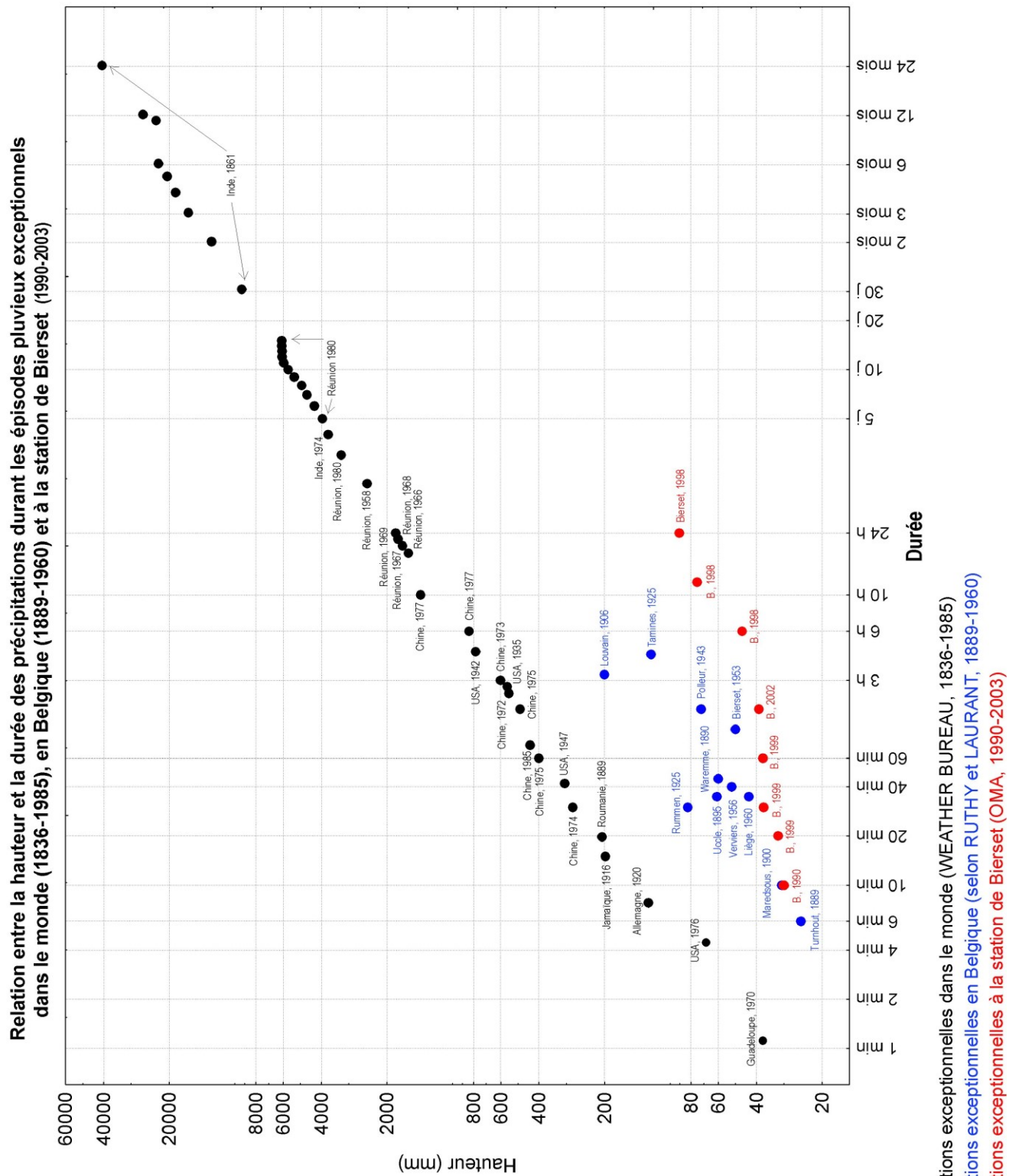
L'étude réalisée dans le cadre de ce mémoire se limite à la région liégeoise, sur une zone proche de 600 km². Néanmoins, il est intéressant de rassembler quelques éléments concernant cette problématique à travers la planète. Par souci de clarté, nous détaillerons le phénomène à deux échelles : mondiale et régionale.

II.2. Occurrence des précipitations exceptionnelles à l'échelle mondiale

La cause essentielle des inondations pluviales est essentiellement l'intensité des précipitations, c'est-à-dire la hauteur de la lame d'eau précipitée dans un laps de temps donné.

Elaborée à partir des données du *Weather Bureau* (USA) et de l'IRM (Uccle, Belgique), la figure 4 reprend les intensités maximales relevées depuis 1860 dans le monde et en Belgique. Les valeurs belges sont très largement inférieures aux intensités mondiales. Il est donc évident que la gravité des flash-floods est moindre en Belgique. Seuls de rares dégâts matériels sont occasionnés par ces phénomènes naturels. A l'échelle mondiale, les flash-floods peuvent prendre sporadiquement un caractère catastrophique, provoquer la perte de nombreuses vies humaines et engendrer un nombre considérable de sans-abri.

Figure 4. Les précipitations extrêmes dans le monde



II.3. Les précipitations exceptionnelles et les flash-floods à l'échelle régionale

En Belgique, et plus particulièrement dans la région liégeoise ou ses abords immédiats, de nombreux cas de flash-floods ou d'inondations exceptionnelles ont été recensées depuis plusieurs siècles. Nous retrouvons ci-dessous les événements enregistrés depuis le IX^{ème} siècle jusqu'au début du XXI^{ème} siècle. Ils proviennent de la compilation de six sources de données différentes. La lettre majuscule suivant la date de chaque événement indique la (les) source(s) ayant mentionné ce dernier.

A : <http://users.skynet.be/maevrard/CLIMAT.htm>, consulté le 16 mars 2004

B : ALEXANDRE P. 1987. *Le climat en Europe au moyen âge. Contribution à l'histoire des variations climatiques de 1000 à 1425, d'après les sources narratives de l'Europe occidentale*. Paris : Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Recherches d'histoire et de sciences sociales, **24**, 828 p.

C : LEJEUNE E. 2001-2002, *Analyse des « flash floods » et des précipitations de forte intensité en région wallonne*, mémoire de licence en Sciences Géographiques, Faculté des Sciences, Université de Liège

D : BROUYAUX F., MORMAL P., TRICOT Ch. & VANDIEPENBEECK M. 2004. *La Belgique au fil du temps, Les événements météorologiques marquants du vingtième siècle en Belgique*, Institut Royal Météorologique de Belgique. Bruxelles : Le Roseau Vert, 224 p. et <http://www.irm-kmi.be/...>, consulté le 16 mars 2004

E : SUTTON M. 1989. *Etude historique d'hydrologie fluviale. L'exemple de la Meuse*. Bulletin de la Société Géographique de Liège, 1989, vol. 25, pp. 159-174.

F : LE SOIR & LA LIBRE, Articles de presse écrite mis en ligne (<http://www.lesoir.be> & <http://www.lalibre.be>)

α En mai 858^A : des inondations pluviales dévastèrent Liège. L'Evêque de Troyes, Prudence, écrivait : « Au mois de mai 858, dans le bourg de Liège, une inondation subite causée par des pluies d'orage envahit si rapidement les rues, qu'elle entraîna des murs de pierre des maisons, même avec ce qu'elles renfermaient, voire des hommes, jusqu'à l'église Saint-Lambert, et précipita tout en Meuse ».

α Le 7 juin 1118^A : une pluie de déluge surprit les Liégeois. Un chanoine de Liège, auteur d'une chronique, notait : « la Légia a brisé ses ponts et renversé maintes constructions, nous avons craint la ruine entière de la Cité ».

α En avril 1189^A : « à la suite de pluies d'orage, par Pierreuse surtout et les hauteurs voisines, les eaux boueuses s'abattirent avec une telle rapidité, avec une telle véhémence, que tandis qu'elles enterraient les vivants n'ayant pas le temps de se garer, elles exhumaient les morts ».

✧ En 1191^A : « ... une inondation de semblable provenance que celle du mois d'avril 1189, dévasta de nouveau la Cité de Liège ».

✧ En 1463^A : un témoin oculaire, Andrien d'Oudenbosch, moine de l'abbaye de Saint-Laurent dit : « Il tomba, un jour, des pluies si abondantes que, subitement, le faubourg Sainte-Marguerite lança sur Liège une invasion phénoménale d'eaux argileuses. L'élément liquide pénétra dans l'église paroissiale Saint-Séverin, jusqu'au-dessus de l'autel majeur et déposa, sur toute la surface du sanctuaire, une couche épaisse de boue limoneuse à la hauteur d'un homme. Les eaux, en se répandant parmi la cité, entraînèrent tout ce qu'elles rencontraient sur leur course furibonde et portèrent la désolation jusque vers l'église collégiale Saint-Barthélémy. »

✧ Le 23 mai 1550^A : « à deux heures de l'après-midi, un orage épouvantable éclata sur la Chartreuse et les environs. De nombreuses constructions furent détruites en Basse-Wez. A l'hospice du Cornillon, des hommes trouvèrent la mort, ce jour-là, soit par noyage ou par ensevelissement dans la boue limoneuse emportée par les eaux. »

✧ En janvier 1726^A : une inscription rappelant le désastre figure dans l'église Saint-Denis, sur une colonne proche de la chaire de vérité : « 1726 - Januari - Hic stetit Mosa et congelatur » ; ce qui signifie « 1726 - Janvier - La Meuse arrive jusqu'ici et congela ».

Tableau 1. Événements hydroclimatologiques historiques selon ALEXANDRE (1987)

1056 ^B	Pluies abondantes avant le mois de juin
1089 ^B	Inondations (à Liège ?)
1116 ^B	Pluies abondantes en automne à l'époque des semailles ; processions à Liège pour faire cesser la pluie
1117 ^B	Pluies abondantes et fréquentes
1117 ^B	Orages à Liège le 2/5 (9/5), le 1/7 (8/7) et le 10/7 (17/7). Inondations de la Légia le 7/6 (14/6)
1174 ^B	Pluies abondantes du 24/6/1174 (1/7) (au 1/1/1175 ?)
1188 ^B	Inondations en avril à Liège, dans le quartier de Hors-Château
1190 ^B	Inondations à Liège
1195 ^B	Pluies abondantes du 24/6 (1/7) au 25/12 (1/1/1196)
1196 ^B	Pluies abondantes ; processions à Liège le 24/7 (31/7) et le 23/8 (30/8) pour faire cesser la pluie
1198 ^B	Orages en hiver (1198-1199), le 10/12 (17/12) et le 22/12 (29/12)
1206 ^B	Inondations (à la fin de l'année), la Meuse atteint un niveau élevé mais ne déborde pas
1215 ^B	Mois de mai pluvieux. Niveau élevé de la Meuse en mai.
1219 ^B	Hiver pluvieux du 30/11/1218 (7/12) au 25/12/1218 (1/1/1219)
1220 ^B	Temps venteux et pluvieux, avec des orages, à la Noël.

1335 ^B	Pluies abondantes pendant le mois d'août
1336 ^B	Inondations de la Meuse à Liège pendant huit jours, du 26/1 (3/2) au 2/2 (10/2)
1348 ^B	Inondations de la Meuse et des autres cours d'eau
1356 ^B	Inondations vers la Noël 1356
1367 ^B	Inondations à Liège vers le 7/3 (15/3)
1374 ^B	Inondations au début du mois janvier et au début du mois de février
1374 ^B	Inondations de la Meuse dans le quartier de l'île à Liège le 4/1 (12/1) et les jours suivants ; nouvelle inondation de la Meuse à Liège les 11 et 12/1 (19-20/1)
1374 ^B	Inondations à Liège vers le 6/1
1396 ^B	Inondations à Liège pendant huit jours en février, vers le 13/2
1408 ^B	Inondation des cours d'eau, due à la fonte des glaces ; inondation (de la Meuse) à Liège
1409 ^B	Inondation de la Meuse à Liège le 22/2 (3/3)

La confrontation des deux sources de données A (voir p. 18) et B (voir tableau 1) témoigne de certaines différences dans la datation des événements hydroclimatologiques enregistrés. L'analyse de critique historique extrêmement poussée réalisée par ALEXANDRE nous incite à penser que ses sources sont d'une grande fiabilité.

SUTTOR a compilé les événements postérieurs au XV^e siècle dans son étude historique d'hydrologie fluviale – l'exemple de la Meuse. Il s'agit ici de mettre en évidence les crues importantes, séculaires ou exceptionnelles. Cependant, aucun renseignement concernant la hauteur et l'intensité des précipitations n'a été accessible dans les archives historiques mises à notre disposition. Le tableau 2 résume les informations recueillies dans la région liégeoise.

Tableau 2. Puissance des crues à Liège - Essai d'interprétation et de classement selon SUTTOR (1989)

Type de documentation	Crues importantes	Crues « séculaires »	Crues exceptionnelles
Documentation lacunaire	1188 ^E 1190 ^E	1089 ^E	
Documentation satisfaisante	1348 ^E 1356 ^E 1367 ^E 1396 ^E 1408 ^E 1433 ^E	1336 ^E 1374 ^E 1409 ^E	

	1439 ^E		
	1516 ^E 1552 ^E 1556 ^E	1464 ^E	
	1614 ^E 1634 ^E	1571 ^E	1643 ^E
<i>Fin des dépouillements systématiques</i>		1658 ^E	1740 ^E
Documentation chiffrée avec données scientifiques		1850 ^E	1880 ^E 1925-1926 ^E

(*) Remarques : 1. Ce tableau ne comporte que les crues notées à Liège.

2. Le caractère parfois incomplet de la liste des crues traduit l'état de la documentation.

3. Le classement repose sur une interprétation d'ordres de grandeur fournis par les textes anciens ; la séparation en classes doit être considérée de manière relative.

Une lacune existe pour la période comprise entre 1740 et 1850. Aucune inondation ne semble avoir été enregistrée. Nous n'avons pas pu déterminer s'il s'agit réellement d'une lacune au niveau des phénomènes hydroclimatologiques ou s'il s'agit plutôt d'une lacune d'observation et/ou d'enregistrement des informations.

Les relevés ne concernent que la région liégeoise (et au maximum la province de Liège). Le choix a été fait de conserver les relevés relatifs à des inondations globales sur le territoire belge, même si la région ou la province de Liège n'ont pas été les lieux les plus sévèrement éprouvés.

10/07/1910^D : En Ardenne, de graves crues des cours d'eau se produisent au début du mois de juillet.

15/12/1925^D : La fonte de l'épaisse couche de neige accumulée depuis la fin novembre et les fortes pluies provoquent début janvier de graves inondations dans la vallée de la Meuse et de ses affluents.

29/12/1925^D : Les pluies extrêmement abondantes qui tombent depuis le 19 décembre, conjuguées à la fonte des neiges accumulées depuis la fin novembre vont provoquer le débordement des rivières, localement dès le 23 décembre, avant de s'étendre bientôt de façon dramatique à tout le bassin de la Meuse.

01/01/1926^D : Durant la nuit de nouvel an, la crue de la Meuse atteint son paroxysme. A Liège, son débit se situe à 3.500 m³ par seconde, alors que la moyenne annuelle du fleuve à cet endroit est de 250 m³ par seconde. Suite à cette crue exceptionnelle de la Meuse et de ses affluents, toutes les villes de la vallée Mosane sont sous eau. A certains endroits, comme à Seraing, le niveau des eaux atteint le premier étage des habitations. Par l'ampleur des dégâts qu'elle entraîne, c'est sans conteste,

la plus catastrophique des trois inondations majeures du siècle qui ont touché la vallée de la Meuse (les deux autres étant celles de décembre 1993 et janvier 1995).

04/05/1937^D : Les pluies sont abondantes dans la province de Liège : on mesure 41 mm à Stavelot, 81 mm à la Baraque Michel (Jalhay)...

03/11/1940^D : Des averses donnent 70 mm à Thimister en 24 heures...

26/08/1944^D : Le pays de Herve est touché par des précipitations orageuses très abondantes. On mesure 92 mm à Aubel, 88 mm à Thimister et 83 mm à Herve.

10/03/1947^C : Fortes pluies à Glons, dans la vallée du Geer.

06/04/1947^D : 59 mm sont relevés à Thimister.

13/09/1947^D : On signale de nombreux orages dans le pays. Il y a des inondations à Liège.

28/08/1949^D : La quantité d'eau relevée en 40 minutes au cours d'un orage à Bressoux (Liège) s'élève à 66 mm.

10/01/1952^D : Durant la première décade de janvier, les précipitations soutenues conduisent à une crue généralisée des cours d'eau, suivie d'inondations importantes dans de nombreuses régions du pays.

21/08/1952^D : En une semaine, on recueille 151 mm d'eau au pluviomètre à Thimister.

15/08/1954^D : Durant 2 jours, on recueille 50 à 80 mm quotidiennement. En Ardenne, les cours d'eau en crue débordent.

12/07/1955^D : Un violent orage donne lieu à un relevé de 86 mm de pluie à Nessonvaux (Trooz).

20/02/1957^D : Suite aux précipitations – parfois orageuses – vers le milieu du mois, de nombreux cours d'eau subissent une crue, suivie d'inondations dans plusieurs régions du pays.

30/09/1957^D : La dernière décade de septembre est très arrosée. Cela entraîne une crue généralisée des cours d'eau et des inondations en quelques endroits.

30/01/1961^D : Au sud du sillon du sillon Sambre-et-Meuse, la moitié des stations relève des cotes pluviométriques supérieures à 40 mm. Les pluies abondantes, accompagnées d'une fusion rapide de la neige qui recouvrait un sol gelé, conduisent à une brusque crue des cours d'eau, suivie d'inondations généralisées qui prennent des proportions particulièrement graves dans les vallées de la Sambre et de la Meuse.

12/02/1962^D : Les précipitations dépassent 40 mm en de nombreux endroits : 48 à Thimister. Ces abondantes précipitations pluvio-neigeuses tombées entre le 12 et le 15 février, conjuguées à la fonte du manteau neigeux en Ardenne, conduisent à des inondations en plusieurs endroits, plus particulièrement dans le sud du pays.

12/08/1964^D : A la suite d'orages, les pluies sont abondantes dans la province de Liège : 57 mm à la Baraque Michel (Jalhay), 80 mm à Thimister ...

16/11/1964^D : Entre le 13 et le 17 novembre, il pleut beaucoup dans le pays. Les cours d'eau sont en crue dans tout le pays et des inondations se produisent en plusieurs endroits.

10/01/1965^D : D'abondantes chutes de pluie à la fin du mois de décembre, associées avec la fonte d'une couche de neige, entraînent une crue générale des cours d'eau dans l'ensemble de la Belgique.

18/06/1966^D : Des orages conduisent dans l'est du pays à plusieurs cotes pluviométriques journalières très importantes : 102 mm à Bierset (Grâce-Hollogne).

20/06/1966^C : Suite aux pluies exceptionnelles, à Angleur, la route d'Esneux est sous quelques centimètres d'eau. Des caves sont inondées à Angleur et à Vaux-sous-Chèvremont. Cinq appels à la minute sont enregistrés par les pompiers dans la province de Liège. Les rues se transforment en torrents.

19/07/1967^D : A l'exception du littoral, tout le pays est touché par de violents orages. D'abondantes chutes de grêle sont signalées dans l'est et le sud du pays, causant des dégâts principalement dans la province de Liège.

01/08/1967^D : A Comblain-au-Pont, des précipitations orageuses donnent 104 mm au pluviomètre en vingt-quatre heures.

14/09/1967^D : On mesure une cote de 80 mm en vingt-quatre heures à Hermalle-sous-Huy (Engis).

26/08/1971^C : De fortes pluies consécutives à un orage violent provoquent un torrent de boue (40 à 50 cm de hauteur) qui envahit une centaine de maisons dans la vallée du Geer. Soixante-cinq maisons sont sinistrées. Le remplissage excédentaire des réservoirs de crue suite à la construction de l'autoroute A13 est en cause. A Visé, le pluviomètre recueille 74 mm d'eau en une journée.

24/10/1974^C : Les pluies sont très abondantes : intervention des pompiers dans la rue de Herve à Grivegnée, la rue des Croisiers à Rocourt et la rue du Bay-Bonnet à Magnée. Les caves de quelques maisons sont inondées à Plainevau, Liège, Jupille, Grivegnée et Seraing.

08/07/1975^C : Des pluies diluviennes sont tombées en soirée en région liégeoise : plusieurs routes ont été traversées par des torrents charriant boue et pierrailles mais aucune n'a été bloquée.

20/02/1977^D : Les pluies abondantes des première et deuxième décades du mois, associées à la fonte rapide d'une épaisse couche de neige, provoquent dans l'est et le sud du pays la crue des cours d'eau et des inondations dans ces régions.

09/06/1977^D : A l'exception de la région côtière, de violents orages s'abattent sur le pays. La pluie, le vent et la grêle entraînent de nombreux dégâts : caves inondées, arbres abattus, cultures abîmées, ...

21/07/1980^D : L'abondance des précipitations de la fin juin et des deux premiers jours de juillet avait déterminé une première crue des rivières de haute Belgique, suivie d'inondations. C'est toutefois le caractère généralisé des cotes de plus de 40 mm les 19 et 20 juillet qui est la cause d'une crue rapide de toutes les rivières du pays du 20 au 21, crue suivie d'inondations catastrophiques et d'une interruption de la navigation sur la Meuse.

05/08/1982^D : Au cours d'un orage, il tombe 70 mm d'eau dans le pluviomètre à Visé.

07/10/1982^D : Journée remarquable par l'abondance des précipitations sur l'ensemble du territoire. Treize stations recueillent un total pluviométrique journalier supérieur à 100 mm, ce qui est exceptionnel (notamment 108 mm à Bierset (Grâce-Hollogne)).

08/02/1984^D : Les pluies particulièrement abondantes des derniers jours provoquent d'importantes inondations. Débutant en Ardenne, elles s'étendent ensuite à la plupart des régions du pays.

24/11/1984^C : Suite à des trombes d'eau, la route Liège – Hamoir est coupée. Des flots boueux empruntent les routes.

20/05/1985^C : Coup d'eau et orage violent. Dans la vallée du Geer : inondation, glissement de terrain, boue et « vague détritique ». Le Geer n'est pas en crue, l'eau arrive directement par les vallées sèches.

20/01/1986^D : Gros coup d'eau entre 3 h et 8 h du matin. De nombreux dégâts dans la vallée du Geer.

06/05/1986^C : Un violent orage se déclenche en région liégeoise. A Liège et à Montegnée : inondations multiples et une personne est hospitalisée. Des zones agricoles cultivées avec des sillons parallèles à la pente et perpendiculaires aux habitations sont en cause.

21/12/1991^D : Depuis le 16 décembre, il pleut beaucoup dans le pays, surtout en Ardenne. Cette pluie se transforme brièvement en neige sur le plateau des Hautes – Fagnes. Le 21, de nombreuses cotes pluviométriques de plus de 40 mm sont relevées (jusqu'à 94 mm à Elsenborn, sur la commune de Bütgenbach). Elles vont provoquer des inondations qui perturberont le réveillon de Noël en plusieurs endroits.

26/12/1993^D : Les inondations de la fin de ce mois de décembre comptent parmi les plus catastrophiques de notre histoire contemporaine. Ces inondations sont dues pour l'essentiel à des totaux pluviométriques mensuels exceptionnellement élevés dans l'ensemble du pays.

31/07/1994^C : Grandes inondations. En basse Meuse, à Heure-le-Romain, la route s'est transformée en un fleuve de boue.

15/01/1995^D : Treize mois après les inondations catastrophiques de décembre 1993, les inondations de ce mois de janvier sont à nouveau d'une ampleur tout à fait exceptionnelle, touchant principalement le bassin de la Meuse. Elles s'expliquent surtout par les pluies abondantes qui arrosent le pays depuis la fin décembre 1994.

03/10/1995^C : Inondations dues à un orage violent localisé (vers 23h). Dans l'agglomération liégeoise, un niveau d'eau de 1,50 m a été relevé dans certaines caves. Aucune station météo n'a pu rendre compte de l'orage tant il était localisé.

08/06/1996^C : A Waremme, vers 18 h, les précipitations qui accompagnent un orage totalisent 89 mm dans le pluviomètre d'une station de mesures. En une seconde station, distante de la première d'un kilomètre, le total recueilli n'atteint « que » 72 mm. Le lendemain, la région de Crisnée et de Grivegnée est également atteinte par un orage en fin d'après-midi. Cent appels sont enregistrés en moins de deux heures chez les pompiers. D'autres perturbations ont lieu dans toute la région

(écroulement d'une passerelle à Grâce-Hollogne, dépavement à Grivegnée, affaissement de terrain à Awans, arbres déracinés à Argenteau, avaloirs obstrués et trémies noyées à Liège).

12/08/1996^C : D'intenses pluies touchent Liège, on relève 30 à 40 cm d'eau dans les rues.

14/06/1997^C : Fortes pluies à Liège (les trémies sont bouchées), à Chênée (écoulement de boue sur une hauteur de 20 cm), à Oupeye (coulée de boue), à Haccourt et à Heure.

13/09/1998^D : Journée exceptionnelle par l'abondance des précipitations, notamment en province de Liège. Des crues de cours d'eau et des inondations se produisent en de nombreux endroits, causées par l'abondance des précipitations des deux dernières journées, mais également par les pluies qui sont tombées régulièrement depuis le 21 août.

14/09/1998^C : En Hesbaye, les vallées sèches ont reçu un coup d'eau extraordinaire. Quelques dégâts à Bassenge mais le bassin d'orage du quartier du Pierreux (drainant la rue Pierreux et environs immédiats) a bien fonctionné. Quelques ruisseaux débordent dans la province de Liège.

04/07/1999^C : Orage violent. Le parking souterrain de la place Saint Lambert à Liège est inondé (750 m³ d'eau). Des torrents de boue se développent à Bassenge. Des ruisseaux débordent à Esneux, Herstal, Jupille, Neupré, Heure-le-Romain et Seraing.

30/12/1999^{C,D} : Le sillon Sambre-et-Meuse est touché par les crues résultant des pluies abondantes du 23 au 25 décembre et des précipitations incessantes depuis le début du mois.

08/05/2000^C : Coulées de boue à Esneux et à Tilff dans la vallée de la Chavresse, suite aux précipitations importantes (Esneux : 29 mm).

02/07/2000^D : Des orages accompagnés de précipitations intenses engendrent des inondations. Durant ce mois très humide, d'autres inondations liées à des orages ont également lieu par endroits les 4, 24, 27 et 29 juillet.

03/07/2000^C : Les pluies importantes depuis la veille causent le débordement du ruisseau du Fond des Moulins et de la Chavresse à Esneux, du ruisseau des Moulins à Jupille et du ruisseau de Cornillon à Seraing.

27/01/2002^D : Les pluies abondantes provoquent des inondations dans de nombreuses régions du pays : dans les Flandres et les provinces d'Anvers, du Limbourg, de Namur et de Liège.

27/02/2002^D : Les cours d'eau sont en crue et les pluies continues et abondantes provoquent de nouvelles inondations en de nombreux endroits des provinces d'Anvers, du Limbourg et de Liège.

29/12/2002^D : Les fortes pluies de la fin décembre provoquent des inondations importantes dans de nombreuses régions du pays.

30/04/2004^F : Il a plu à seaux sur la région liégeoise quand ont éclaté de violents orages ce vendredi en fin de journée. Ce fut un tel déluge durant une bonne demi-heure que les pompes de l'AIDE (Association Intercommunale pour le Démergement et l'Épuration des communes de la province de Liège) ont fonctionné durant près d'un quart d'heure et que le service 100 de Liège a reçu plus de deux cents appels, principalement pour des caves inondées. Des coulées de boue, de talus vers les

champs, ont eu lieu à Visé et à Grâce-Hollogne. A Liège, les services des travaux sont intervenus pour pomper et déboucher les avaloirs dans de nombreuses rues (Hesbaye, Molinvaux, Calvaire, Snapeux, Hocheporte, Robermont, Agimont, Kleyer, Jean d'Outremeuse, ...). En l'occurrence, la rue de Robermont a souffert suite à la rupture en deux endroits de l'égout collecteur principal en raison de la vétusté des installations et des vibrations provoquées par la circulation intense dans la rue. La trémie des bus du carrefour de Fontainebleau a été inondée ; elle a dû être fermée et le trafic fut détourné. Dimanche matin encore (le 02/05/2004), le service de nettoyage a enlevé les boues qui s'étaient répandues rue de la Légia. (Le Soir, mis en ligne le 3 mai 2004 et le 10 juillet 2004, <http://www.lesoir.be>)

10/07/2004^F : D'abondantes pluies ont causé le obstruction des égouts de la rue de Robermont et ont provoqué un reflux des eaux usagées vers les habitations des riverains. (*Le Soir*, mis en ligne le 10 juillet 2004)

24/07/2004^F : De violents orages se sont abattus sur la Belgique dans la nuit du 23 au 24 juillet 2004. Les pompiers de Liège se sont déplacés dans une dizaine d'endroits de la région, notamment pour placer des bâches sur des toits de maisons endommagés par les importantes précipitations. Les services de pompiers ont également dû intervenir dans la région d'Engis, de Saint-Georges-sur-Meuse et de Flémalle afin d'effectuer des pompages dans des maisons envahies par l'eau. (*Le Soir*, mis en ligne le 24 juillet 2004)

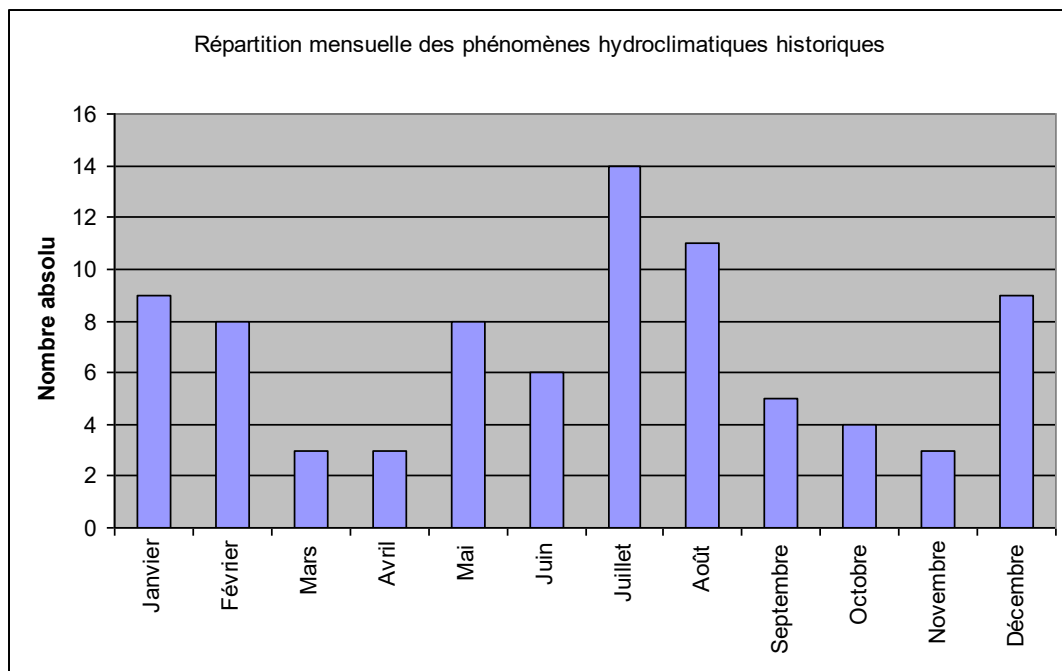
07/08/2004^F : De violents et répétitifs orages se sont abattus la nuit du 6 au 7 août. En région liégeoise, les pompiers ont dû intervenir pour des pompages de caves, à Awans entre autres. Les informations émises au journal télévisé de RTL-TVI du 07/08/2004 à 13h permettent de localiser la zone inondée par les orages en se basant sur le nom des témoins interrogés. Le témoin situé à Awans a vu sa cave inondée de plus d'un mètre d'eau, rue Jean Jaurès, 16 à Awans. Le second témoin a également été victime d'une inondation de cave située à la rue de Liège, 37B à Fexhe-le-Haut-Clocher. (*Le Journal Télévisé*, 13h, RTL-TVI le 07 août 2004 ; *Le Soir*, mis en ligne le 07 août 2004, http://www.lesoir.be/rubriques/belg/page_5168_242378.shtml)

II.4. Analyse de la répartition saisonnière des précipitations exceptionnelles à l'échelle historique en province de Liège

Les événements hydroclimatologiques relevés dans les documents historiques et les mesures scientifiques récentes (hors interventions des pompiers de Liège) permettent de déterminer la répartition saisonnière des faits enregistrés dans le passé. A cet effet, il s'agit de comptabiliser l'occurrence relative de ces événements selon le mois où ils se sont produits. Le tableau 3 et la figure 5 se rapportent à l'ensemble des 91 faits pour lesquels une indication mensuelle était renseignée. Les doublons liés à des erreurs de date mais se rapportant à un même épisode hydroclimatologique n'ont été comptabilisés qu'une seule fois de manière à éviter une surreprésentation qui induirait une erreur dans le calcul.

Tableau 3. Répartition mensuelle des événements climatiques à l'échelle historique (du IX^e au XXI^e siècle)

Mois	Nombre	Pourcentage
Janvier	9	11%
Février	8	10%
Mars	3	4%
Avril	3	4%
Mai	8	10%
Juin	6	7%
Juillet	14	17%
Août	11	13%
Septembre	5	6%
Octobre	4	5%
Novembre	3	4%
Décembre	9	11%

Figure 5. Répartition mensuelle des phénomènes hydroclimatologiques entre le IX^e et le XXI^e siècle en province de Liège

Nous observons une fréquence plus importante des dégâts liés aux fortes précipitations orageuses durant les mois de juillet et d'août d'une part et d'autre part, ceux ayant pour origine des pluies hivernales continues ou encore la fonte de la couverture neigeuse (en décembre et janvier essentiellement). Cette tendance est toujours marquée à l'heure actuelle comme le montrent les derniers événements catastrophiques subis en Belgique.

II.5. Analyse des données de précipitations exceptionnelles à la station météorologique de Liège-Bierset

Une averse est un ensemble de pluies associé à une perturbation météorologique bien définie. La durée d'une averse peut varier de quelques minutes à une centaine d'heures et intéresser une superficie allant de quelques kilomètres carrés durant les orages à quelques milliers lors des pluies cycloniques. Une averse peut également avoir plusieurs pointes d'intensité.

L'intensité moyenne d'une averse s'exprime par le rapport entre la hauteur de pluie observée (h) et la durée (t) de l'averse :

$$I_m = \frac{h}{t}$$

où : I_m est l'intensité moyenne de la pluie (mm/h)
 h est la hauteur de pluie de l'averse (mm)
 t est la durée de l'averse (h)

Pour des raisons pratiques, les intensités moyennes seront toujours présentées sur une base de temps d'une heure. Les hauteurs des précipitations horaires pour la période allant du 01/01/1993 au 31/12/2003 ont pu être obtenues auprès de l'Institut Royal Météorologique de Belgique. D'autre part, nous avons également pu accéder aux hauteurs maximales précipitées mensuelles sur des périodes continues de 10 minutes, 20 minutes, 30 minutes, 1 heure, 2 heures, 6 heures, 12 heures et 24 heures.

Grâce à ces renseignements, il est possible de calculer les hauteurs maximales annuelles ainsi que les intensités horaires maximales annuelles pour chaque intervalle de temps susmentionné.

Le tableau 4 reprend les hauteurs maximales annuelles entre 1990 et 2003 par intervalle de temps donné.

Tableau 4. Précipitations maximales annuelles recueillies à la station de Bierset pour chaque intervalle de temps (de 10 minutes à une journée) durant la période de 1990 à 2003 (en mm)

(en mm)	10 min	20 min	30 min	60 min	120 min	360 min	720 min	1440 min
1990	30,6	30,6	30,6	30,8	31,4	31,8	33	36,1
1991	7,6	8,5	9,1	11,1	12,8	19,2	20,6	27,2
1992	4,7	5,7	8,3	14,1	19,7	46,7	48,9	55,4
1993	6,9	6,9	9,8	13,8	15,1	19,4	31,2	48,4
1994	24,4	24,4	24,4	24,4	24,4	24,4	24,4	24,4
1995	7,6	10,1	11,4	22	14,1	24,2	34,1	34,3
1996	10,2	18,5	21,9	24,7	25,9	38	43,4	69,8
1997	10,3	17,7	22,1	25,1	25,1	25,4	32,5	33,9
1998	10	12,4	13,1	14,7	19,7	53,1	75	90,5
1999	16	31,9	37,1	37,4	39	40,3	40,9	40,9
2000	9,1	14,3	16,8	25,3	30,3	34,7	35,9	66,1
2001	4,2	7,5	7,6	9,2	10,6	16,9	22,8	24,5
2002	7,4	12,9	18,9	32,7	35,1	35,1	39,7	44,2
2003	8,9	10,9	12,2	12,2	15,2	19,4	21,1	25,4

Afin de calculer les courbes IDF, il s'agit de convertir ces hauteurs mesurées en intensités horaires et de les reclasser par ordre décroissant, sans tenir compte de la chronologie des événements pluvieux enregistrés. Le tableau 5 reprend le résultat de cette conversion et de ce classement. Les intensités sont exprimées en mm.h^{-1} .

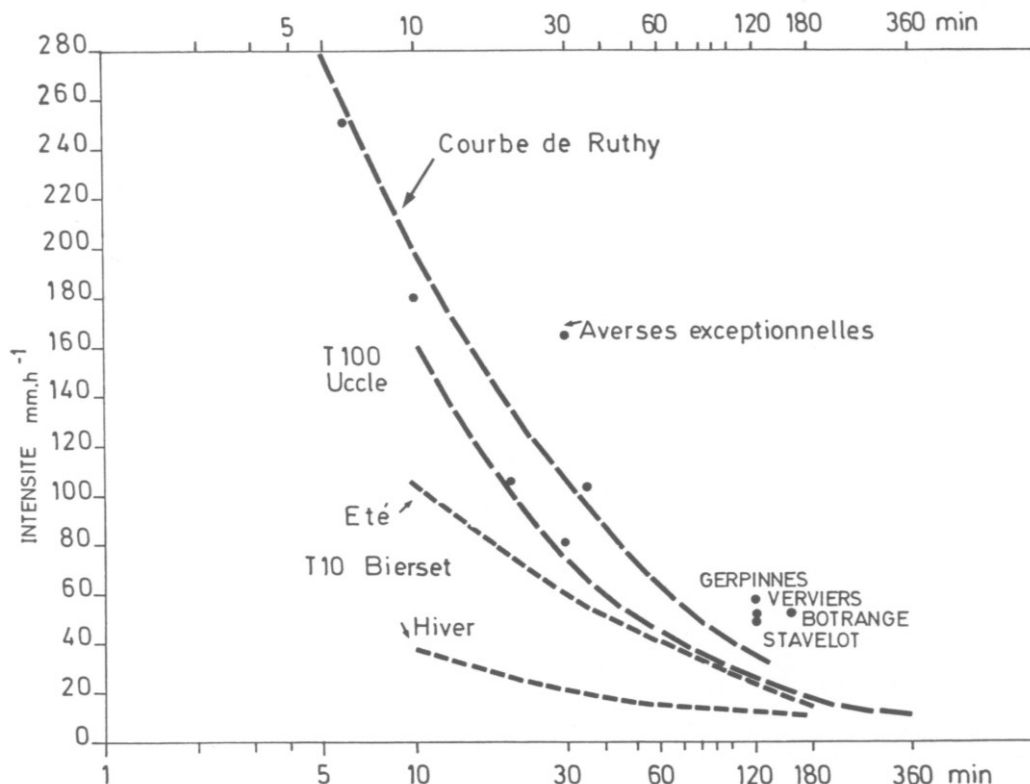
Tableau 5. Intensités maximales annuelles de précipitations (en mm.h^{-1}) à la station de Bierset, reclassées par ordre décroissant d'importance, pour la période de 1990 à 2003

Rang	10 min	20 min	30 min	60 min	120 min	360 min	720 min	1440 min
1	183,6	95,7	74,2	37,4	19,5	8,9	6,3	3,8
2	146,4	91,8	61,2	32,7	17,6	7,8	4,1	2,9
3	96,0	73,2	48,8	30,8	15,7	6,7	3,6	2,8
4	61,8	55,5	44,2	25,3	15,2	6,3	3,4	2,3
5	61,2	53,1	43,8	25,1	13,0	5,9	3,3	2,0
6	60,0	42,9	37,8	24,7	12,6	5,8	3,0	1,8
7	54,6	38,7	33,6	24,4	12,2	5,3	2,8	1,7
8	53,4	37,2	26,2	22,0	9,9	4,2	2,8	1,5
9	45,6	32,7	24,4	14,7	9,9	4,1	2,7	1,4
10	45,6	30,3	22,8	14,1	7,6	4,0	2,6	1,4
11	44,4	25,5	19,6	13,8	7,6	3,2	2,0	1,1
12	41,4	22,5	18,2	12,2	7,1	3,2	1,9	1,1
13	28,2	20,7	16,6	11,1	6,4	3,2	1,8	1,0
14	25,2	17,1	15,2	9,2	5,3	2,8	1,7	1,0

Ces résultats s'interprètent de la manière suivante. Le rang exprime le nombre de fois où l'intensité des précipitations pour un laps de temps donné a été atteinte ou dépassée durant la période d'étude. Par exemple, pour un intervalle de temps de 10 minutes, la valeur de $183,6 \text{ mm.h}^{-1}$ a été atteinte ou dépassée une fois en 14 ans tandis que la valeur de $60,0 \text{ mm.h}^{-1}$ a été atteinte ou dépassée 6 fois en 14 ans.

La figure 6 présente la courbe de RUTHY correspondant à l'ajustement des points correspondant aux intensités de précipitations maximales relevées en Belgique entre 1889 et 1960. Sur ce graphique sont également reportées deux courbes correspondant à une pluie décennale à la station de Liège – Bierset en situation hivernale d'une part et estivale d'autre part. Cela confirme l'influence saisonnière sur les caractéristiques des précipitations recueillies, tant à propos de leur intensité que de leur hauteur. Les averses orageuses estivales sont plus intenses sur des intervalles de temps courts que les pluies hivernales. Cependant, lorsque la durée des précipitations s'accroît, la courbe correspondant aux averses estivales tend à rejoindre la courbe hivernale. Cela représente sur le terrain le développement de conditions dépressionnaires durant l'été.

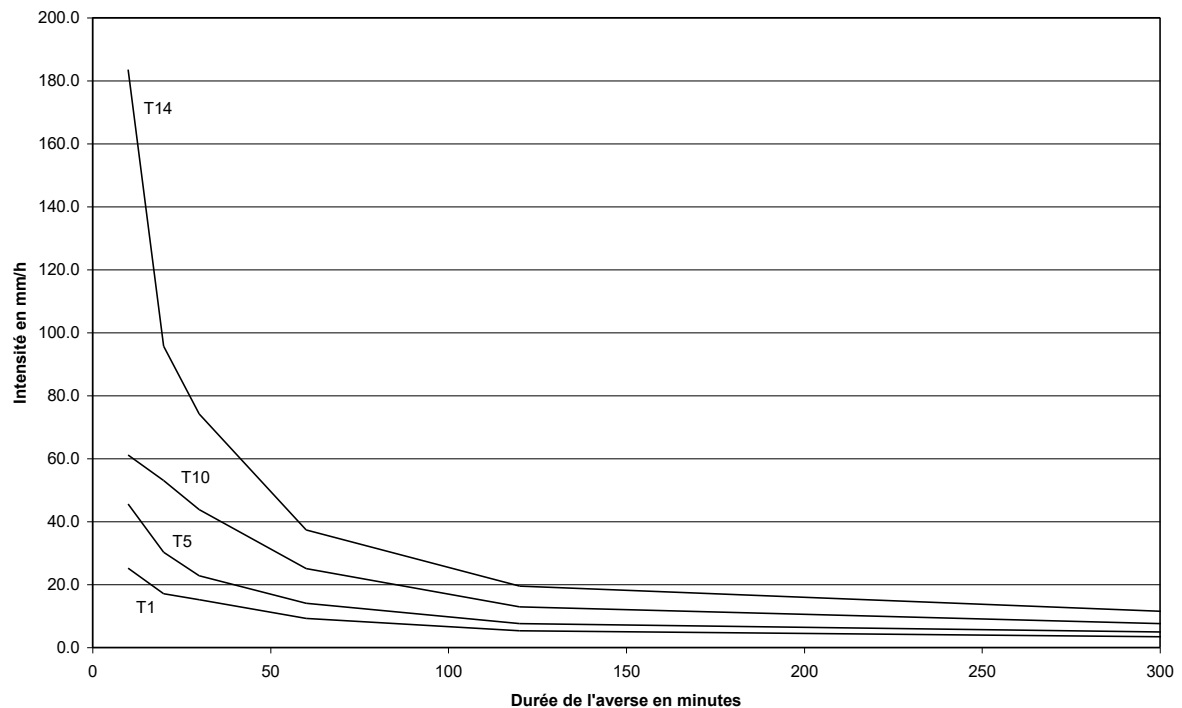
Figure 6. Averses exceptionnelles relevées en Belgique (d'après RUTHY et LAURANT). Courbe IDF pour la pluie centennale à Uccle, pour la pluie décennale à Bierset (différenciation été – hiver). (PETIT, 2001)



La représentation graphique des courbes d'intensité – durée – fréquence pour la période comprise entre 1990 et 2003 montre des similitudes dans l'allure des courbes représentant les différents laps de temps.

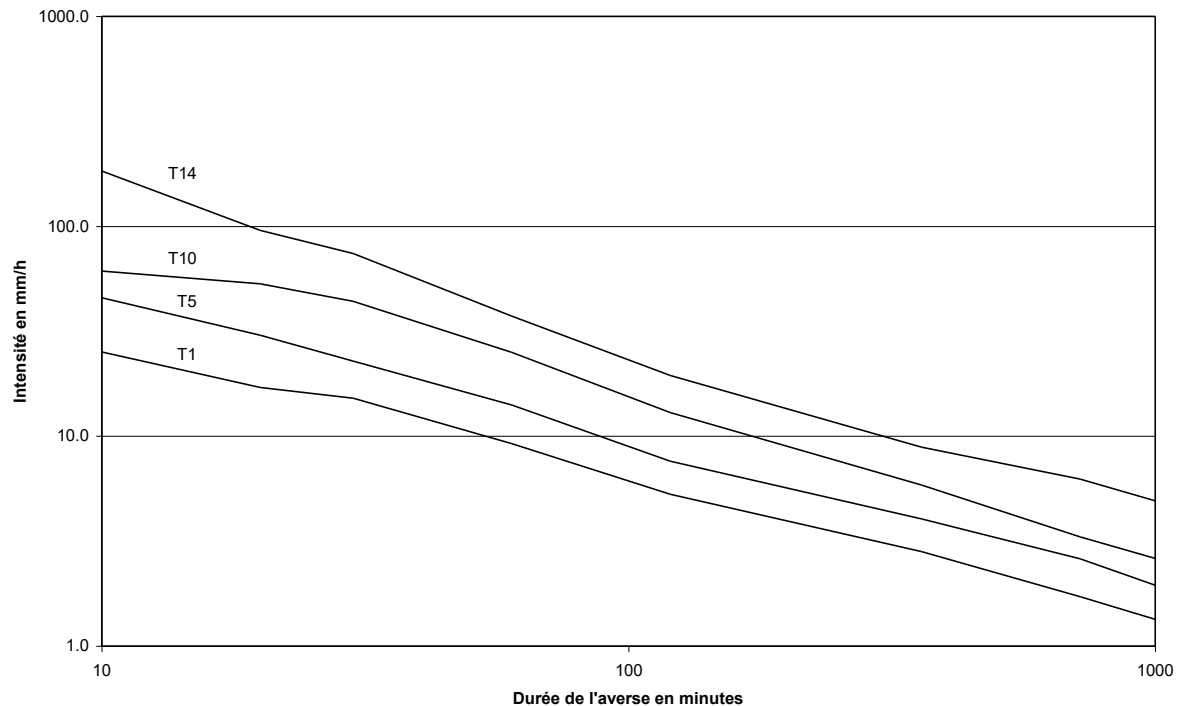
La figure 7 montre cette famille de courbes dans un espace linéaire. La courbe la plus proche de l'origine caractérise un événement fréquent ($T1 = 14$ fois en 14 ans) tandis que la courbe T14 montre un épisode pluvieux moins fréquent (1 fois en 14 ans).

Figure 7. Intensité maximale des précipitations pour chaque intervalle de temps et pour une récurrence de 1, 5, 10 et 14 ans (échelle linéaire)



Afin de visualiser plus précisément ces courbes, il s'agit de les représenter dans un espace dont les axes sont logarithmiques. Dans ce cas, la représentation montre un ensemble de droites ayant approximativement la même pente. Comme à la figure 7, seules quelques relations ont été représentées afin de ne pas nuire à la visibilité du graphique.

Figure 8. Intensité maximale des précipitations pour chaque intervalle de temps et pour une récurrence de 1, 5, 10 et 14 ans (axes logarithmiques)



De la même manière, les fréquences les plus grandes sont proches de l'origine. L'ordre de grandeur des valeurs présentées à la figure 6 est similaire à celui calculé sur les données récentes, en tenant compte de la moyenne des épisodes estivaux et hivernaux.

II.6. Analyse des hauteurs de précipitations pour les stations de la région liégeoise entre 1970 et 2002

L'analyse des précipitations a pour origine les données de l'IRM-OMA, présentées en dixièmes de millimètres de précipitation par jour pour la période comprise entre le 01/01/1970 et le 31/12/2002. Malheureusement, ce jeu de données se présentait à l'origine sous la forme d'une codification de manière à réduire la taille des données stockées. De plus, les valeurs étaient distribuées par décade, ce qui nous obligea à reformater cette base de données manuellement, puisqu'il était difficile d'automatiser la tâche étant donné le nombre variable de jour dans un mois, et notamment le problème du mois de février lors des années bissextiles. Dès lors, deux jours de conversion furent nécessaires pour transformer les valeurs brutes en valeurs datées utilisables par la suite. A l'origine, les données provenant d'une seule station furent transformées mais la conversion automatique des autres stations a heureusement pu être réalisée puisque les jeux de données s'étendent sur la même période. Les caractéristiques des stations météorologiques prises en compte sont indiquées dans le tableau 6. Elles ont été choisies pour leur proximité par rapport à la zone

d'étude. Il est à remarquer que la partie méridionale n'est cependant pas couverte par une station météorologique suffisamment proche (dans la région d'Esneux).

Tableau 6. Caractéristiques des stations météorologiques considérées

Code station	Nom station	X Lambert (m)	Y Lambert (m)	Altitude (m)
3601	Bierset	226.497	148.017	191
3704	Angleur	236.069	146.713	65
3706	Visé	243.182	160.184	63
3708	Liège-Monsin	240.041	151.260	58
5400	Thimister	255.775	150.287	266

Le fichier original se présente sous la forme suivante (voir tableau 7) :

Tableau 7. Extrait du fichier original des données de précipitations – règle de décodage

<i>Les nombres indiqués en italique correspondent au numéro du caractère de départ de chaque champ.</i>															
1	5	9	13	15	16	17	22	27	32	37	42	47	52	57	62
3704	6100	1982	11	1	1	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00013	00040	00004	00000
3704	6100	1982	11	2	1	00000	00090	00030	00015	00033	00080	00040	00005	00000	00000
3740	6100	1982	11	3	1	00023	00071	00011	00003	00047	00005	00000	00000	00000	00000
3740	6100	1982	12	1	1	00000	00000	00000	00000	00104	00012	00044	00003	00179	00042
3740	6100	1982	12	2	1	00000	00094	00000	00013	00095	00056	00034	00000	00065	00020
3740	6100	1982	12	3	1	00090	00026	00000	00015	00008	00000	00000	00000	00000	00000

La nomenclature permettant de convertir les données est reprise ci-dessous. Les valeurs données en exemple sont issues du tableau 7:

- les caractères n°1 à 4 correspondent au code de la station (ex. : 3740 : code de la station d'Angleur)
- les caractères n°5 à 8 indiquent le type de données (ex. : 6100 : précipitations journalières enregistrées entre 8h le jour donné et 8h le lendemain)
- les caractères n°9 à 12 mentionnent l'année (ex. : 1982)
- les caractères n°13 et 14 indiquent le mois (ex. : 12 : décembre)
- le caractère n°15 donne le numéro de la décade (de 1 à 3 ; ex. : 1 : décade du jour n°1 au jour n°10 du mois considéré)
- le caractère n°16 indique le nombre de décimales utilisées (ex. : 1, ce qui signifie que les valeurs sont exprimées en dixièmes de millimètres)
- les caractères n°17 à 66 comprennent les valeurs de précipitations pour chaque jour dans la décade considérée. Les valeurs manquantes reçoivent le code 99999

Exemple récapitulatif : les précipitations mesurées le 9 décembre 1982 (mois n°12, décade n°1, jour n°9) sont égales à 17,9 mm.

Afin de caractériser les événements pluvieux sur une période climatologiquement significative, nous avons d'abord utilisé l'ensemble des données pour chacune des cinq stations. Cela nous a permis de calculer les valeurs moyennes mensuelles des précipitations journalières moyennes, minimales et maximales sur la période comprise entre 1970 et 2002.

Figure 9. Valeurs moyennes mensuelles des précipitations journalières moyennes sur la période de 1970 à 2002 pour les cinq stations sélectionnées

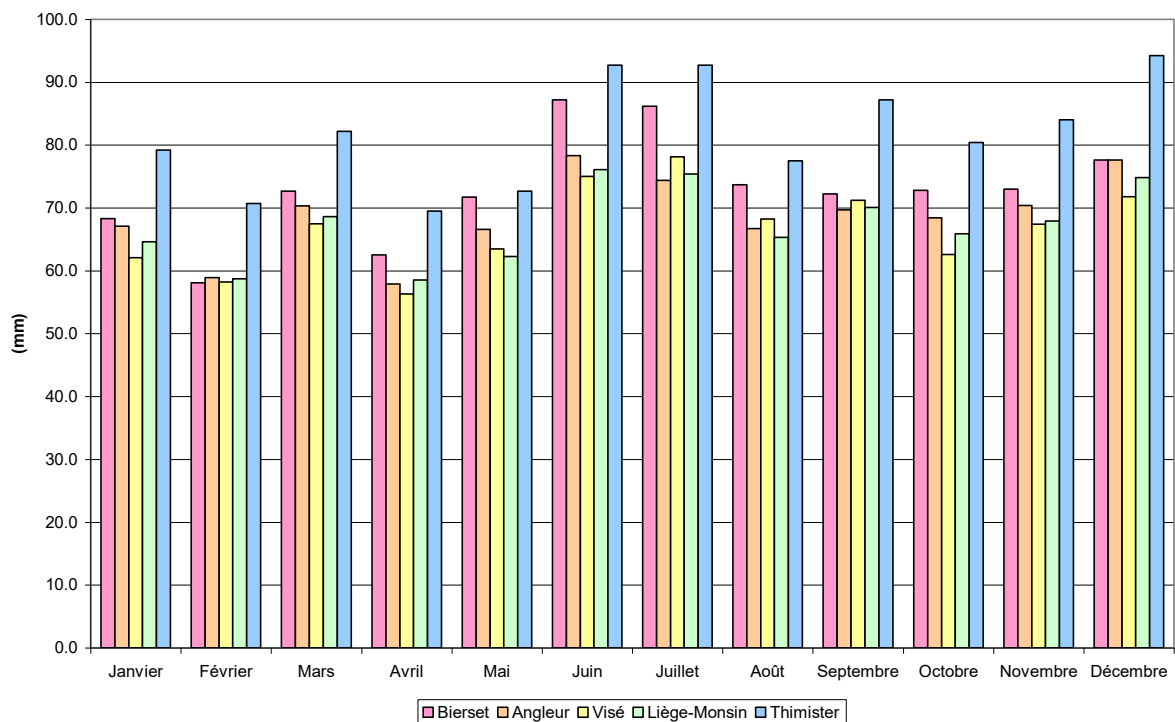


Figure 10. Valeurs moyennes mensuelles des précipitations journalières minimales sur la période de 1970 à 2002 pour les cinq stations sélectionnées

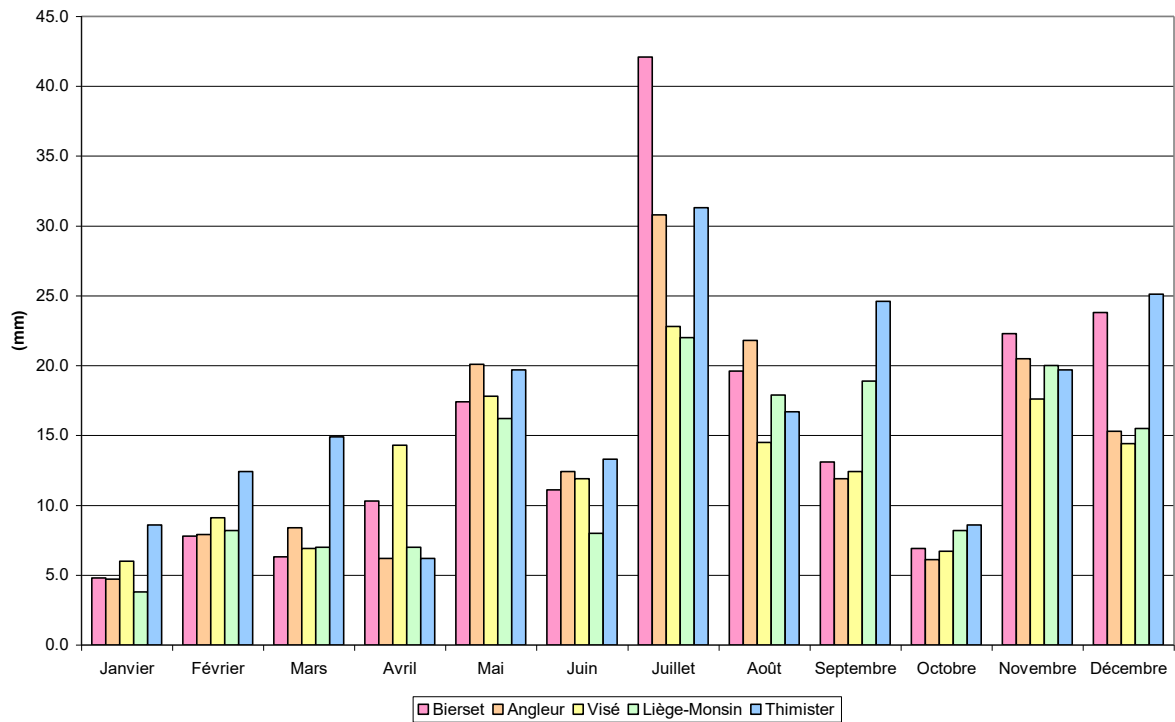
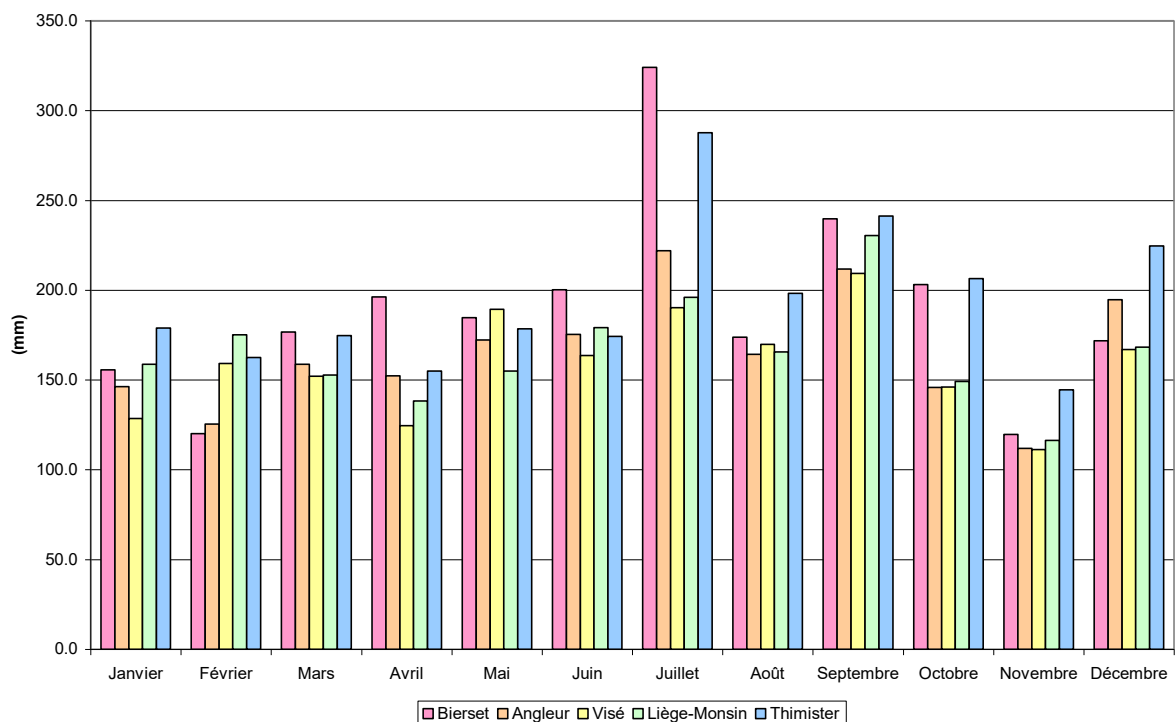


Figure 11 : Valeurs moyennes mensuelles des précipitations journalières maximales sur la période de 1970 à 2002 pour les cinq stations sélectionnées



Les graphiques précédents montrent pour les stations de Bierset et de Thimister un surplus conséquent de précipitations maximales et minimales relevées entre 1970 et 2002. En juillet, lors de la période orageuse favorisant les inondations pluviales dues au ruissellement de surface, le résidu positif de la station de Thimister peut être expliqué par l'altitude plus élevée de cette station (266 m), celui de Bierset semble corrélé à des conditions de stations particulières qui favoriseraient le développement d'averses orageuses dont les causes sont inconnues. Les hauteurs de précipitations minimales sont également plus importantes en décembre dans les deux stations précitées, mais cela semble lié uniquement à leur plus haute altitude.

Les précipitations moyennes mensuelles, quant à elles, ne montrent pas d'anomalies significatives, elles sont globalement reliées à l'altitude la station. Néanmoins, le petit nombre de stations ne permet pas d'établir une relation hauteur de précipitations – altitude significative.

Avant de tenter d'établir une corrélation entre la hauteur de précipitation journalière et le nombre d'interventions réalisées par les pompiers de Liège, il est nécessaire d'établir une représentation de la hauteur d'eau recueillie par station sur la période pour laquelle nous disposons des archives d'interventions, c'est-à-dire entre le 01/01/1993 et le 03/06/2004. Les données pour l'année 2004 étaient cependant indisponibles. Cette représentation graphique aura pour but de repérer les divers événements pluvieux ayant eu lieu durant cette période.

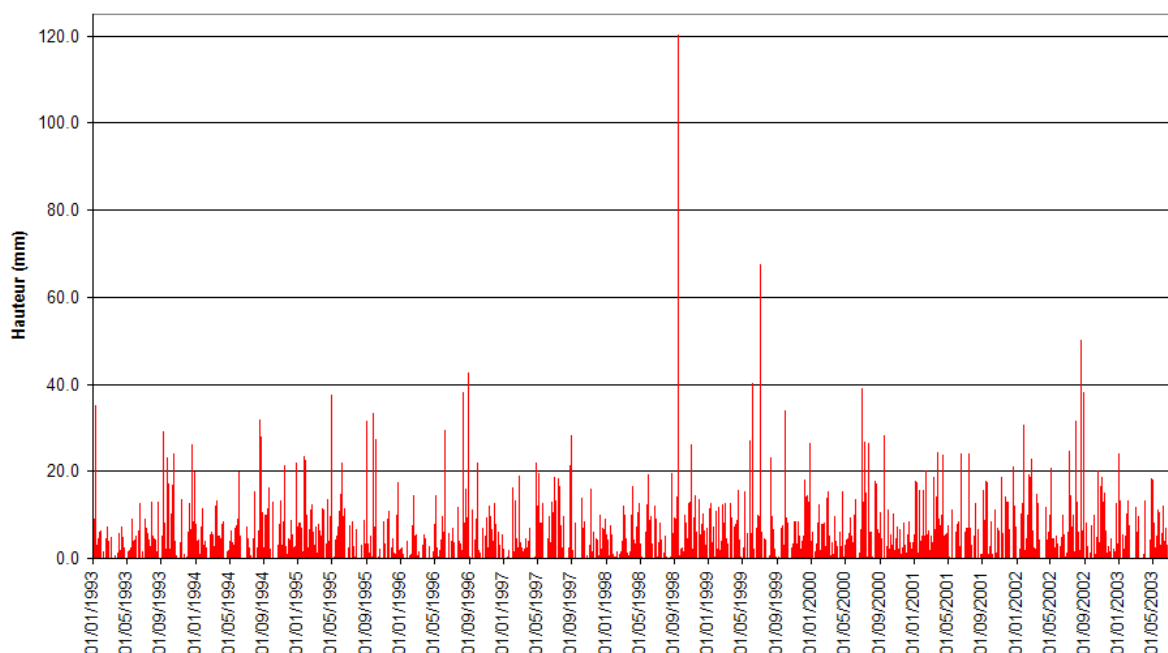
En addition des données codifiées obtenues à l'Institut Royal Météorologique, les hauteurs de précipitations pour les stations de Liège-Monsin, Scry (jusqu'au 30/06/1996) – Strée (au-delà du 01/07/1996) et Bierset ont également été encodées. La liste disponible pour Bierset a l'avantage de contenir en outre la durée totale des précipitations quotidiennes. Cela permet d'obtenir l'intensité moyenne des précipitations sur l'aéroport liégeois. Il faut noter que les mesures sont réalisées entre 08h00 (temps officiel) du jour donné et 08h00 le lendemain.

Pour assurer la cohérence des représentations graphiques suivants, les axes sont figurés à la même échelle. Les valeurs minimales et maximales en ordonnées étant respectivement de 0 et 125 mm/jour.

Cette analyse complètera l'étude des précipitations horaires⁴ relevées à la station de Bierset pour la détermination des événements pluvieux.

Figure 12. Précipitations journalières à la station de Liège-Monsin entre 1993 et 2003

Station de Liège - Monsin : précipitations journalières



⁴ Remarque : les données horaires de la station de Liège Bierset sont exprimées en temps UTC. Il s'agit donc de rajouter une heure en hiver et deux heures en été pour correspondre à l'heure légale. Celle-ci est mentionnée dans la base de données encodée à partir des archives de l'IILE.

Figure 13. Précipitations journalières à la station de Bierset entre 1993 et 2003

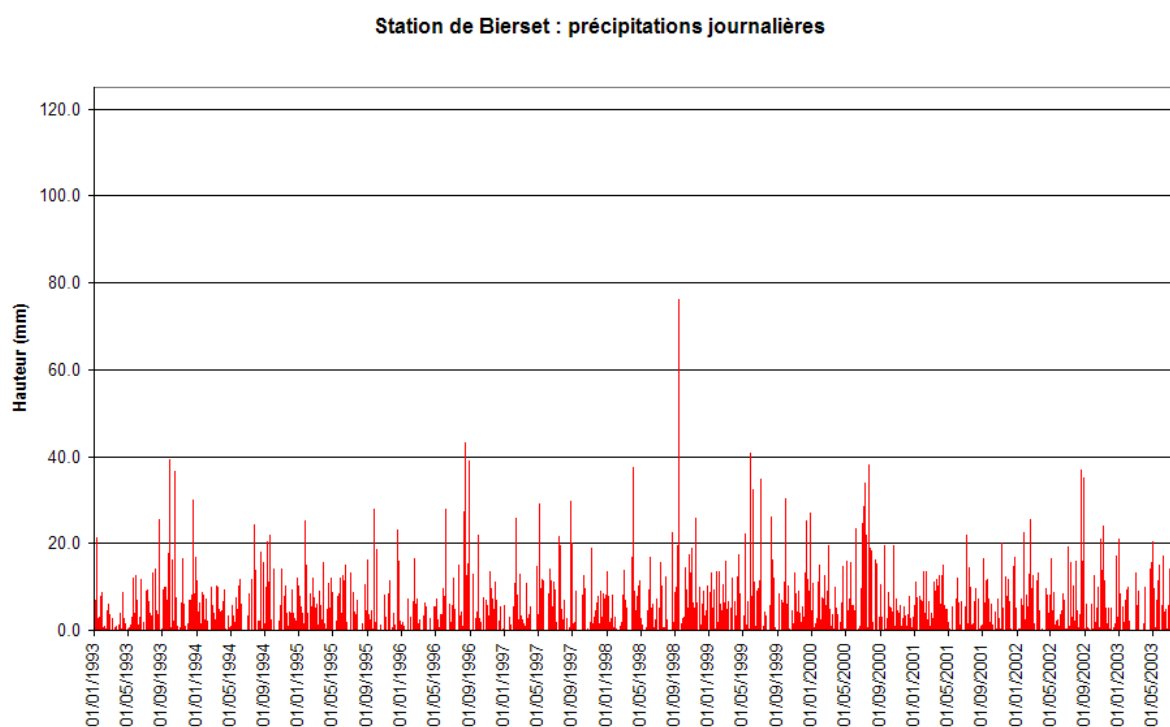


Figure 14. Précipitations journalières à la station de Scry - Strée entre 1993 et 2003

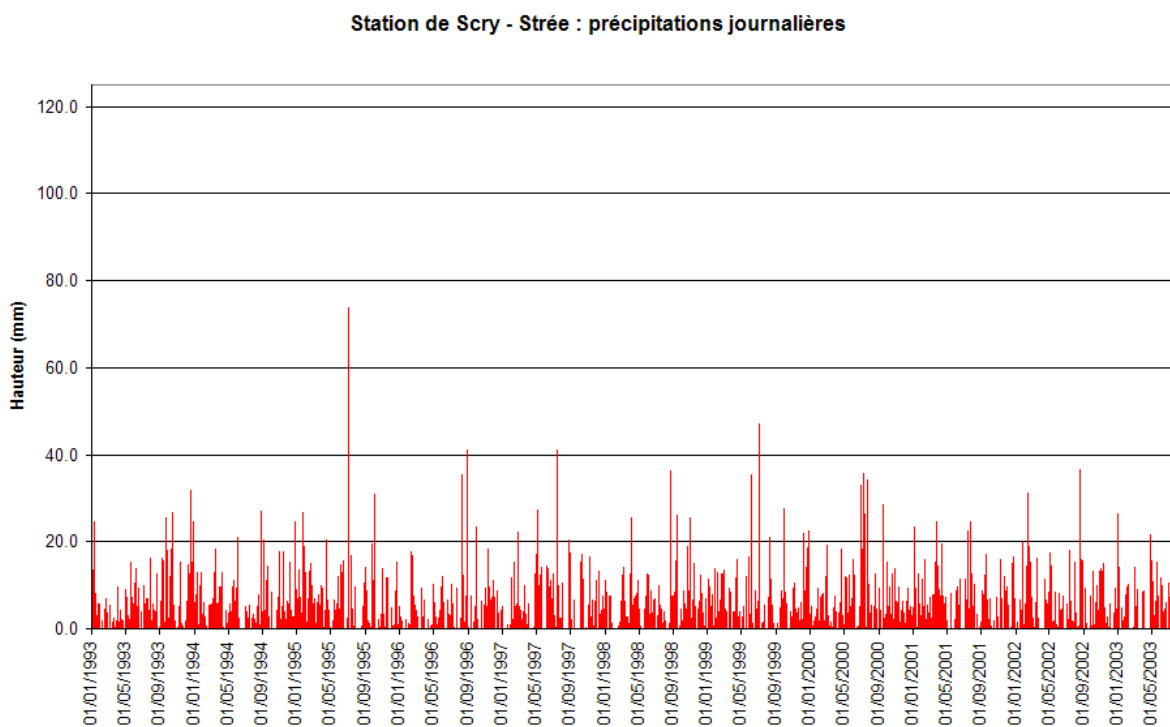
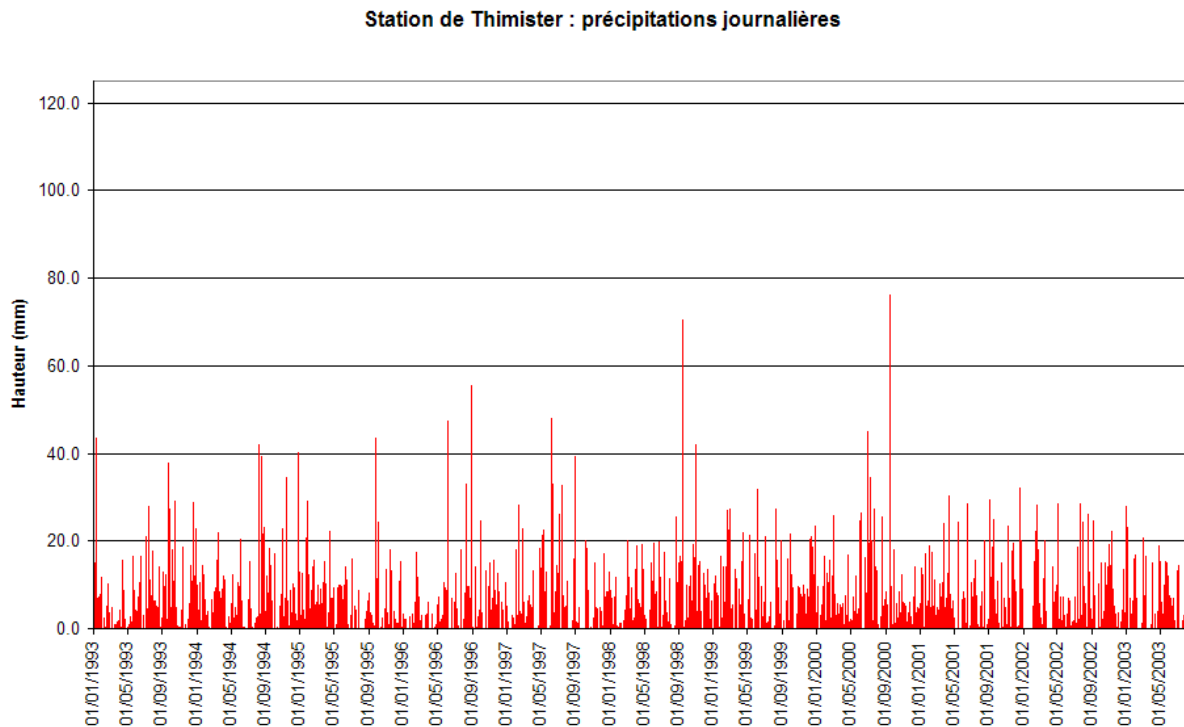


Figure 15. Précipitations journalières à la station de Thimister entre 1993 et 2003

Comme il est possible de l'observer sur les figures précédentes, il existe de fortes variations de hauteur de précipitations selon les stations étudiées. Les effets de site et l'extension spatiale et la variabilité de la couverture nuageuse génératrice des pluies observées semblent en être la cause. Bien que l'allure générale des histogrammes soit semblables dans les cinq stations analysées, les pics correspondant à d'importants épisodes pluvieux présentent des valeurs variables. Le tableau 8 révèle l'importance des similitudes entre les différentes stations par l'intermédiaire du calcul du coefficient de corrélation établi pour entre les précipitations journalières des stations prises deux à deux. Le tableau 9 donne le coefficient de détermination de ladite relation.

Tableau 8. Coefficient de corrélation de l'ajustement des hauteurs d'eau précipitées entre les cinq stations pour la période comprise entre 1993 et 2003.

R	Liège Monsin	Scry - Strée	Thimister	Bierset
Liège Monsin	1.00	0.79	0.82	0.71
Scry – Strée	0.79	1.00	0.78	0.72
Thimister	0.82	0.78	1.00	0.70
Bierset	0.71	0.72	0.70	1.00

Tableau 9. Coefficient de corrélation de l'ajustement des hauteurs d'eau précipitées entre les cinq stations pour la période comprise entre 1993 et 2003.

R ²	Liège Monsin	Scry - Strée	Thimister	Bierset
Liège Monsin	1.00	0.63	0.68	0.50
Scry – Strée	0.63	1.00	0.62	0.51
Thimister	0.68	0.62	1.00	0.49
Bierset	0.50	0.51	0.49	1.00

Il ressort de cette analyse statistique que les hauteurs quotidiennes précipitées en deux endroits différents ne présentent pas une bonne corrélation. La part de variance expliquée par la variation de hauteurs quotidienne précipitée en une station par rapport à une autre est comprise entre 49 et 68 %. Cela explique pourquoi certaines interventions sont très localisées dans l'espace et que, sous certaines conditions, une averse orageuse locale ne soit enregistrée par aucune station météorologique de la région liégeoise alors que des appels pour pompage aient été réceptionnés à la centrale du service d'incendie. Les cartes des événements majeurs montrent en effet des cas d'inondations ou de pompage alors qu'aucune précipitation n'ait été récoltée à Bierset. Une étude approfondie de la variabilité spatiale et temporelle des précipitations, avec une résolution accrue, pourrait permettre de compléter notre connaissance des causes des interventions.

III. Conception de la base de données des interventions des pompiers de Liège dans le cadre des pompages et inondations

III.1.Méthodologie de l'encodage

Les données ayant permis la réalisation de ce travail proviennent des rapports des interventions effectuées par la caserne centrale de l'Intercommunale d'Incendie de Liège et Environs (IILE), rue Ransonnet, 5 à 4000 Liège. (04/344.98.11). Il s'agit des rapports consignés par la centrale d'incendie pour chaque appel à l'aide reçu. Ces archives sont disponibles sous forme papier pour la période comprise entre le 01/01/1993 et le 14/04/1999 ; sous forme numérique, extraite de la base de données Abifire gérée par l'IILE, entre le 15/04/1999 et le 03/06/2004. Le choix de la période étudiée résulte de la difficulté d'accéder aux données des événements enregistrés par l'IILE avant le 31/12/1992. Le manque de temps n'a pas permis d'accéder ni d'encoder l'ensemble des archives disponibles. La période d'étude a donc été définie entre le 01/01/1993 et le 03/06/2004.

Un tri préalable des informations fut nécessaire au moment même de l'encodage afin de ne sélectionner que les appels correspondant à des inondations ou à des pompages, comme le mentionne la nomenclature utilisée par l'IILE. Dès lors, l'encodage proprement dit a pu débuter en consignait les informations dans une base de données Microsoft Access© par l'intermédiaire d'un formulaire prévu à cet effet (voir figure 16).

Figure 16. Visualisation du module d'encodage du rapport d'intervention élaboré dans Microsoft Access © par E. HALLOT

RAPPORT D'INTERVENTION

Référence

Date Intervention

Heure Appel

Commune

Rue

Numéro

Nature du sinistre

Valeur des dégâts

Blessés

Décédés

Sauvetage

Rapport succinct

Durée d'intervention

Les champs ci-dessous présentent les caractéristiques suivantes :

- ▣ Référence : numérotation des rapports encodés attribuée automatiquement
- ▣ Date Intervention : date de réception de l'appel
- ▣ Heure Appel : heure de réception de l'appel
- ▣ Commune : commune et code postal d'où provient l'appel
- ▣ Rue – Numéro : nom de la rue et numéro renseignés par l'appelant
- ▣ Nature du sinistre : type d'intervention effectuée (inondation, pompage, fausse alerte bien intentionnée ou fausse alerte mal intentionnée). Il arrive parfois que le sinistre déclaré ne corresponde pas au sinistre constaté sur place. Dans ce cas, la nature du phénomène constaté sera indiquée dans ce champ de manière à faciliter les traitements ultérieurs.
- ▣ Valeur des dégâts : il s'agit de la valeur estimée des dégâts par le personnel réalisant l'intervention. Cette information n'est que très rarement renseignée.
- ▣ Blessés – Décédés – Sauvetage : le nombre de personnes touchées par le sinistre auraient dû être relevés, mais l'absence de données a entraîné l'abandon de ces trois champs dans l'analyse.
- ▣ Rapport succinct : sont repris ici les commentaires sur la situation et sur l'intervention effectuée. Quand ce champ est complété, il mentionne généralement l'origine du sinistre, les

conditions atmosphériques et/ou topographiques, la quantité ou la hauteur d'eau approximative relevée sur place et le matériel utilisé pour venir au secours de la population (type et capacité des pompes, etc.).

▫ *Durée d'intervention* : le rapport présente les heures de départ et de retour à la caserne des équipes, ce champ correspond à ce laps de temps.

Il est évident que l'encodage manuel des données archivées sur papier constitue la partie essentielle du travail. Un peu plus de six mois, à raison de 10 à 15 heures par semaine furent nécessaires à la numérisation. De la qualité de cet encodage dépend la facilité et l'exactitude des traitements ultérieurs.

III.2.Remarques méthodologiques

Durant la numérisation des données, de nombreux cas indiqués comme « pompage » ou « inondations » ne relevaient pas exactement d'un réel débordement, d'un ruissellement de surface ou d'infiltrations (écoulement hypodermique). Parmi les phénomènes n'ayant pas été encodés, on retrouve :

- des inondations liées aux réseaux de distribution d'eau : rupture de canalisation en voirie ou sur un terrain privé, rupture de tuyauterie dans une habitation, fuites au raccord entre deux conduites d'eau, robinets laissés ouverts durant une (trop) longue période, etc. Dans ce domaine, on note essentiellement des ruptures et des fuites de canalisation consécutives à de longues périodes de gel intense (particulièrement au mois de janvier 1997) ;
- des dégâts relatifs à des travaux publics : inondations de zones en travaux, rupture du réseau d'égouttage, etc. ;
- d'autres phénomènes anthropiques : vidange de piscines, transfert de liquide entre deux réservoirs requis par la population, etc. ;

III.3.Critique des données encodées

Ce paragraphe constitue un point essentiel préalable à l'analyse des données contenues dans la base de données encodées sur base des rapports d'interventions de l'IILE. En effet, ceux-ci n'ont pas pour objectif de classer avec une grande précision les phénomènes auxquels les pompiers ont été confrontés mais plutôt d'émettre quelques renseignements pratiques. Les descriptions établies au moment des faits, lorsqu'elles existent sur le rapport écrit, ne permettent généralement pas d'établir avec précision l'origine de l'eau, l'importance

du volume à pomper, les caractéristiques microtopographiques locales ayant pu occasionner des accumulations d'eau ou favoriser le ruissellement rapide d'une lame d'eau importante.

En effet, il est essentiel de savoir que tous les événements repris dans cette base sont ceux qui étaient classifiés en tant que « pompage » ou « inondation ». Le premier correspondant dans l'immense majorité des cas au pompage de caves sans information particulière sur l'origine de l'eau ; le second représente également des pompages de caves et de rez-de-chaussée d'habitations confrontées au débordement significatif d'un cours d'eau proche. Comme nous pouvons le constater, seules les quelques informations disponibles dans le rapport d'intervention permettent, avec une incertitude relativement importante, de classer les différents types de causes en se basant également sur la localisation des habitations concernées et les conditions météorologiques de la période considérée. Cependant, de nombreuses causes échappent à l'analyse car des situations ponctuelles et variables dans le temps n'ont généralement pas permis de les caractériser. Même une vérification ultérieure sur le terrain apporte peu ou pas d'informations étant donné le nombre et la variabilité des facteurs influençant la présence anormale d'eau dans les caves des habitations. Il conviendra, dès lors, de ne pas négliger ces considérations pratiques dans l'ensemble de ce mémoire.

III.4.Examen des supports de données disponibles

Les archives facilement accessibles se présentaient sous la forme papier pour la période comprise entre le 01/01/1993 et le 14/04/1999. Il s'agit d'être attentif au fait que le taux d'erreur d'encodage n'est probablement pas nul, bien que de nombreuses précautions et vérifications aient été mises en place durant la phase d'encodage. Cependant, aucune lacune n'a été découverte parmi l'ensemble de la période considérée, nous considérerons à raison que la totalité des appels reçus à la caserne font bien partie de la base de données analysée ici.

L'acquisition des interventions de la période comprise entre le 15/04/1999 et le 03/06/2004 coïncide avec l'informatisation des services de l'IILE. Les événements étudiés ont dès lors été facilement extraits de la base de données *ABIFIRE* en créant une requête prenant en compte les éléments suivants : sélection des interventions pour « pompage » ou « inondation » et extraction de l'adresse postale, du code postal, du nom de la commune, de la date et de l'heure d'appel, et enfin du rapport succinct de chacune d'entre elles. Comme nous pouvons le remarquer, moins de paramètres ont été volontairement recueillis. Nous

avons en effet constaté que certains éléments n'apportaient que très peu d'informations pertinentes concernant le sujet de l'étude.

Un traitement a été effectué *a posteriori* sur les interventions encodées à partir de la forme numérique car il s'agissait d'éliminer les appels qui se référaient à des causes anthropiques, comme indiqué au § III.2. Lorsque aucune information précise n'était indiquée dans le rapport succinct, les interventions concernées ont été conservées. Cela prévient l'élimination involontaire de faits potentiellement importants pour l'analyse qui s'ensuivra.

III.5. Analyse statistique de l'occurrence des interventions

L'occurrence des interventions représente le nombre d'appels reçus durant la période de référence (pour rappel, du 01/01/1993 au 03/06/2004) dans l'ensemble du territoire couvert. A partir des coordonnées déterminées de chaque adresse postale apparaissant dans la base de données, la carte n°38 a été élaborée. Pour les mêmes raisons que précédemment, la carte est plus précise dans les communes de Liège, Seraing et Saint-Nicolas que dans les autres communes. Une attention particulière a été apportée à l'harmonisation de l'ensemble des adresses de manière à éviter les doublons. Si, par inadvertance, des doublons résiduels existaient encore dans la base de données⁵, deux symboles d'occurrence plus faible se superposeraient, ce qui sous-estimerait l'occurrence réelle à cet endroit.

Notons également à ce sujet que les numéros de police comme par exemple le numéro 41 et le numéro 41B de la même rue ont été regroupés en une seule et même adresse, puisque la précision de leur localisation dans les logiciels utilisés est insuffisante pour les individualiser. Ceci n'engendre qu'une légère approximation sur moins d'1% des localisations.

La cartographie de l'occurrence d'interventions est faite en associant à chaque couple de coordonnées x, y Lambert une valeur représentant le nombre d'appels reçus sur la période analysée. Nous comptons 2.483 localisations distinctes, c'est-à-dire dans la même rue et au même numéro.

⁵ La présence de doublons résiduels peut en effet provenir d'une irrégularité dans la conversion des adresses postales enregistrées. Les vérifications nécessaires ont été mises en œuvre pour éviter ce type de désagrément.

III.6. Tentative de classification des interventions sur base des rapports succincts des interventions du service d'incendie

Lors de l'encodage préliminaire, une partie des interventions enregistrées ont été agrémentées d'un rapport succinct expliquant la situation en cours sur les lieux et émettant parfois des hypothèses quant à l'origine du sinistre. Dans le but de réaliser une typologie des interventions effectuées, il nous a semblé nécessaire de classer les différentes situations rencontrées sur le terrain par le personnel de secours. Un code particulier a été attribué à chaque item de la base de données afin de renseigner le type de problème rencontré.

Lorsque aucune information n'est disponible pour permettre d'analyser la situation ayant prévalu au sinistre, le code 0 est indiqué. Dans les autres cas, les codes utilisés sont repris dans le tableau 10.

Tableau 10. Codification des interventions existant dans la base de données

0	Aucune information disponible
1	Les services de secours ne sont pas intervenus ou n'ont rien constaté d'anormal (par exemple si l'eau qui s'était accumulée s'est évacuée par elle-même entre le moment de l'appel et l'instant où les secours sont arrivés sur les lieux) ou encore si le niveau d'eau était trop faible que pour l'évacuer avec les moyens dont disposent les services d'incendie
2	Pompage d'eau dans une cave, sans explications sur l'origine de l'eau
3	Pompage d'eau provenant des égouts dans une cave
4	Pompage d'eau provenant d'une infiltration dans une cave
5	Pompage d'eau dans une cave, dont l'origine est liée à de fortes pluies : flash-floods
6	Débordement d'un puits
7	Causes anthropiques ayant conduit à une intervention (ex. : vidange suite à l'arrêt de pompes d'épuisement ou liée au mauvais entretien d'équipement divers ; débordement de citernes, ...)
8	Inondation (débordement de cours d'eau)
9	Pompage d'une cage d'ascenseur inondée
10	Intervention liée au dégel
11	Infiltrations provenant d'une ancienne conduite d'exhaure
12	Débordement d'un bassin d'orage
13	Source d'eau

Remarque : lorsque des renseignements correspondant à deux codes différents ont été mentionnés dans le rapport succinct d'intervention, seul le code paraissant être le plus important pour l'analyse ultérieure a été retenu.

La proportion relative des différents types d'intervention est notifiée dans le tableau 11.

Tableau 11. Proportion relative des différents types d'intervention par code préalablement défini

Code	Intitulé	Nombre d'interventions	Proportion relative
0	Aucune information	389	12,2%
1	Pas intervenus ou R.A.S.	514	16,2%
2	Pompage de cave, cause inconnue	975	30,7%
3	Pompage de cave, égouts bouchés	80	2,5%
4	Pompage de cave, infiltrations	152	4,8%
5	Pompage de cave, fortes pluies	663	20,9%
6	Débordement d'un puits	1	0,0%
7	Causes anthropiques	45	1,4%
8	Inondation	286	9,0%
9	Pompage de cage d'ascenseur	58	1,8%
10	Dégel du sous-sol	7	0,2%
11	Conduites de charbonnage	3	0,1%
12	Débordement de bassin d'orage	2	0,1%
13	Source d'eau	1	0,0%

III.7. Cartographie par type d'intervention

Une fois que la classification des interventions a été réalisée, elle a été utilisée pour créer un ensemble de 14 cartes de la région liégeoise exprimant la localisation précise de chaque type de situation rencontrée. Les paragraphes suivants décrivent la situation des sinistres pris en compte selon leur type ainsi que la dispersion ou la concentration de ces points dans l'espace. Cette cartographie reprend l'ensemble de la période d'étude, sans distinction des différents événements pluvieux. Cependant, seules les cartes présentant un nombre suffisant d'informations ont été conservées.

III.8. Relation entre le type d'intervention et l'altitude des points définis

Nous avons tenté de trouver une relation d'une part, entre le nombre d'interventions, tous codes confondus, et l'altitude à laquelle ces points sont localisés (les altitudes propres à chaque point ont été extraites à partir du modèle numérique de terrain d'une résolution de 30 m fourni par l'Institut Géographique National, en fonction des coordonnées x y Lambert

de chaque intervention, elles-mêmes déterminées grâce aux adresses postales). En outre, une éventuelle relation entre le nombre d'intervention de chaque type (codes 0 à 13) et l'altitude a également été recherchée.

Il est nécessaire de déterminer la part relative du territoire analysé par tranche d'altitude, puisqu'il est plus probable d'enregistrer un nombre d'appels plus important dans les zones d'altitude les mieux représentées.

Figure 17. Relation entre le nombre d'interventions et leur altitude (codes 0 à 7)

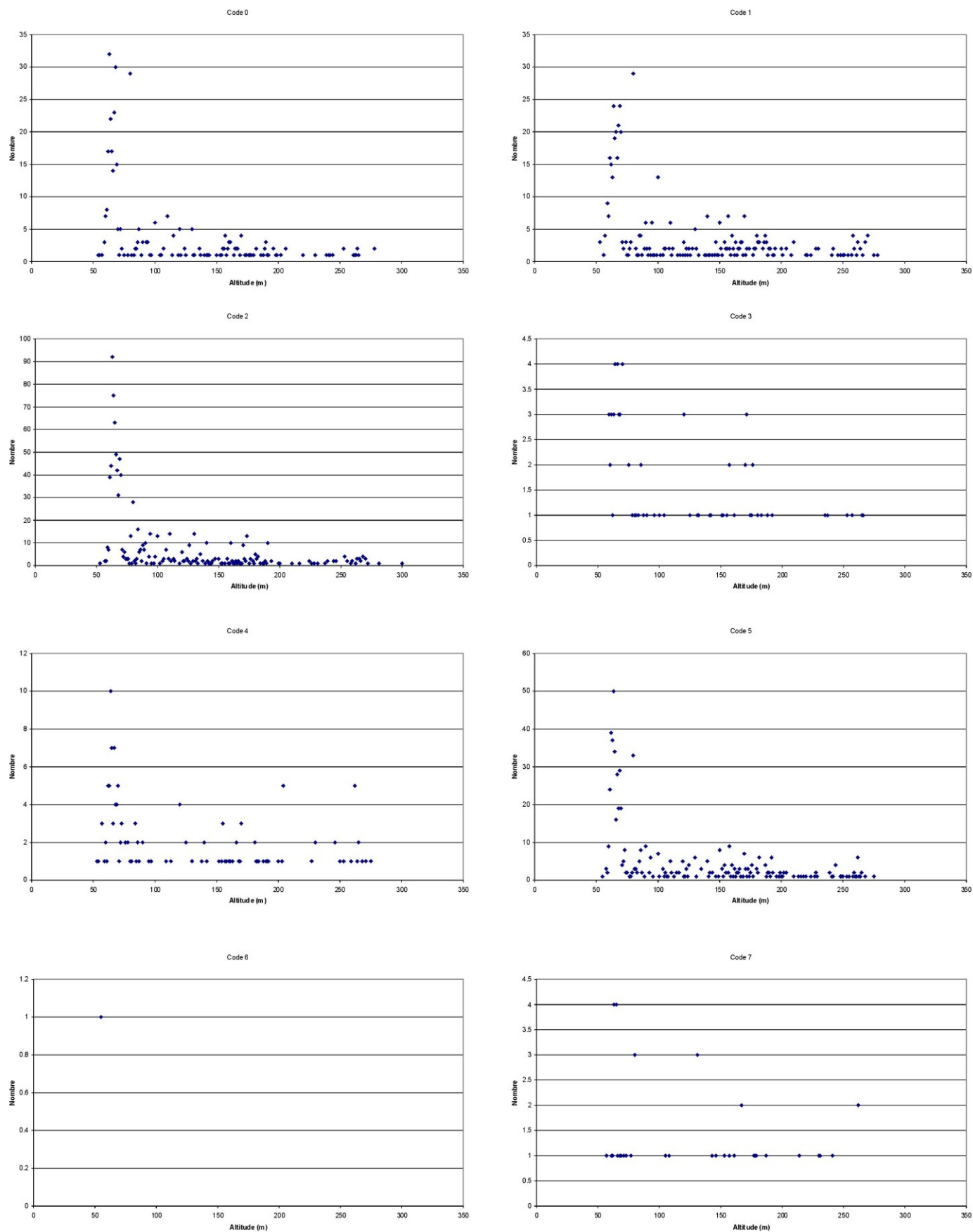
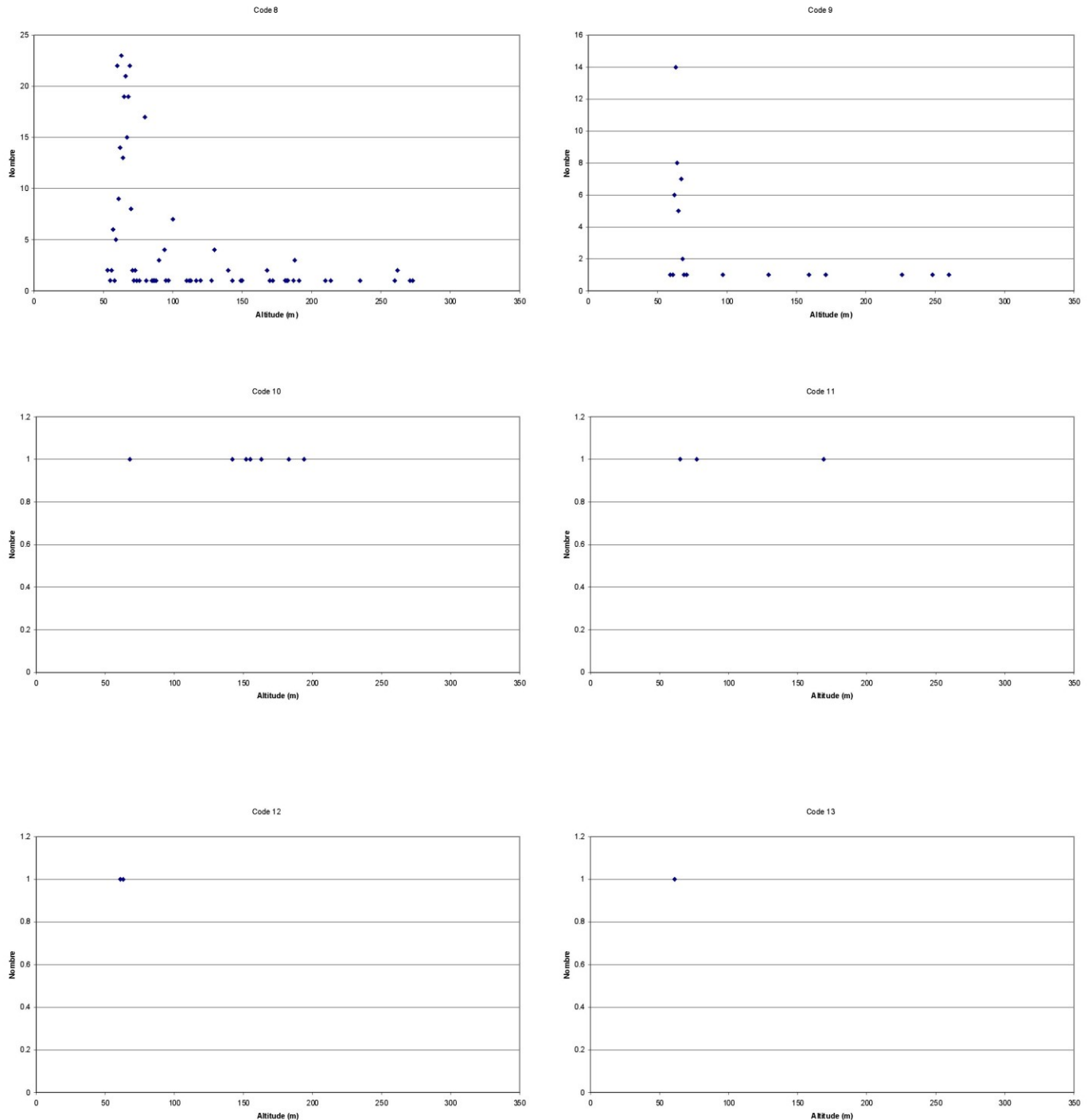


Figure 18. Relation entre le nombre d'interventions et leur altitude (codes 8 à 13)

L'analyse des graphiques réalisés (voir figure 17 et figure 18) à ce propos fournit les informations suivantes :

- **code 0** : les interventions pour lesquelles aucune information quant aux circonstances du sinistre n'a été renseignée se situent en majorité aux environs de 70 et 110 m d'altitude, bien que l'on en retrouve un nombre non négligeable jusqu'à 280 m ;
- **code 1** : les appels n'ayant pas été suivis d'intervention ou pour lesquels rien ne fut signalé sur le terrain possèdent une distribution altitudinale similaire au code 0. On note sur l'histogramme quatre pics correspondant à 65, 100, 155 et 255 m d'altitude ;

- *code 2* : les interventions pour pompage de cave sans aucune cause connue attribuée par le personnel du service d'incendie sont en grande majorité située dans la plaine alluviale, entre 60 et 65 m d'altitude. Néanmoins, un nombre conséquent de points sont positionnés jusqu'à 180 m ;
- *code 3* : les pompages de cave dus aux égouts bouchés se concentrent sur deux paliers d'altitude comprise entre 60 et 70 m et un second entre 140 et 180 m ;
- *code 4* : les interventions liées aux infiltrations d'eau dans les caves sont localisées dans l'ensemble des tranches altitudinales. Néanmoins, le nombre d'habitants situés dans la plaine alluviale engendre une surreprésentation aux environs de 65 m ;
- *code 5* : de la même manière, on ne constate pas de localisation préférentielle des interventions liées aux fortes pluies, excepté dans la plaine alluviale ;
- *code 6* : le seul point correspondant au débordement d'un puits se situe à 55 m d'altitude ;
- *code 7* : les causes anthropiques ayant été encodées alors qu'elles n'auraient pas dû l'être ou qui auraient éventuellement pu être utilisées par la suite n'ont pas de localisation préférentielle ;
- *code 8* : les inondations sont logiquement concentrées aux environs de 60 m d'altitude, bien que certains points se regroupent aux environs de 100, 130, 190 et 260 m. Ceci méritera une analyse ultérieure approfondie ;
- *code 9* : excepté quelques points, les pompages de cage d'ascenseur sont tous situés aux environs de 60 m d'altitude. Comme nous le verrons par la suite, ils correspondent essentiellement au boulevard d'Avroy ;
- *code 10* : les inondations liées au réchauffement faisant suite à de longues périodes de gel a suscité quelques interventions entre 140 et 200 m d'altitude ;
- *code 11* : trois sinistres relatifs au débordement d'anciennes conduits d'exhaure de charbonnage ont été signalés : deux dans la plaine alluviale et un à 170 m d'altitude ;
- *code 12* : deux cas de débordement de bassins d'orage ont été relevés dans la plaine alluviale à 60 m d'altitude ;
- *code 13* : une source débouchant dans un domicile privé a été constaté à 60 m d'altitude.

III.9. Critères de sélection des interventions montrant des caractéristiques similaires aux flash-floods

Au départ de la base de données des archives, de la carte de localisation des zones démergées par l'AIDE et de la localisation de plaines alluviales issues de la carte géologique à l'échelle du 1 : 40.000, l'extraction des points susceptibles de représenter des flash-floods

est possible en ne sélectionnant que les appels correspondant aux classes 2, 5 et 8 en dehors des trois zones citées ci-dessus (c'est-à-dire les pompages dans une cave sans explication sur l'origine de l'eau, les pompages liés aux fortes pluies et les inondations).

La carte 5 révèle que la localisation des flash-floods potentiels est située sur les plateaux, à proche distance du réseau hydrographique ainsi que le long de l'ancien tracé de la Légia. Néanmoins, une certaine confusion règne à propos de la définition de ces phénomènes. Il pourrait plutôt s'agir d'un ruissellement urbain local plutôt que de cas réels de flash-floods. Les analyses ultérieures détaillées tenteront d'expliquer l'origine de ces types d'interventions.

III.10. Etablissement des événements pluvieux majeurs ayant entraîné de nombreuses interventions

Les événements pluvieux majeurs qui se sont déroulés durant la période étudiée ont été déterminés sur base d'un grand nombre d'appels reçus durant une période continue donnée. Le tableau 12 suivant reporte chronologiquement la date (ou l'intervalle de temps si l'événement se déroule sur plusieurs jours) et le nombre d'appels reçus.

Sont considérés comme majeurs les événements montrant plus de 10 appels sur la zone couverte par l'IILE.

Tableau 12. Détermination et caractéristiques des événements étudiés

Référence de l'événement	Date ou période de l'événement	Nombre d'appels recensés durant cette période
EV1	12 au 13/01/1993	65
EV2	01/05/1993	11
EV3	09 au 10/09/1993	36
EV4	20 au 28/12/1993	351
EV5	25/07/1994	10
EV6	19 au 20/08/1994	111
EV7	26/01 au 01/02/1995	99
EV8	04 au 05/10/1995	123
EV9	08 au 09/06/1996	45
EV10	12 au 13/06/1996	12
EV11	21 au 23/08/1996	79
EV12	01 au 03/08/1998	36
EV13	14 au 19/09/1998	139
EV14	30/05 au 01/06/1999	76
EV15	04 au 10/07/1999	319

EV16	26 au 29/12/1999	34
EV17	08/05/2000	26
EV18	02 au 03/07/2000	303
EV19	05/07/2000	34
EV20	29 au 30/07/2000	23
EV21	06/07/2001	15
EV22	26/07/2001	11
EV23	25/12/2001	18
EV24	14 au 15/02/2002	21
EV25	19 au 21/08/2002	29
EV26	28/08/2002	20
EV27	03 au 04/01/2003	21
EV28	30/04 au 01/05/2004	44

Ces 28 événements majeurs représentent 2.111 appels reçus (66,5 % du total de la période considérée). Une cartographie de chacun des événements précités a été effectuée. Parmi ces 28 cartes, nous pouvons constater que seuls quelques événements pluvieux majeurs montraient une localisation et une dispersion des points d'appels susceptibles de correspondre sur le terrain à la présence de flash-floods. Ces localisations se présentent essentiellement en tête de bassin versant.

La liste des événements intéressants est donnée au tableau 13. La définition des cas intéressants, non intéressants ou des situations pouvant probablement montrer des situations de flash-floods est déterminée selon la localisation des points représentant chaque événement. La consultation des cartes s'y rapportant permet de se rendre compte des éléments pris en compte dans cette classification.

Tableau 13. Détermination des événements présentant potentiellement ou non des flash-floods

Référence de l'événement	Date ou période de l'événement montrant un grand nombre d'interventions	Intérêt de l'événement au niveau des flash-floods (oui (O), non (N), probable)	Hauteurs d'eau précipitées à la station de Bierset ⁶
--------------------------	---	--	---

⁶ Les hauteurs précipitées indiquées dans ce tableau sont sommées sur les quelques jours montrant un pic de précipitations. Cette période d'importantes pluies précède parfois le pic d'interventions de quelques jours. Ce délai peut atteindre trois jours dans certains cas. Les cartes de chaque événement renseignent sur la répartition des précipitations durant les jours précédents la période concernée par l'intermédiaire d'un histogramme basé sur

	concentrées sur quelques jours	(P))	
EV1	12 au 13/01/1993	O	48,3 mm en 4 jours
EV2	01/05/1993	O	0,0 mm en 2 jours
EV3	09 au 10/09/1993	N	13,6 mm en 2 jours
EV4	20 au 28/12/1993	N	45,9 mm en 3 jours
EV5	25/07/1994	O	24,4 mm en 1 jour
EV6	19 au 20/08/1994	O	30,4 mm en 3 jours
EV7	26/01 au 01/02/1995	N	93,0 mm en 8 jours
EV8	04 au 05/10/1995	N	34,8 mm en 2 jours
EV9	08 au 09/06/1996	O	28,0 mm en 1 jour
EV10	12 au 13/06/1996	O	0,0 mm en 2 jours
EV11	21 au 23/08/1996	P	13,2 mm en 2 jours
EV12	01 au 03/08/1998	N	20,7 mm en 4 jours
EV13	14 au 19/09/1998	O	112,0 mm en 2 jours
EV14	30/05 au 01/06/1999	O	40,9 mm en 1 jour
EV15	04 au 10/07/1999	O	38,8 mm en 1 jour
EV16	26 au 29/12/1999	P	46,7 mm en 3 jours
EV17	08/05/2000	P	16,0 mm en 1 jour
EV18	02 au 03/07/2000	P	53,1 mm en 2 jours
EV19	05/07/2000	N	13,0 mm en 1 jour
EV20	29 au 30/07/2000	O	37,3 mm en 2 jours
EV21	06/07/2001	P	22,8 mm en 1 jour
EV22	26/07/2001	P	0,9 mm en 1 jour
EV23	25/12/2001	P	14,5 mm en 1 jour
EV24	14 au 15/02/2002	N	22,1 mm en 2 jours
EV25	19 au 21/08/2002	O	30,0 mm en 1 jour
EV26	28/08/2002	O	36,9 mm en 1 jour
EV27	03 au 04/01/2003	N	-
EV28	30/04 au 01/05/2004	O	-

III.11. Extraction des données de précipitations horaires à la station de Liège-Bierset lors des événements concernés

La corrélation de l'importance des pompages et inondations dans l'agglomération liégeoise et de la hauteur d'eau précipitée peut être mise en évidence en analysant les hauteurs d'eau précipitées par tranche horaire. Dans de nombreux cas, la période pluvieuse s'étend

les données de la stations météorologique de Bierset. Certaines périodes sont cependant dépourvues de précipitations en ce lieu. Il s'agit alors de précipitations orageuses localisées ayant affecté d'autres zones du territoire étudié.

antérieurement au début des premiers appels aux pompiers, ce qui montre qu'il existe un certain temps de latence durant lequel les premières pluies humectent le sol avant de provoquer des problèmes par ruissellement de surface et hypodermique. En effet, la réponse hydrologique dépend de l'état hydrique initial du sol, lui-même relié aux séquences de divers types de périodes pluvieuses et sèches qui ont précédé l'événement étudié. Ainsi, une pluie tombant sur un sol sec servira d'abord à combler le déficit d'humidité du sol. Cette même pluie sera entièrement disponible pour le ruissellement si le sol est déjà saturé au début de l'événement. Nuançons ces propos en sachant que les surfaces non imperméabilisées sont relativement rares à proximité du centre-ville liégeois.

IV. Définition de la zone d'étude et analyse géographique détaillée

IV.1. Analyse des données

A ce stade de l'analyse, on relève 3.176 interventions répertoriées sur la période allant du 01/01/1993 au 03/06/2004. La première étape de l'analyse consiste à localiser chacune de ces interventions en utilisant la seule information disponible, à savoir l'adresse. Il s'agit dès lors de transformer ces adresses en coordonnées x, y Lambert de manière à les inclure aux autres données géoréférencées disponibles. A propos des adresses encodées lors des appels à la centrale des pompiers de Liège, il convient de remarquer que certaines adresses renseignées dans les archives de l'IILE étaient incomplètes (lorsque le numéro de la maison est absent par exemple), tandis que d'autres se sont révélées introuvables parmi les sources de documentation et les logiciels d'adressage disponibles.

Cette phase comporte malheureusement de grandes approximations quant à la localisation exacte des habitations, faute de données exhaustives à ce sujet. Les logiciels Microsoft Autoroute Express 2003, 2004 © et Route 66 2004 © ont néanmoins autorisé la localisation avec une précision généralement inférieure à 30 m des adresses situées dans les communes de Liège, Seraing et Saint-Nicolas, pour lesquelles la couverture cartographique précise existait déjà. Pour les autres communes recensées dans la base de données, la précision avec laquelle les adresses ont été localisées est moindre, suite au manque de données précises concernant les adresses dans les entités de la périphérie liégeoise. Par conséquent, leur localisation a été établie à l'échelle des rues, en positionnant le point représentant l'intervention au centre de la rue concernée. Seule une vérification de chacune des adresses mentionnées sur le terrain aurait permis de préciser ces localisations, mais leur nombre était trop important pour utiliser cette méthode. Il en résulte une erreur négligeable lorsqu'il s'agit de rues, ruelles ou impasses de longueur réduite, tandis que les avenues ou grand-routes de plusieurs kilomètres de longueur engendrent des erreurs conséquentes.

IV.2. Calcul de l'occurrence des interventions dans la région liégeoise

Malgré le soin apporté lors de l'encodage destiné à faciliter le traitement ultérieur des données, des hétérogénéités ont été relevées entre la partie encodée manuellement et les fichiers numériques extraits de la base de données Abifire. Ce problème affecte essentiellement les adresses : manuellement, l'adresse se présente par exemple de la manière suivante « Boulevard d'Avroy, 238 » tandis que la base de données nous fournit un format du type « Avroy (Bd), 238 ». Dès lors, afin de pouvoir effectuer par la suite des traitements automatisés, il fut nécessaire d'homogénéiser l'ensemble des 3.176 adresses, de manière à ce que les localisations identiques soient libellées exactement de la même façon.

Une fois ce travail achevé, il s'agit de comptabiliser l'occurrence des interventions à chaque lieu distinct et de lier ces occurrences à un couple de coordonnées x, y Lambert belge 72.

IV.3. Délimitation de la zone d'étude

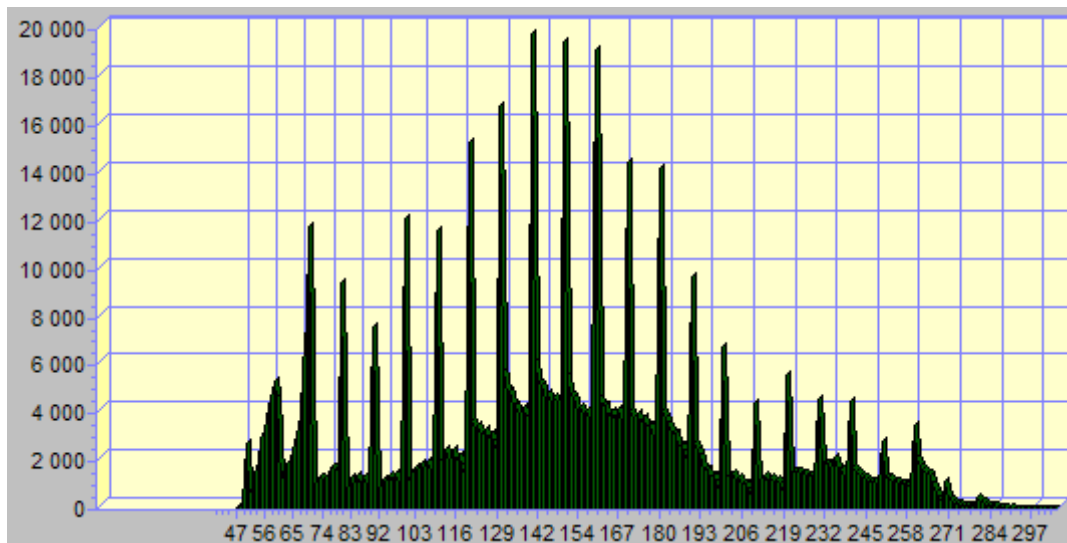
La région protégée par les services de l'IILE a une altitude minimale de 46 m (à la réunion de la plaine alluviale de la Meuse et de la frontière néerlandaise) et l'altitude maximale est égale à 305 m (au lieu-dit de la Croix Michel, à Beaufays (241.768 ; 138.584). Sa superficie équivaut à 590,71 km².

La résolution du modèle numérique de terrain est de 30 mètres. Il n'est pas d'excellente qualité comme le montre l'histogramme de la figure 19 (en abscisse, l'altitude en mètre et en ordonnée, le nombre de pixels présents dans la zone d'étude à cette altitude). En effet, les pixels dont l'altitude est un multiple de 10 sont surreprésentés, puisque le modèle est issu d'une numérisation des courbes de niveau des cartes topographiques à l'échelle 1 : 50 000 de l'Institut Géographique National (IGN) dont l'équidistance est de 10 m.

Remarque : les informations sur le lot de données⁷ que constitue le modèle numérique de terrain de l'IGN sont disponibles sur internet. « Le modèle numérique de terrain a été obtenu par scannage, vectorisation et identification des courbes de niveau figurant sur la carte à 1 : 50.000. Le modèle numérique des altitudes donne l'altitude en mètres d'un certain nombre de points en coordonnées j,l (longitude, latitude) répartis régulièrement à l'intérieur d'un quadrillage. L'altitude (niveau moyen des basses mers) est calculée par rapport au niveau zéro belge. Ce MNT est calculé dans le système de coordonnées WGS (WGS72) converti dans le système Lambert belge par le SETHY (MET/D.212). Il comprend deux niveaux. Au premier niveau, l'intervalle a 6" de longitude et 3" de latitude en dessous de 50° Nord ; il a 3" de longitude et 3" de latitude au-dessus de 50° Nord. Au second niveau, l'intervalle a 2" de longitude et 1" de latitude au-dessus de 50° Nord (maille 60 m x 30 m) ; il a 1" de longitude et 1" de latitude en dessous de 50° Nord (maille 30 m x 30 m). A ce niveau, la densité des points est donc neuf fois supérieure. Le contrôle de précision doit être réalisé par l'utilisateur du lot de données, car des erreurs subsistent dans le MNT. Ainsi, l'altitude a une précision absolue de 3,8 m en Basse Belgique, 7,8 m en Moyenne Belgique et 10,2 m en Haute Belgique, avec une fiabilité de 90%. »

⁷ Source : Informations sur le lot de données du modèle numérique de terrain de l'IGN, Région wallonne, http://carto5.wallonie.be/MetaWal/MetaWalSearch/export.jsp?format=html&mdFileId=MNT_IGN_1_50000, consulté le 15 juillet 2004.

Figure 19. Distribution des valeurs altitudinales des pixels constituant le modèle numérique de terrain pour la zone d'étude



Cela suggère une grande précaution lors de l'utilisation des valeurs issues du MNT, à savoir les valeurs absolues d'altitude, les pentes, les longueurs et les orientations des facettes de terrain.

L'analyse suivante se basera tant sur le modèle numérique de terrain que sur la planche issue de l'Atlas « Liège prépare son avenir » (SPORCK A.J., 1980) sur laquelle ont été reportés les points d'interventions. Remarquons que les cartes 36 à 39 présentent seulement la localisation des points d'interventions. Des interventions multiples à la même adresse postale ne représentent dès lors qu'un seul point sur la carte. Il eût été impossible à cette échelle de faire figurer des symboles proportionnels à l'occurrence des interventions pour des raisons de visibilité. Cependant, une cartographie par symboles proportionnels sera entreprise et analysée pour visualiser les interventions fréquentes.

Le relief de la région liégeoise est constitué de plateaux profondément découpés par les vallées de la Meuse, de l'Ourthe et de la Vesdre ainsi que de leurs affluents respectifs. La plaine alluviale de la Meuse est située à environ 65 m d'altitude au centre de Liège. Les terrasses de Cointe, de Robermont et de Hermée sont situées schématiquement à mi-hauteur (altitude : environ 120 m) entre la plaine et les plateaux sus-jacents.

Le versant de rive gauche de la Meuse est profondément échancré par des vallées digitiformes telles que celles des Awirs, de Hollogne et de la rue Sainte-Marguerite. Cette dernière suit en surface le trajet effectué souterrainement par le vallon de la Légia. Les

versants de rive gauche sont plus abruptes et marquent une transition brusque entre la zone urbaine et la périphérie.

La zone d'étude porte sur trois régions géographiques : la Hesbaye sèche au nord-ouest, le plateau du Condroz ardennais au sud-ouest (et la limite extrême du Condroz) ainsi que le Pays de Herve s.l. à l'est.

La Hesbaye est un plateau légèrement ondulé dont l'altitude diminue progressivement vers le nord-nord-ouest. Sa bordure méridionale est située à 200 m d'altitude. Le réseau hydrographique, développé dans des formations crayeuses très perméables, favorise une circulation des eaux essentiellement souterraine. Les vallées sèches qui sillonnent le plateau ne sont hydrologiquement actives que lors des épisodes pluvieux importants. Le bassin asymétrique du Geer draine l'ensemble du plateau hesbignon compris dans la zone étudiée. Le plateau du Condroz ardennais s'élève jusqu'à 240 à 280 m d'altitude. Il est formé d'une large crête orientée SW-NE. Entre le plateau du Condroz ardennais et le Pays de Herve se situe l'interfluve de l'Ourthe et de la Vesdre où se retrouvent les gradins d'Embourg à une altitude de 180 m et ceux de Beaufays à 280 m.

Le Pays de Herve est, quant à lui, situé en Entre-Vesdre-et-Meuse. Ce plateau est entaillé de multiples rivières dont l'exutoire segmente le versant abrupt de la rive droite de la Meuse. Seule une très faible superficie de cette région géographique fait partie de la zone couverte par l'IILE.

Les pentes fortes de part et d'autre du domaine du Sart-Tilman, le long des berges de l'Ourthe et en rive droite de la Meuse – Aval ainsi que le versant escarpé de la Citadelle sont généralement dénués de toute intervention enregistrée, la population y étant beaucoup plus faible.

Afin de faciliter le repérage sur la carte 36 des éléments cités ici, une numérotation (de 1 à 10) a été mise en place sur cette carte de manière à repérer les concentrations d'interventions sur le terrain. La carte 38 (située exceptionnellement en dernière page de cet ouvrage) fournit un fond cartographique à l'échelle 1 : 10.000 permettant de situer avec précision les études de cas. La même numérotation y a été surimposée. Elle fait référence aux localisations décrites ci-dessous. Les cartes 39 à 46 permettront d'établir les causes de ces concentrations anormales.

L'objectif est également de permettre une étude des phénomènes enregistrés. Nous utiliserons donc les cartes dont la conception est explicitée au point IV.5. Ces cartes, numérotées de 6 à 25, recensent chacune la concentration des points d'interventions liés à

une épisode pluvieux important et bien défini dans le temps. La confrontation de l'ensemble des sources de données permettra de dire si les dégâts enregistrés sont concomitants ou bien s'ils dépendent de plusieurs événements pluvieux, dispersés dans le temps.

Les archives encodées à l'IILE recensent les appels émis dans une zone comprenant les 20 communes suivantes : Ans, Awans, Bassenge, Beyne-Heusay, Chaudfontaine, Crisnée, Engis, Esneux, Fexhe-le-Haut-Clocher, Fléron, Grâce-Hollogne, Herstal, Juprelle, Liège, Neupré, Oupeye, Saint-Georges-sur-Meuse, Saint-Nicolas, Seraing, Visé. Cela représentait 515.563 habitants en 1991. La répartition du nombre d'interventions par commune est reprise dans le tableau 14.

Tableau 14. Nombre d'interventions de l'IILE par commune du territoire protégé

Commune	Nombre d'interventions
Ans	84
Awans	51
Bassenge	18
Beyne-Heusay	20
Chaudfontaine	113
Crisnée	3
Engis	50
Esneux	128
Fexhe-le-Haut-Clocher	19
Fléron	32
Grâce-Hollogne	86
Herstal	135
Juprelle	39
Liège	1.717
Neupré	72
Oupeye	56
Saint-Georges-sur-Meuse	24
Saint-Nicolas	50
Seraing	365
Visé	114
Total	3.176

Il faut remarquer que la commune de Flémalle qui est incluse dans le périmètre de la zone protégée par les pompiers de Liège est néanmoins gérée par le corps de pompiers

volontaires de Flémalle (Commandant Nys). Cela explique pourquoi aucune intervention concernant cette commune n'est recensée dans la base de données de l'IILE.

Les communes de Dalhem et Blégny, bien qu'elles soient plus proches de la caserne de Liège, sont gérées par les pompiers volontaires de Herve (Commandant Clerdain). La définition des portions de territoire attribuées à chaque service d'incendie provient de la fusion des communes ; même si dans le passé, certaines anciennes communes plus proches de la caserne de Liège lui étaient attribuées, aujourd'hui, les limites correspondent à celles des communes fusionnées. Ainsi, la commune de Saive était protégée par les pompiers de Liège et Blégny par les pompiers de Herve avant la fusion communale. Aujourd'hui, l'entité de Blégny reprend les deux anciennes communes, toutes deux gérées par la caserne de Herve.

Tableau 15. Nombre d'appels reçus à l'IILE par habitant et par commune

Commune	Nombre d'interventions	Population	Nombre d'appels par habitant (x 10 ⁵)
Ans	84	27.554	305
Awans	51	7.775	656
Bassenge	18	7.975	226
Beyne-Heusay	20	11.255	178
Chaudfontaine	113	20.426	553
Crisnée	3	2.297	131
Engis	50	5.810	861
Esneux	128	12.718	1.006
Fexhe-le-Haut-Clocher	19	2.703	703
Fléron	32	15.913	201
Grâce-Hollogne	86	22.087	389
Herstal	135	36.451	370
Juprelle	39	7.639	511
Liège	1.717	194.596	882
Neupré	72	8.775	821
Oupeye	56	23.257	241
Saint-Georges-sur-Meuse	24	6.658	360
Saint-Nicolas	50	23.817	210
Seraing	365	60.838	600
Visé	114	17.019	670

La carte 4 est la représentation cartographique du nombre d'appels par habitant (multiplié par 10⁵ pour éviter la représentation décimale ; voir tableau 15).

Le modèle numérique de terrain utilisé a été recadré de manière à ne prendre en compte que la zone dans laquelle les appels ont eu la possibilité d'être traités par l'Intercommunale d'Incendie de Liège et Environs.

IV.4. Effets de la distribution de la population en région liégeoise sur la cohérence et la représentativité des données collectées.

Une cartographie basique localisant l'ensemble des interventions recensées a montré clairement l'existence de zones où la concentration des appels émis est importante alors que d'autres zones en sont complètement dépourvues. Cela nous amène à émettre une remarque essentielle qui influencera l'ensemble des recherches menées par la suite. En effet, le service d'incendie de l'IILE n'a pu intervenir que dans des zones habitées où la population a eu la possibilité de prévenir les pompiers par téléphone. Le lieu enregistré dans la base de données est celui d'où la (ou les) personne(s) concernée(s) a(ont) signalé le problème et a(ont) requis l'intervention d'une équipe de l'IILE.

Un biais important existe donc dans la base de données puisque seules les zones habitées peuvent comporter des relevés. En effet, les zones boisées, rurales ou en friches situées à grande distance des plus proches habitations n'entrent pas en compte dans l'encodage, même si d'importants débordements de rivières ou d'accumulation d'eau de ruissellement se sont manifestés.

Afin de tenir compte du biais structurel important, nous allons développer une méthode permettant de tenir compte de la densité de population et de la comparer avec le nombre d'interventions relevées.

A cette fin, les données disponibles les plus précises sont la densité de population (en habitants par hectare) par secteur statistique en 1991 (INS) ainsi que le nombre de bâtiments par secteur statistique pour le même recensement. Ces données sont spatialisées et reliées à la localisation des secteurs. La méthode décrite ici sera testée avec les deux jeux de données : la densité de population et la densité de bâtiments. Cependant, il semble *a priori* qu'il soit plus réaliste de tenir compte de la densité de bâtiments. Cela s'explique par le fait qu'un seul appel par adresse postale soit généralement reçu au service 100 lorsqu'une inondation survient. Le nombre d'habitants que compte l'habitation concernée n'influence pas le nombre d'appels reçus pour une adresse donnée. Les paragraphes suivants décrivent le mode opératoire retenu permettant de corriger l'influence de la densité du bâti.

IV.4.1. Détermination des paramètres de correction en mode image

La correction souhaitée a été réalisée dans le logiciel ArcMap d'ESRI © et l'extension Spatial Analyst. L'utilisation de ce module nécessite l'élaboration de plusieurs images, de même taille, de même extension spatiale et de même résolution de manière à pouvoir effectuer les traitements mathématiques nécessaire à la correction. La zone d'étude correspond globalement à l'extension de la zone gérée par l'IILE, dont les coordonnées X et Y Lambert extrêmes ont été arrondies au kilomètre en vue de simplifier la création des images. Le tableau 16 reprend les coordonnées des coins de l'image créée.

Tableau 16. Coordonnées extrêmes des images de densité du bâti et d'occurrence d'interventions

Coordonnées X Lambert (en m)	Coordonnées Y Lambert (en m)
217.000	132.000
217.000	168.000
246.000	168.000
246.000	132.000

La résolution de l'image, d'une extension E-W de 29 km et de 36 km N-S, a été définie à 500 m. Plusieurs essais à des résolutions de 100 m, 250 m, 500 m et 1 km ont montré que la taille des pixels équivalente à 500 m était idéale pour concentrer un nombre suffisant d'interventions, tout en conservant la qualité nécessaire à l'analyse au point de vue du nombre de pixels contenus dans l'image. En effet, des pixels de trop grande surface auraient eu pour conséquence d'empêcher l'analyse locale détaillée. En résumé, l'image aura une taille de 58 pixels x 72 pixels.

IV.4.2. Conversion du nombre de bâtiments par secteur statistique en densité de bâtiments par pixel de l'image créée au point précédent

Comme cela a déjà été abordé précédemment, les données les plus précises disponibles le sont à l'échelle du secteur statistique. Or, leur superficie respective est très variable. Cette étape du calcul consiste donc en une conversion du nombre de bâtiments par secteur statistique en une densité de bâtiments par pixel de l'image de référence. Cela a été réalisé par l'intermédiaire d'une fonction du logiciel Arcview 3.2 permettant d'attribuer au pixel considéré la moyenne pondérée de la densité de bâtiments des secteurs statistiques compris au sein de l'entité que représente le pixel dans l'image. Le résultat, exprimé en nombre de bâtiments par hectare dans chaque pixel est présenté à la carte 31. Cette carte montre une forte concentration du bâti dans la partie septentrionale de la commune de

Liège, le centre de la commune de Seraing, l'ensemble de la commune de Saint-Nicolas et l'extrémité sud de la commune de Ans. Le reste du bâti se concentre localement avec une densité bien moindre qu'au centre-ville liégeois. D'ailleurs, la carte montre que la majeure partie de la zone présente une densité de bâtiments comprise entre 0,01 et 1,74 bâtiment par hectare. Il s'agit des zones rurales, boisées, en friches ou de terrains stériles (grandes surfaces de parkings, etc.) Certains pixels, dont la surface, nous le rappelons, équivaut à 500 m x 500 m (25.000 m²), ne contiennent aucun bâtiment.

Ils se retrouvent essentiellement :

- dans la commune de Bassenge, et plus exactement sur le versant sud de la vallée du Geer ;
- dans la partie occidentale de la commune d'Oupeye ;
- dans la zone boisée au nord de Neupré (le Bois de la Neuville) ;
- au sein de la plaine alluviale de la Meuse à hauteur de Hermalle-sous-Argenteau.

IV.4.3. Représentation du nombre d'interventions enregistrées par pixel

En utilisant une image ayant les mêmes caractéristiques que précédemment, nous comptabilisons dans chaque pixel de 500 m de côté le nombre total d'interventions ayant eu lieu dans cette entité dont les limites sont purement fictives. Cela est mis en œuvre grâce à la fonction « *Neighborhood statistics* » d'Arcview 3.2, en effectuant la somme des occurrences des points situés au sein de chaque pixel. L'image est représentée à la carte 32. Nous pouvons constater qu'il existe de nombreux endroits sur la carte où aucune intervention n'a été enregistrée durant la période d'étude. Les causes de cette hétérogénéité ont été discutées précédemment, dans la définition de la zone protégée. La carte montre tout d'abord une dichotomie entre le centre-ville liégeois dans la plaine alluviale de la Meuse et la périphérie. En effet, la densité d'interventions est moindre à l'extérieur de l'agglomération. Cela est évidemment lié à la faible densité de population (ou de bâtiments) de la périphérie. Cependant, certaines zones semblent anormalement pauvres en interventions, compte tenu des caractéristiques hydrologiques et topographiques des terrains considérés. La commune de Flémalle, par exemple, ne montre aucune intervention, puisque ce territoire est géré par le service d'incendie de Flémalle. Il en est de même pour les communes limitrophes de la zone gérée par l'IILE. Comme me l'a confirmé le Lieutenant R. Dejardin, les communes de la périphérie liégeoise sont régulièrement protégées en association avec les casernes situées aux alentours (Tongres et le service de la Protection Civile de Crisnée au nord, Herve et Verviers à l'est, Esneux au sud et Huy à l'ouest). Cela a pour effet qu'un nombre inconnu d'interventions devrait s'adjoindre aux interventions encodées dans les archives de l'IILE. En

outre, il est également difficile de déterminer avec précision les zones ayant requis l'aide de pompiers extérieurs à l'IILE car cette information n'est pas présente dans les rapports d'intervention et propose vraisemblablement une très grande variabilité temporelle en fonction du degré de la crise auxquels les services d'incendie ont été soumis. Cependant, il eût été impossible, dans le temps imparti, de constituer une base de données exhaustive en consultant l'ensemble des casernes susdites. Il s'agira dès lors d'être très prudent dans l'analyse des situations périphériques. La commune de Flémalle, quant à elle, ne sera pas étudiée puisqu'il n'a pas été possible de récolter les données la concernant.

IV.4.4. Relation entre la densité du bâti et le nombre d'interventions enregistrées

Ce paragraphe a pour objet de relativiser le nombre d'interventions enregistrées à la densité du bâti, à l'échelle des pixels prédéfinis (500 m). L'image est conçue en divisant la valeur de chaque pixel de l'image 2 (la densité d'interventions) par la valeur du pixel homologue de l'image 1 (la densité de bâtiments).

En conséquence, la carte 33 montre des valeurs fortes lorsque le nombre d'interventions recensées dans un pixel donné est important comparativement à la densité de bâtiments de ce même élément de l'image. Les pixels de valeur nulle correspondent aux zones où aucune intervention n'a été relevée, quelque soit la densité du bâti. Ce type de cartographie ne permet donc que d'étudier les anomalies positives, montrant un surplus d'interventions. Une présentation succincte des zones surreprésentées sera entreprise à la carte n°34.

IV.4.5. Etude à l'échelle locale des sites montrant un nombre d'interventions par bâtiment plus élevé que la moyenne régionale

Comme le montre la carte 34, les interventions sont, par rapport au nombre de bâtiments présents, localement surreprésentées. Nous avons choisi d'illustrer cette constatation par l'intermédiaire de quatre exemples significatifs. Les zones sont attribuées aux sites suivants :

- La majeure partie de l'agglomération liégeoise

Disposant d'une forte concentration de bâtiments, on observe également une surreprésentation moyenne des interventions. Cela signifie donc qu'il y a statistiquement plus d'interventions par bâtiment dans cette zone qu'ailleurs. Les pixels comprenant des zones soumises à des problèmes sont localisés tout au long de l'ancien cours de la Meuse, via le boulevard d'Avroy et le boulevard de la Sauvenière. Cette surreprésentation se poursuit vers les quartiers de Vivegnis et de Saint-Léonard. Les quartiers d'Outremeuse et

du Longdoz montrent également une plus grande fréquence d'interventions par bâtiment ainsi que le pied du versant du terril situé au nord des halles de Coronmeuse.

En ce qui concerne la périphérie, la surreprésentation est faible. Cependant, il est intéressant de faire l'inventaire des sites (rasterisés ici à une résolution de 500 m) qui n'ont montré aucune intervention durant la période d'étude de 11 ans. Il s'agit du quartier de l'hôpital de la Citadelle, des zones hautes du quartier du Laveu, de la terrasse de Cointe, des lieux-dits de Robermont et de Grivegnée.

- Le méandre de Seraing et le développement urbain vers les Biens Communaux

La surreprésentation est importante à proximité de la Meuse et du site du Val Saint Lambert ainsi qu'au cœur du parc industriel sérésien. De nombreuses interventions y ont dès lors été enregistrées pour une faible densité du bâti. Cela peut s'expliquer dans le premier cas par la proximité du fleuve puisque des infiltrations et des remontées d'eau via les égouts peuvent se produire lors d'une défaillance extrêmement rare des systèmes de pompage du démergement.

Les zones moyennement surreprésentées se situent au lieu-dit des Hauts-Prés, à proximité du Pont de Seraing et environ un kilomètre en amont de celui-ci, en situation de bas de versant entre Sclessin et Tilleur et enfin, le long de la vallée du ruisseau de Cornillon, en aval du lieu-dit de Beau Site.

Parmi les zones dénuées d'interventions, il est essentiel de remarquer que les parcs industriels ne font pas forcément appels aux services publics d'incendie en cas de problèmes techniques. Il est donc probable que cela explique les lacunes observées. Ils disposent en outre de leur propre système de drainage des surfaces imperméabilisées. Les espaces fortement végétalisés montrent, eux aussi, des lacunes d'interventions, la densité du bâti y étant nulle. Notons aussi ici que l'extrémité ouest de l'encart cartographique s'étend sur la commune de Flémalle, pour laquelle nous ne disposons pas des données d'interventions.

- La crête du Sart-Tilman, la vallée de l'Ourthe entre Embourg et Tilff

Les sites dont la surreprésentation est importante se localisent tant sur les plateaux (parc scientifique du Sart-Tilman ainsi qu'à proximité du C.H.U.) que dans la vallée de l'Ourthe à Tilff et à Embourg. La faible densité du bâti à proximité immédiate de la rivière et le nombre important d'interventions qui y a été relevé permet d'expliquer cette distribution spatiale. Les pixels montrant une surreprésentation moyenne sont localisés selon le même schéma, dans le fond de la vallée de l'Ourthe, dans le domaine de l'Université du Sart-Tilman ainsi

qu'en bordure de la Meuse, au pied du versant et de la rue du Sart-Tilman, quelques centaines de mètres en amont de la gare de formation de Kinkempois. La commune d'Embourg montre cependant une distribution anormale des interventions puisqu'elles se situent également sur un replat élevé, plus de 50 m au-dessus de la plaine alluviale de l'Ourthe. L'hypothèse du ruissellement pluvial urbain comme cause des pompages qui y ont été recensés est avancée.

- La plaine alluviale mosane à hauteur d'Engis et de ces environs

L'essentiel des surreprésentations, qu'elles soient faibles ou importantes, sont concentrées dans la vallée mosane. Les crues importantes de la Meuse, sans qu'il y ait eu débordement du fleuve, ont pu conduire à des infiltrations localisées dans cette zone.

IV.5. Description systémique de la zone étudiée à l'échelle régionale et locale

L'objectif de cette description systémique est de caractériser et de localiser globalement l'influence des facteurs topographiques, d'occupation du sol, de la nature du substratum géologique et du type de sol rencontré aux divers endroits où se concentrent les interventions.

Nous utiliserons cependant les huit cartes (39 à 46) donnant la répartition des interventions classifiées selon le type de phénomène décrit ou interprété sur base des rapports succincts écrits par le service d'incendie.

Nous n'avons retenu que les phénomènes les plus fréquents, à savoir :

- Carte 39 : code 0 : aucune information mentionnée
- Carte 40 : code 1 : le service n'est pas intervenu ou rien à signaler sur place
- Carte 41 : code 2 : pompage de cave, cause inconnue
- Carte 42 : code 3 : pompage de cave, égouts bouchés
- Carte 43 : code 4 : pompage de cave, infiltrations
- Carte 44 : code 5 : pompage de cave, fortes pluies
- Carte 45 : code 8 : inondation
- Carte 46 : code 9 : pompage de cage d'ascenseur

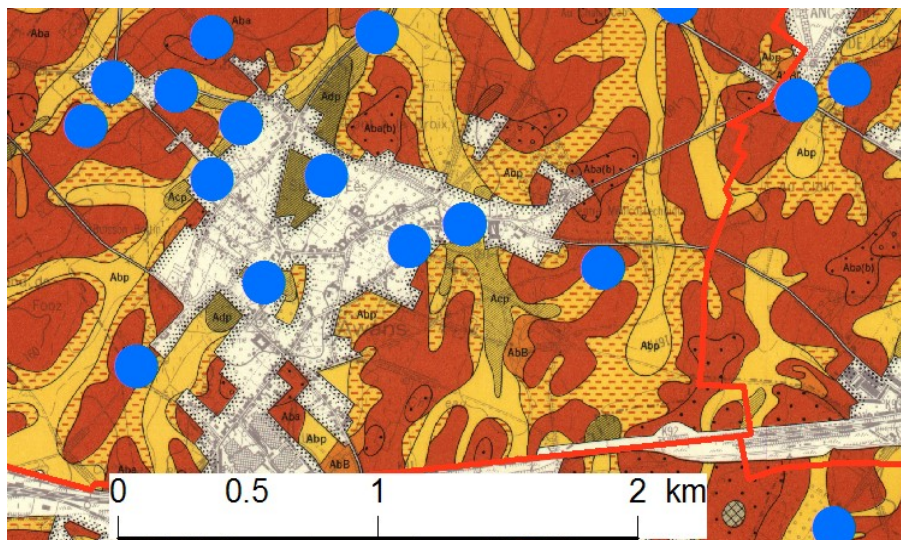
Ces cartes permettront d'émettre des hypothèses quant aux causes des interventions à l'échelle régionale selon leur localisation.

L'étude qui suit se basera sur les caractéristiques topographiques, géologiques, pédologiques et sur l'occupation du sol⁸ pour décrire les concentrations d'interventions constatées. Cette approche systémique nous a semblé plus simple à mettre en place qu'une séparation stricte des composantes intervenant dans l'analyse.

Site n°1 : il représente le centre du village d'Awans, à l'ouest de l'échangeur de Loncin. Il s'agit d'une zone située à une altitude comprise entre 120 et 160 m, sur le plateau hesbignon. Nous pouvons constater que les points se répartissent de manière homogène au sein du village. Rappelons néanmoins le fait que la localisation des points est moindre en dehors des communes de Liège, Seraing et Saint-Nicolas. Les interventions étudiées ici sont dès lors localisées au niveau du nom de la rue.

L'occupation du sol à cet endroit correspond à de l'habitat à moyenne densité (habitat collectif et individuel de deux à trois niveaux en lotissements serrés de type faubourg). Au point de vue lithologique, l'ensemble de la zone possède un substratum de craies et de tuffeaux du Secondaire, dont la perméabilité est importante. Les sols y sont limoneux et de grande épaisseur (voir figure 20).

Figure 20. Contexte pédologique du site n°1

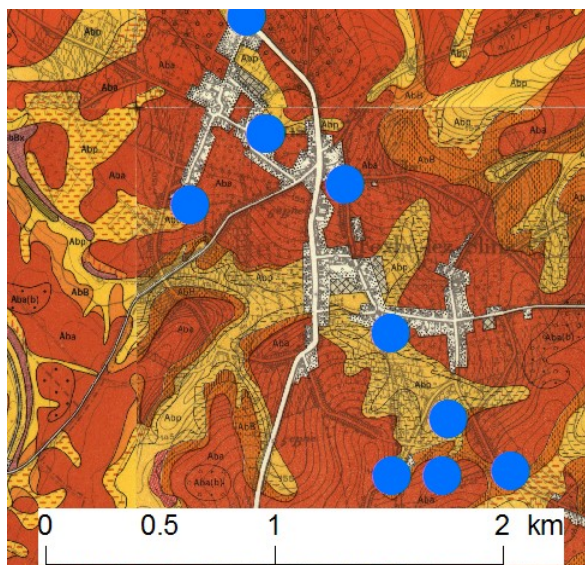


⁸ Quelques remarques sont nécessaires quant à l'adaptation des planches issues de l'ouvrage (SPORCK, 1980). Les planchettes ont été numérisées et géoréférencées afin de les intégrer au système d'informations géographiques que constitue l'ensemble des données recueillies dans le cadre de ce mémoire. Elles ont été adaptées à la zone d'étude, sans autre modification. Cependant, la méthodologie cartographique de la carte d'occupation du sol réalisée par NADASDI I. révèle qu'il s'agit d'une carte de compilation. Elle regroupe l'occupation réelle au sol (cartographiée sur base de photographies aériennes) et l'affectation ayant valeur légale.

Nous pouvons constater que les interventions qui y ont eu lieu sont situées à proximité du ruisseau semi-permanent de Grand Roua (aussi appelé rigole d'Awans). Il semble que sa réactivation en période humide soit la cause des interventions relevées dans ce quartier d'Awans. Le rapport succinct accompagnant chaque intervention nous permet d'établir les différentes causes par ordre décroissant d'importance. Bien que de nombreuses interventions se soient montrées inutiles car il n'y avait rien à signaler lorsque les pompiers sont arrivés sur les lieux, nous pouvons observer que la majorité des interventions ont eu pour objet un pompage de cave lié à de fortes pluies (voir carte 44). Aucune intervention ayant pour objet une infiltration d'eau, une inondation ou un problème lié à des égouts bouchés n'y a été enregistrée. Nous pouvons donc conclure que la zone d'Awans est soumise, en régime de précipitations intenses, au développement de ruissellement urbain localisé sur les surfaces imperméabilisées proches du thalweg du vallon asséché en temps normal.

Il s'agit ensuite de déterminer la méthode avec laquelle les précipitations ont généré les dégâts recensés. L'analyse des cartes 6 à 25 nous fournit les renseignements suivants : les interventions ont essentiellement été effectuées le 25/07/1994 (événement n°5) ; du 04 au 10/07/1999 (événement n°15) et du 02 au 03/07/2000 (événement n°18). Il s'agit dans les trois cas de précipitations provenant du passage d'un front orageux au-dessus de la région liégeoise. Ce fait corrobore l'hypothèse selon laquelle le développement des dégâts hydrologiques à Awans est lié à l'accroissement rapide du niveau d'eau dans la rigole d'Awans qui draine une grande superficie.

Site n°2 : le second site choisi est situé à Fexhe-Slins, à l'ouest de l'autoroute E313. La concentration d'interventions est relativement faible et suit un alignement particulier parallèle à la rue principale du village. Cependant, aucun cours d'eau, même intermittent n'y est présent à proximité. Situé à 160 m d'altitude, le substratum géologique rencontré est exclusivement constitué de craies et de tuffeaux du Secondaire. Comme dans le cas précédent, les sols y sont de type limoneux et de grande épaisseur (voir figure 21).

Figure 21. Contexte pédologique du site n°2

L'occupation du sol se partage entre l'habitat à moyenne densité de part et d'autre de la rue principale et les prés pâturés et fauchés en périphérie de l'habitat. Nous remarquons avec étonnement que plusieurs interventions ont eu lieu en zone rurale, à proximité de la branche septentrionale de l'échangeur de Milmort.

Jettons à présent un œil quant aux causes des interventions d'après les renseignements issus des rapports de l'IILE. Bien souvent, nous observons que rien n'a été constaté lors de l'intervention à cet endroit. Les égouts bouchés n'ont pas non plus été à l'origine des troubles enregistrés. Seuls quelques cas d'interventions pour cause d'infiltrations ou de fortes pluies ont pu être identifiés. Mais leur nombre restreint nous empêche de connaître avec exactitude l'origine des troubles dans cette zone.

Les interventions réalisées à Fexhe-Slins sont liées à l'événement pluvieux n°15 du 04 au 10/07/1999. La proximité de l'autoroute et d'un grand nombre de bassins d'orage pourrait éventuellement expliquer cette concentration, dans le cas où les bassins en question auraient vu leur capacité dépassée par l'importance des précipitations. Malheureusement, les hauteurs d'eau horaires à la station de Bierset sont indisponibles et ne nous permettent pas d'établir une relation entre ces dernières et l'importance des pompages effectués.

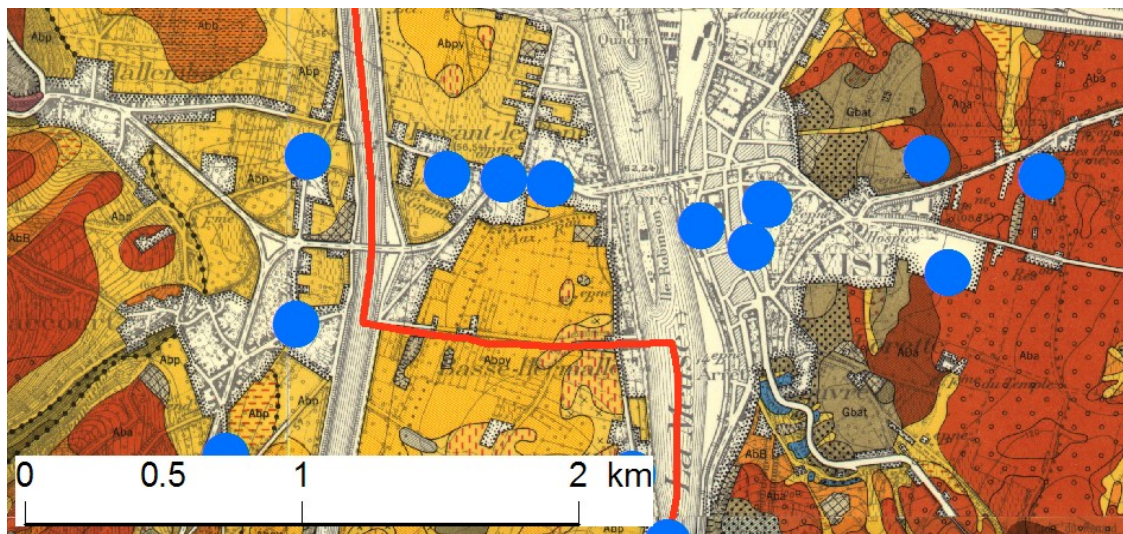
Site n°3 : le troisième site sélectionné se situe dans la vallée du Geer à hauteur de Rocleng-sur-Geer, à l'ouest de la commune de Bassenge. Les pompages qui y ont eu lieu entre 1993 et 2004 sont relativement peu nombreux, contrairement à ce que l'on aurait pu croire d'après les événements catastrophiques qui s'y sont déroulés dans le passé. Il faut

Quant à savoir quel type d'événement pluvieux a été à l'origine de ces faits, les cartes nous montrent que l'entièreté des interventions dans la plaine alluviale du Geer ont eu lieu entre

le 14 et le 19/09/1998 (événement n°13). De fortes précipitations ont affecté la zone, en particulier le 14 septembre de cette année.

Site n°4 : celui-ci s'étend entre le Canal Albert et la Meuse, entre Haccourt et Visé, au lieu-dit Devant-le-Pont. Quelques interventions y ont été recensées. Elles sont situées le long de la route reliant Visé à Haccourt. L'altitude du site est de l'ordre de 52 m. Le substratum est composé des dépôts alluviaux mosans. L'occupation du sol est mixte, un habitat de densité moyenne juxta des prés et des pâtures. Au niveau pédologique, nous observons des sols limoneux à drainage favorable (Abp) (voir figure 23).

Figure 23. Contexte pédologique du site n°4

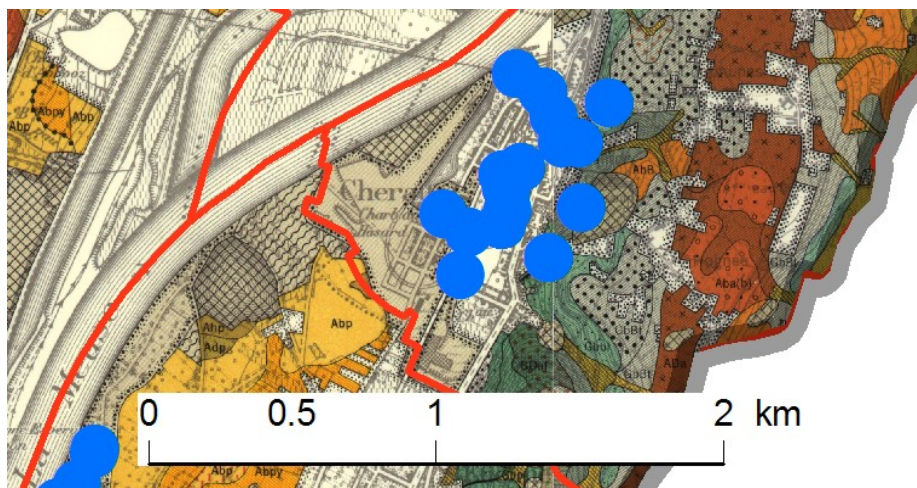


Quant aux causes de ces événements, aucune information n'est utilisable à partir de la base de données des pompiers. Nous pensons qu'il s'agit ici d'une accumulation locale des eaux de pluie dans les dépressions anthropiques ou à proximité des surfaces imperméabilisées puisque ces interventions ont eu lieu du 19 au 21/08/2002 où d'intenses précipitations ont été enregistrées. Une conduite d'égouttage passe également à proximité de la route dont il est question ici et pourrait être la cause des problèmes recensés.

Site n°5 : il s'agit de la région de Cheratte, le long de la rive mosane, au nord de la liaison autoroutière menant vers Aachen. La topographie des lieux est telle que le versant est abrupt et les interventions sont étagées en bas de versant à une altitude comprise entre 60 et 80 m. La concentration des points est relativement importante au niveau du quartier établi à proximité immédiate de l'échangeur. Le site est occupé par de l'habitat de densité moyenne vers le versant et par des activités industrielles vers la rive mosane.

Le substratum géologique est constitué d'alluvions dans l'extension de la plaine et de schistes, psammites et grès houillers vers l'est. Le versant en pente forte est développé dans ces roches. L'analyse de la carte 37 montre cependant que les interventions se situent exclusivement à une altitude inférieure à celle des principaux dépôts de terrasses. L'extrait de la carte pédologique montre que les interventions sont situés en zones urbanisées et fortement remaniées au niveau des horizons pédologiques. Cependant, il est important de remarquer la proximité immédiate de l'ancien charbonnage de Hasard, dont les installations engendreront des dégâts d'inondations dans la localité. Les sols situés en bas de versant sont caractérisés par des horizons limono-caillouteux à charge psammitique, schisteuse ou schisto-gréseuse selon les cas (voir figure 24). Les quelques interventions agencées au pied du versant sont donc établies sur un substrat peu perméable, pouvant engendrer d'éventuelles coulées boueuses le long du versant abrupt en cas de précipitations importantes.

Figure 24. Contexte pédologique du site n°5

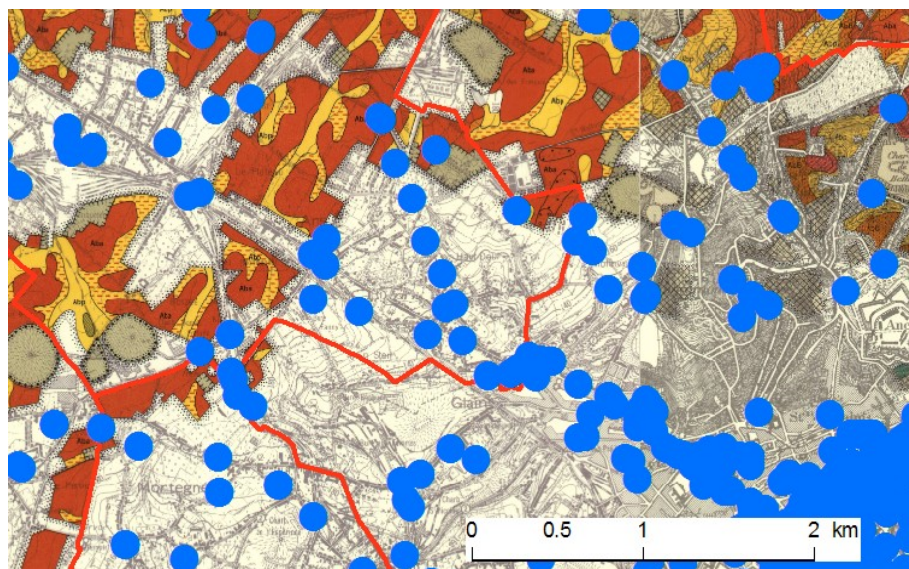


Les causes des interventions encodées à Cheratte sont multiples. Cependant, la majorité des rapports enregistrés ne disposaient pas d'explication détaillée à ce sujet. Les cartes 39, 40 et 41 confirment l'incertitude qui affecte les processus de genèse des événements à Cheratte. Outre le cas du charbonnage du Hasard dont il sera question ultérieurement, les causes principales identifiées sont les fortes pluies et les inondations. Etant donné que les rives de la Meuse sont protégées des débordements grâce aux murs anti-crues, les inondations relevées sur place ne peuvent être que le résultat d'une remontée d'eau en provenance des nappes phréatiques de la plaine alluviale en période de crue. D'autre part, la proximité du versant abrupt, sillonné d'un réseau viaire parallèle à la pente semble être à l'origine d'une multiplication des interventions en pied de versant. La thèse du ruissellement de surface sur terrain imperméabilisé est retenue. Aucune autre hypothèse ne semble pouvoir expliquer l'origine et l'occurrence des interventions qui y sont observées.

Quant à la l'étude diachronique des interventions sur le site de Cheratte, la série de cartes 6 à 25 montre que les faits se sont déroulés essentiellement durant l'événement pluvieux du 12 au 13/01/1993. Cette période de crue et d'inondations corrobore efficacement la cause d'une remontée d'eau vers les caves des riverains. Cependant, une étude à cette échelle ne permet pas de caractériser l'influence du ruissellement d'une lame d'eau importante sur le réseau routier. Comme nous le verrons par la suite, les travaux d'égouttage de la route à forte déclivité n'auront lieu que dans un futur proche. Le ruissellement n'est donc pas improbable le long de ce site localisé en zone d'égouttage prioritaire.

Site n°6 : cette localisation consiste en l'étude détaillée des deux routes subparallèles entre-elles issues du plateau hesbignon et rejoignant la vallée vers le centre-ville liégeois. Il s'agit d'une part de la côte de Ans (rue de Hesbaye puis chaussée de Bruxelles effectuant la liaison Liège – Saint-Trond) et d'autre part de la chaussée de Tongres (en continuité avec la rue Sainte Walburge et la rue de Campine vers le centre-ville). Tandis que la rue de Hesbaye correspond globalement au tracé de la Légia, un cours d'eau à présent souterrain, la chaussée de Tongres ne présente aucun élément du réseau hydrographique à sa proximité. Cependant, les deux routes décrites ici présentent une pente importante avec une dénivelée de plus de 80 m sur une distance de moins de 4 km. Dans les deux cas, ces lieux sont fortement urbanisés, l'habitat est de densité moyenne à forte et les surfaces imperméabilisées occupent une surface relative considérable. Au point de vue du substrat géologique, nous observons une distribution des points d'intervention indépendante de la lithologie. En effet, que les roches soient crayeuses, sableuses ou schisto-gréseuses, les sites présentent une concentration similaire. Il est néanmoins essentiel de constater que la partie inférieure du versant, à proximité de l'ancien exutoire de la Légia, est fortement marquée par les dégâts relevés.

En ce qui concerne la composante pédologique, le remaniement dû à l'urbanisation ne permet pas d'observer une localisation particulière des données encodées (voir figure 25).

Figure 25. Contexte pédologique du site n°6

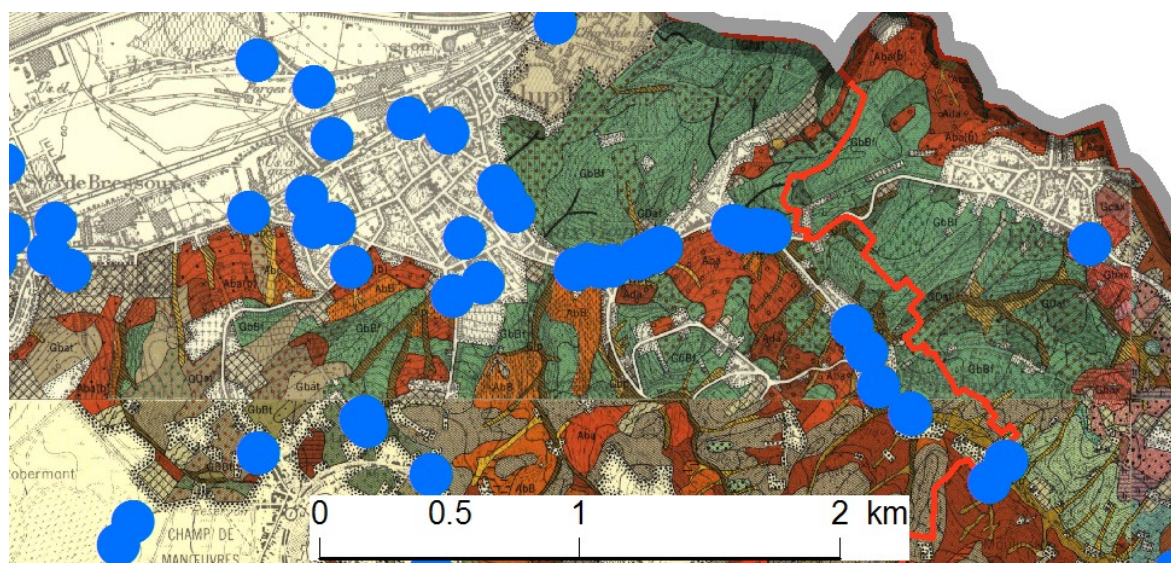
La carte 44 montre clairement que les causes de ces interventions sont liées aux fortes pluies. Une insuffisance locale de la capacité des réseaux d'égouttage corrélée avec l'importance des surfaces urbanisées compromet l'évacuation des eaux sur le substrat imperméable constitué de schistes houillers. L'intensité et la longueur de la pente du réseau routier semblent donc être favorables à l'accroissement du niveau d'eau dans les caves des maisons situées de part et d'autres des axes concernés. Comme nous le montre la carte 29, le nombre restreint de bassins d'orage dans les environs du site n°6 pourrait être une cause supplémentaire des problèmes constatés.

Plusieurs événements pluvieux ont provoqué d'importants troubles à cet endroit : du 19 au 20/08/1994 (événement n°6), 30/05 au 01/06/1995 (événement n°14), du 21 au 23/08/1996 (événement n°11). Il s'agit de périodes orageuses estivales. Elles confirment le caractère ponctuel et brutal des situations rencontrées.

Site n°7 : positionné à Jupille-sur-Meuse, ce site comprend la vallée du ruisseau des Moulins, un affluent de la Meuse s'y jetant à proximité du pont-barrage de Monsin. La situation topographique des interventions signale leur occurrence uniquement dans le fond de la vallée. L'endroit comporte de l'habitat à faible densité dans sa partie amont et à densité moyenne plus en aval. En conséquence de cette localisation particulière, le substratum sur lequel repose les habitations concernées est essentiellement alluvial. Cependant, l'épaisseur des dépôts alluviaux est restreinte ; ils surmontent les schistes houillers imperméables.

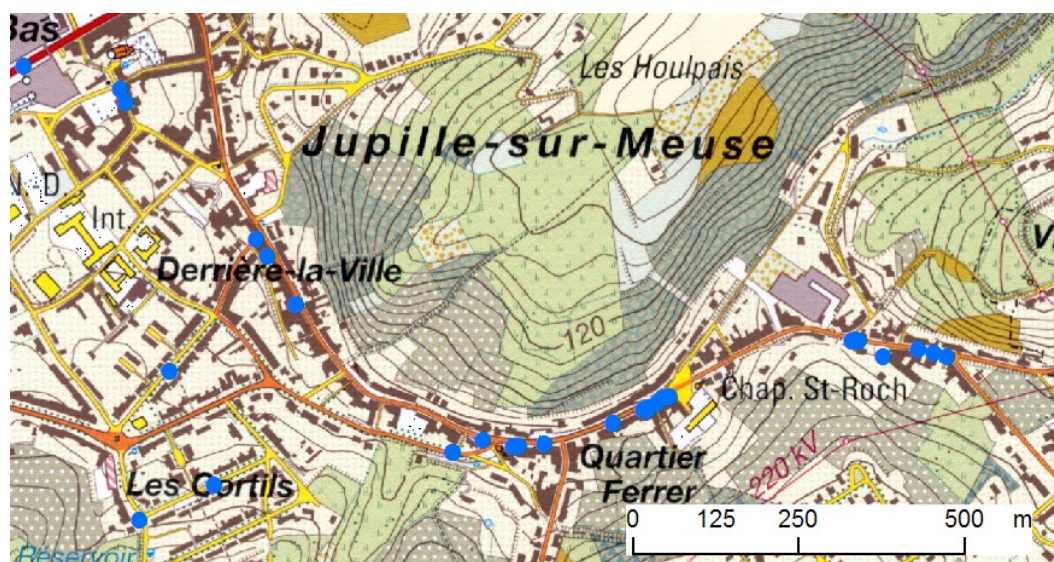
Les sols sont de type limono-caillouteux à charge schisteuse. Il en résulte une certaine imperméabilité (voir figure 26).

Figure 26. Contexte pédologique du site n°7



La base de données fournit comme causes principales de ces interventions les éléments suivants : les fortes pluies, le pompage de cages d'ascenseur et les inondations par ordre décroissant d'importance. La proximité des habitations dans la zone en question et l'absence de protection contre les remontées d'eau en provenance du ruisseau des Moulins canalisé semblent être la cause principale des faits observés (voir figure 27).

Figure 27. Situation de l'habitat dans la vallée du ruisseau des Moulins à Jupille-sur-Meuse

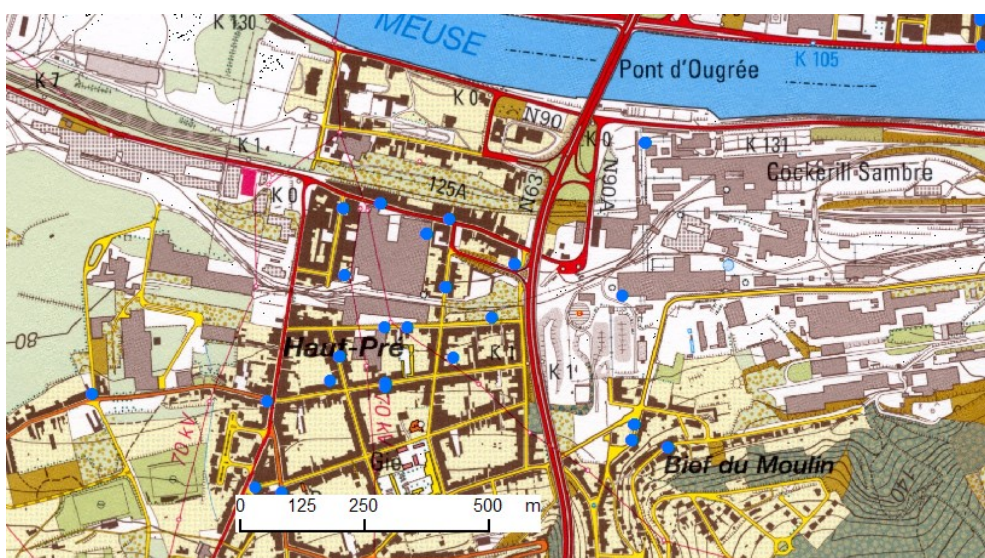


Les interventions ont été enregistrées au cours des événements pluvieux n°13, 15 et 18 (du 14 au 19/09/1998 ; du 04 au 10/07/1999 et du 02 au 03/07/2000) bien que la zone soit située

dans l'emprise des bassins hydrographiques démergés. S'agissant d'épisodes orageux estivaux, on peut néanmoins supposer comme origine un accroissement brusque du débit du ruisseau souterrain ou un ruissellement important en provenance des versants en pente forte et constitués d'un substrat peu perméable.

Site n°8 : il est situé dans la commune de Seraing, et plus précisément dans le quartier du Haut-Pré bordant la plaine alluviale de la Meuse, à l'ouest de la voie rapide joignant Sclessin au Sart-Tilman. Le site se présente à une altitude d'environ 80 m, soit une quinzaine de mètres au-dessus de la plaine alluviale meusienne. L'occupation du sol est fortement marquée par le passé industriel de la région. La densité de l'habitat est très importante (voir figure 28). Le substratum est constitué en bas de versant d'alluvions et de schistes houillers sur une étroite bande, elle-même associée plus au sud aux grès, quartzites, schistes et psammites du dévonien supérieur. La carte pédologique n'apporte pas d'information étant donné le remaniement intense des terrains fortement urbanisés.

Figure 28. Localisation des interventions dans le quartier du Haut-Pré à Ougrée



Les rapports succincts d'interventions ne permettent en aucun cas de définir l'origine de ces phénomènes, d'autant plus que cette zone fait partie des bassins hydrographiques démergés. Cependant, la quasi-totalité des interventions ont eu lieu entre le 02 et le 03/07/2000 (événement n°18). Il s'agit donc d'une accumulation locale d'eau et non d'un refoulement artésien via les égouts.

Des informations supplémentaires ont pu être récoltées en consultant l'atlas géotechnique élaboré par F. Bonnechère, E. Pignon et J. Hazard des Laboratoires d'Essais du Génie Civil et A. Montjoie, Cl. Polo Chiapolini, M.J. Zeimet et M.P. Barnich des Laboratoires de Géologie

de l'Ingénieur et d'Hydrogéologie. La planche V de la carte 42.5.4 à l'échelle 1 : 5.000 fournit des renseignements spatiaux sur les limites d'extension et sur l'épaisseur des limons fluviatiles dans la plaine alluviale, des basses terrasses et des hautes terrasses (voir figure 29 et figure 30).

En ce qui concerne le site n°8, nous pouvons constater que l'épaisseur des limons fluviatiles varie fortement au sein du quartier de Haut-Pré. Au nord de la rue F. Roosevelt, l'épaisseur de limons varie de 0 à 10 m. Au sud de cette même rue, les limons fluviatiles sont inexistants. Or, les interventions se concentrent effectivement dans la zone où le substratum est composé de limons fluviatiles. Cela peut remettre en cause l'hypothèse de l'accumulation locale de l'eau qui avait été retenue d'après l'étude des paramètres précédents.

La percolation de l'eau à travers ces limons, à proximité du lit du fleuve a pu être effective, malgré l'installation des pompes chargées de démerger le bassin versant concerné.

Figure 29. Légende de la carte géotechnique de Seraing : planche V : limons fluviatiles et formations de hautes terrasses

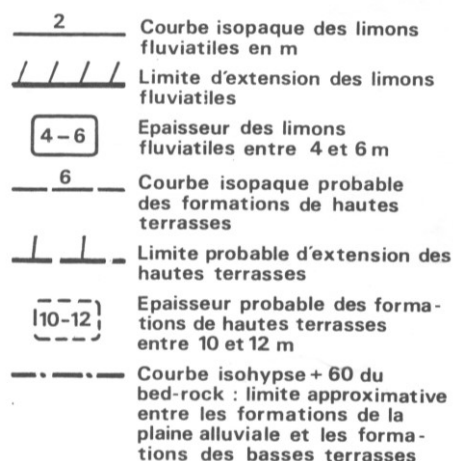
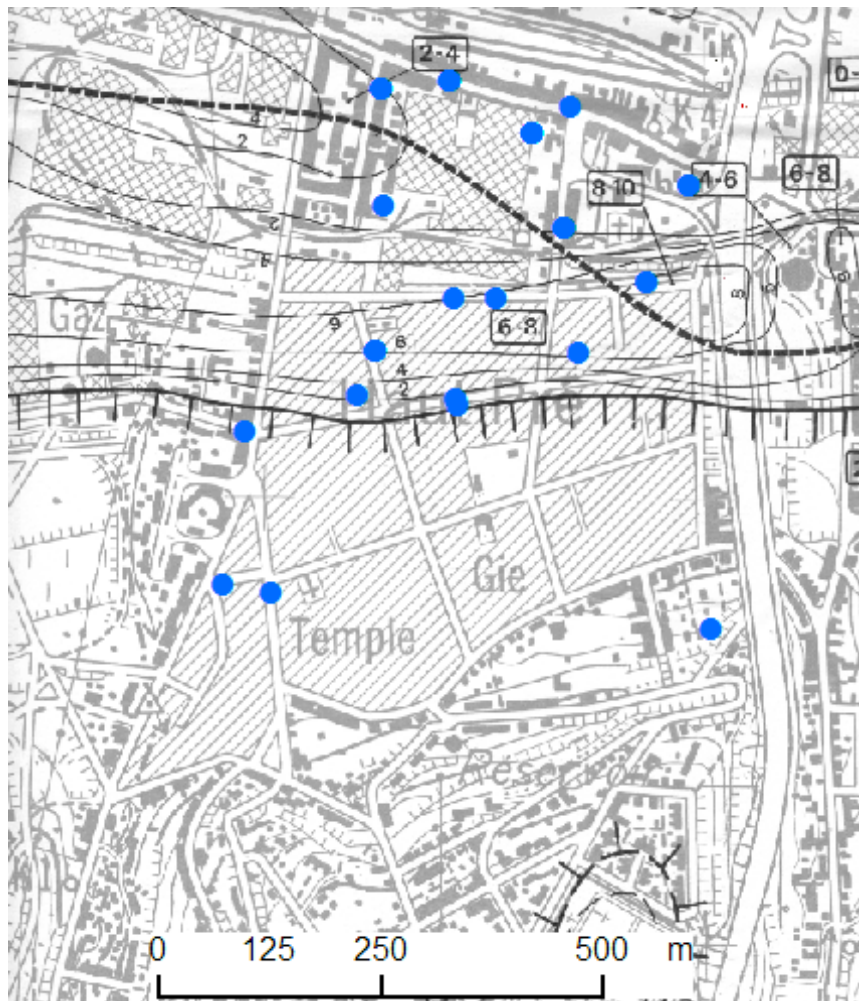
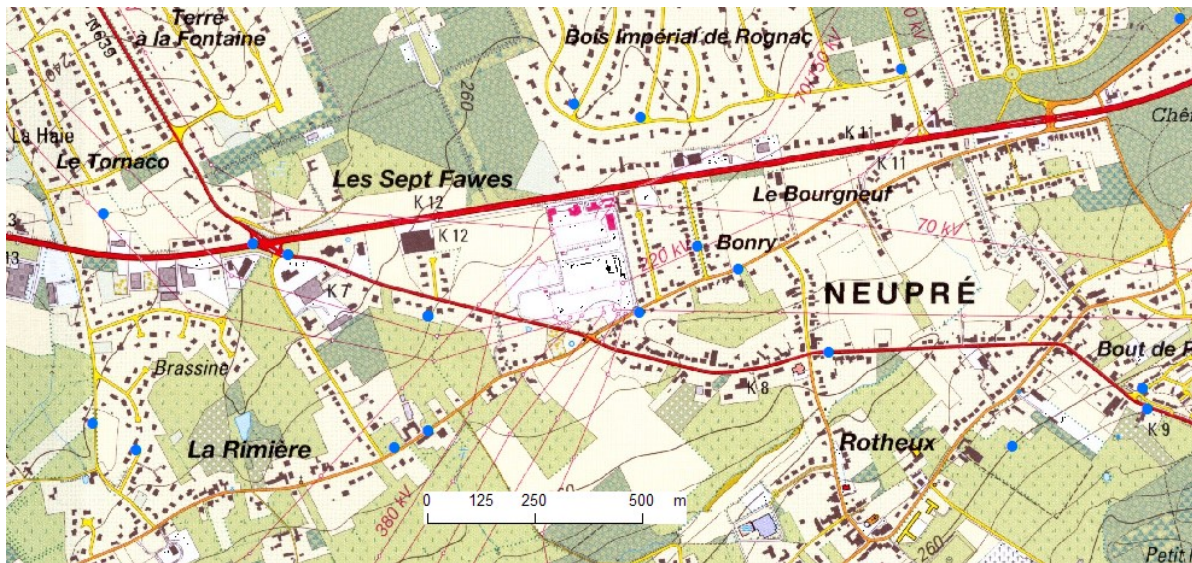


Figure 30. Localisation des interventions selon le contexte géotechnique du quartier du Haut-Pré à Seraing



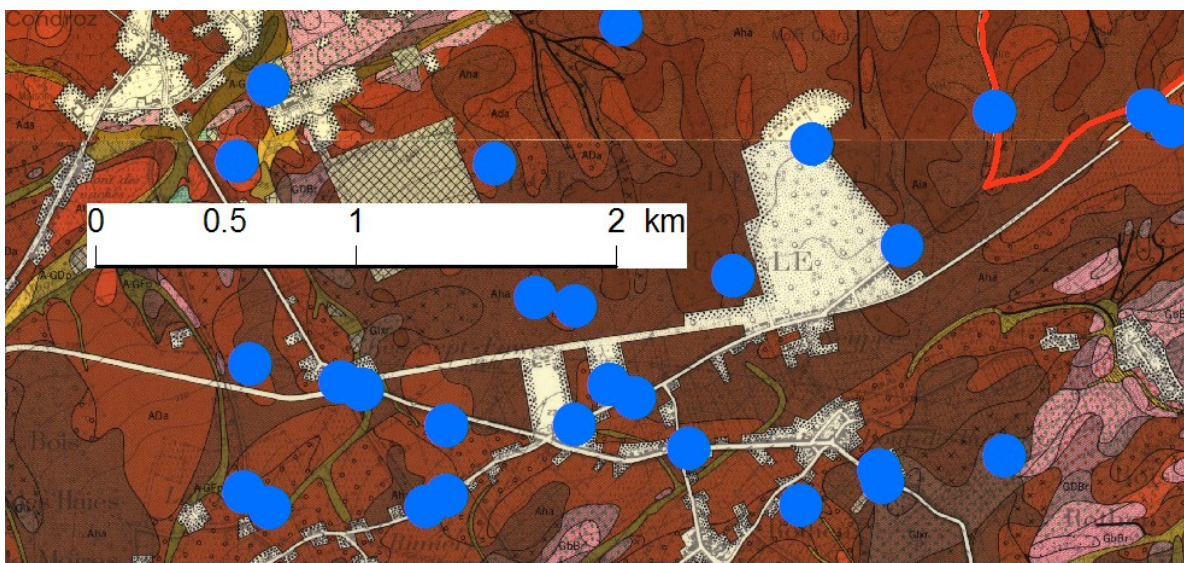
Site n°9 : il s'agit d'une localisation de plateau, située dans les quartiers résidentiels de la commune de Neupré, à 250 m d'altitude. Le site est occupé par de l'habitat de faible densité et de zones boisées et de prairies (voir figure 31). Situés sur des quartzites, schistes et psammites du dévonien supérieur, les interventions sont situées en position inhabituelle, c'est-à-dire en position de plateau. Cependant, l'analyse plus précise montre que cette zone se présenterait dans le prolongement de ravines correspondant à des têtes de ruisseaux. Il semble que cette situation favorise l'accumulation d'eau suite à de fortes pluies, voire au développement de flash-floods. Remarquons néanmoins que les services d'incendie n'ont pu établir les causes des pompages effectués que pour certains cas précis. Il s'agit de garder à l'esprit que ces renseignements pris sur le terrain par les pompiers de Liège n'étaient pas, à l'origine, promis à une étude ultérieure.

Figure 31. Localisation des interventions sur le plateau de Neupré



Un indice peut être obtenu grâce à l'étude de la carte pédologique du site. L'imperméabilité importante des horizons superficiels couplée à celle des roches sous-jacentes peut conduire aux observations enregistrées. Il s'agit de sols limoneux à drainage peu favorable voire défavorable par endroits. Nous remarquons que la majorité des points sont localisés dans des zones à drainage défavorable (voir figure 32). La planéité du plateau empêche l'évacuation de l'eau vers les vallées adjacentes. Malheureusement, ni la résolution du modèle numérique de terrain disponible ni l'équidistance des courbes de niveau des cartes topographiques ne permettent d'établir avec certitude l'existence de ravines dont l'existence était précédemment supposée.

Figure 32. Contexte pédologique du site n°9



Site n°10 : constitué du village de Bierset, au nord-est de l'aéroport du même nom, est situé sur le plateau de Hesbaye sèche. Le réseau hydrographique y est peu développé et seuls quelques vallons secs dissèquent localement le paysage. Situé à la limite entre le substrat crayeux du Secondaire et les sables tertiaires, l'endroit est occupé par un habitat de densité moyenne. Ses caractéristiques le rapprochent du site n°1 d'Awans. Les causes sont, d'après les relevés effectués, les fortes précipitations. Néanmoins, les événements pluvieux les plus importants n'ont pas provoqués de nombreux problèmes dans la zone en question. Il y a donc une opposition entre les causes établies dans les rapports de l'IILE et l'observation des données météorologiques et topographiques réalisés *a posteriori*.

Remarques : les riverains de l'aéroport de Bierset mettent en cause le développement de celui-ci et de l'allongement prévu des pistes de décollage et d'atterrissage comme étant à l'origine des inondations de plus en plus fréquentes dans ce quartier. Les cartes suivantes positionnent les points relevés dans la base de données originale, complétée des deux cas mentionnés ici pour la zone comprise à moins d'un ou de deux kilomètres de la parcelle occupée par l'aéroport.

Les deux nouvelles interventions rajoutées dans la base de données selon les renseignements appris par les médias ont les caractéristiques suivantes (voir tableau 17) :

Tableau 17. Nouveaux cas d'inondations relevés à proximité de l'aéroport de Bierset

REF	Adresse	Commune	Latitude N	Longitude E	X Lambert	Y Lambert
3177	Rue J. Jaurès, 16	Awans	50°40'04''31	5°27'44''68	227 404	151 315
3178	Rue de Liège, 373	Fexhe-le-Haut-Clocher	50°39'15''24	5°25'52''72	225 227	149 767

L'analyse géostatistique résulte en la carte 30 qui a été conçue selon la méthode du *buffering* qui consiste à déterminer une zone située à une distance donnée d'un point, d'une ligne ou d'un polygone. Dans ce cas, le polygone de départ représente l'ensemble des parcelles cadastrales sur lesquelles repose l'Aéroport de Liège – Bierset. Ces parcelles ont été définies et regroupées sur base du PLI (Plan de Localisation Informatique) pour la commune de Grâce-Hollogne. La carte permet de constater que 41 sites d'interventions existent dans la zone située à moins d'un kilomètre de la limite de la zone aéroportuaire. Cependant, le territoire situé entre un et deux kilomètres de l'aéroport ne montre que 24 sites d'interventions. Cette analyse rejoint l'avis des riverains interrogés à ce sujet et qui mettent en cause le développement des surfaces imperméables sur le site de Bierset comme source de leurs problèmes d'inondations de caves. L'élongation prévue à court terme des pistes et l'imperméabilisation qui en résultera ne pourront qu'entraîner des troubles plus importants dans les endroits déjà touchés par ces phénomènes ou éventuellement, déplacer le problème vers d'autres zones proches de l'aéroport.

Il est intéressant de noter que les espaces les plus touchés sont situés au NW de l'aéroport (Awans, Voroux-Goreux et Bierset essentiellement) et au SSE (en tête de bassin de la vallée du Ruisseau canalisé de Hollogne dans l'entité de Hollogne-aux-Pierres).

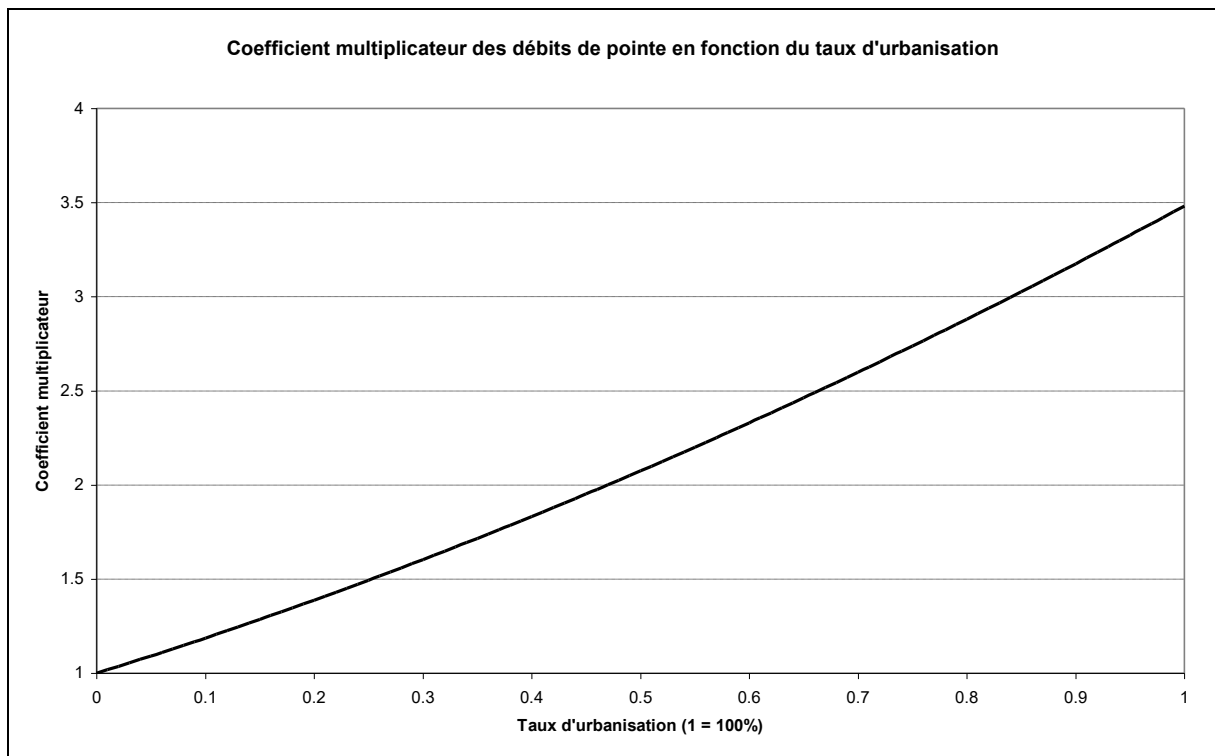
Cet exemple ponctuel permet de mettre en relation l'accroissement des situations critiques en termes d'inondations de caves essentiellement et l'augmentation des surfaces imperméabilisées résultant de l'extension de l'urbanisation (COSANDEY & ROBINSON, 2000). En effet, les zones urbaines induisent :

- un raccourcissement du temps de réponse entre la précipitation et l'écoulement dans le cours d'eau (via le réseau d'égouttage ou en ruissellement de surface) ;
- une élévation du pic de crue ;
- un raccourcissement de la durée de la phase d'écoulement.

HOLLIS (1975) montre également que le taux d'urbanisation affecte plus l'accroissement du débit de pointe des crues de faible récurrence que celui des crues exceptionnelles. PACKMAN (1979) a proposé une relation générale entre le pourcentage de surface urbanisée (A_{urb}) d'un bassin versant et le facteur de multiplication du débit de pointe (P_{mf}) :

$$P_{mf} = (1 + A_{urb})^{1,8}$$

Figure 33. Effets de l'urbanisation sur les débits de pointe (selon PACKMAN, 1979)



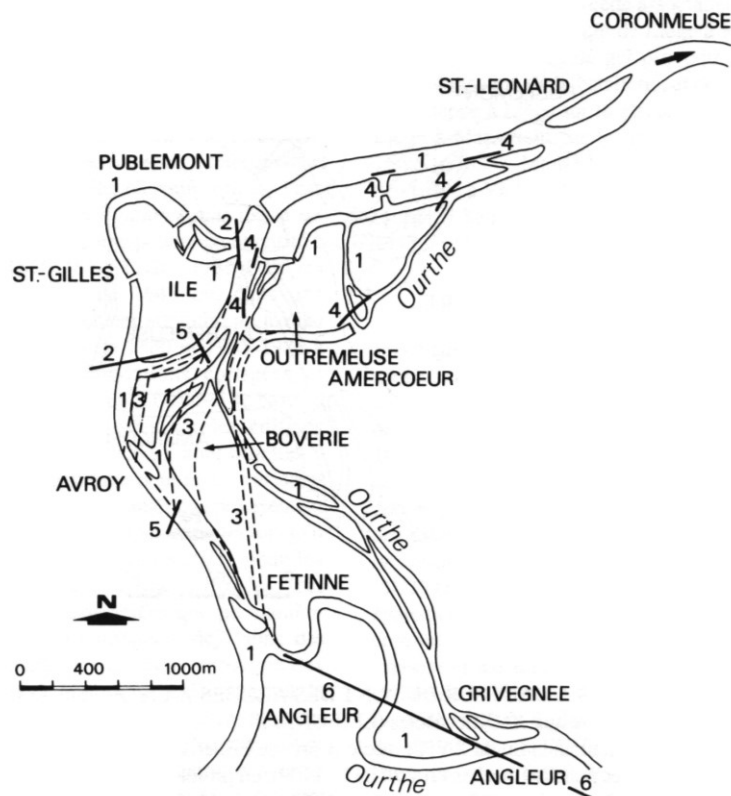
La

figure 33 montre que le coefficient multiplicateur des débits de pointe vaut 2 lorsque 47% de la superficie du bassin versant concerné sont urbanisés. Il équivaut à 3 lorsque la surface urbanisée est proche de 84%. Compte tenu de la forte urbanisation de l'agglomération liégeoise, nous pouvons considérer que le coefficient multiplicateur des débits de pointe en cas de précipitations intenses est compris localement entre 2 et 3. L'incertitude provient essentiellement de la définition de l'urbanisation et de la méthode utilisée pour la calculer en fonction de l'affectation du sol. D'autres considérations à ce sujet seront développées dans la dernière partie de ce mémoire, en tentant de calculer pour chaque situation géographique, une approximation de la valeur du taux d'urbanisation.

IV.6. Analyse géographique de l'occurrence des interventions

La localisation des sites les plus fréquemment soumis aux interventions est reprise sur la carte 38. Elle représente les lieux (à l'échelle du nom de la rue et du numéro de police concerné) où de plus de trois, de cinq ou de sept interventions ont été effectuées entre le 01/01/1993 et le 03/06/2004.

Leur distribution est très hétérogène, d'autant qu'il est nécessaire de tenir compte de la densité du bâti qui influence la représentativité de ces relevés. Cependant, on constate que les axes constituant l'ancien lit de la Meuse sont fortement soumis à des inondations, vraisemblablement par infiltration d'eau via les égouts. L'ancien cours de l'Ourthe, à hauteur de Chênée et de Grivegnée montre localement de fortes occurrences. La figure 34, réalisée par SUTTOR, présente l'état morphologique du site liégeois avant et après les rectifications ayant eu cours entre le XVIII^e et le XX^e siècle.

Figure 34. Morphologie hydrologique en région liégeoise avant les travaux de rectification

**MODIFICATION DU TRACE DE LA MEUSE ET DE L'OURTHE A LIEGE
(XVIIIe - XXe siècles)**

- 1 : Lit de la Meuse en 1771-1778 (Carte de FERRARIS).
- 2 : Voûtement des bras en aval du Pont d'Ile (1839). Comblement du bras d'Avroy (1845).
Comblement du bras de la Sauvenière (1838).
- 3 : Redressement des coudes d'Avroy et de Bèche (1853-1863).
Création du bassin de Commerce (1853-1863). Percement de la dérivation de la Meuse (1853-1863).
- 4 : Comblement des bras de l'Ourthe en Outremeuse (1863-1874).
- 5 : Comblement du bassin de commerce (1880).
- 6 : Rectification du cours de l'Ourthe à hauteur d'Angleur et de Grivegnée (1902-1905).

IV.7. Etude des conditions locales du centre-ville de Liège

L'analyse des cartes de répartition des interventions montre très clairement la forte occurrence d'appels concernant des pompages ou des inondations le long de l'axe formé par le boulevard d'Avroy et le boulevard de la Sauvenière. Il s'agit de l'emplacement exact de l'ancien bras de Meuse, comblé en 1838 par des sédiments et des gravats de nature inconnue. Il semblerait que ces matériaux présentent une porosité accrue et favorise les infiltrations dans les caves des immeubles situés de part et d'autre de l'axe routier. Selon MACAR et PISSART (1964), le long des boulevards de la Sauvenière et d'Avroy, qui correspondent à un ancien bras de la Meuse, des immeubles ont été construits à cheval sur la berge et l'ancien cours du fleuve. L'affaissement des parties surmontant le chenal

remblayé a déterminé en maints endroits la formation de fissures importantes. Cette information confirme notre hypothèse de travail.

Il s'agit tout d'abord de préciser que le positionnement des points situés le long de ces deux artères densément bâties est relativement bon, puisque la qualité générale des données accessibles pour l'opération de conversion des adresses postales en coordonnées Lambert était très correcte dans les différents logiciels et bases de données disponibles.

Afin de détailler plus particulièrement cette zone au sujet des interventions et de leur occurrence, les plans cadastraux digitalisés (P.L.I. : plan de localisation informatique) ont été utilisés comme fond de plan. Ils ont été établis à une échelle du 1 : 5.000, et ont été mis en corrélation avec les orthophotoplans du centre-ville. Par contre, l'utilisation du modèle numérique de terrain disponible fut impossible, étant donné la planéité du territoire dont il est ici question et la résolution altitudinale du MNT égale à 1 mètre.

Sur base de la classification établie précédemment, la carte 28 permet de distinguer que la classe majoritairement représentée concerne les interventions pour pompages de cages d'ascenseur. Ce fait est à mettre en relation avec la présence d'immeubles de plus de 10 étages le long du boulevard, ce qui induit cette surreprésentation dans la base de données encodées à l'IILE.

D'après les renseignements pris auprès du service d'incendie de Liège, les cages d'ascenseur sont sensibles aux écoulements d'eau en provenance des toitures des grands immeubles. Des infiltrations ont également lieu à la base de la cage. De plus, il est généralement nécessaire d'évacuer par pompage de l'eau prise au piège dans les dépressions anthropiques que forment les cages d'ascenseur ; bien souvent, aucun moyen d'évacuation par gravité n'a été prévu, car le niveau de la cage se trouve en général sous le niveau des conduites d'évacuation.

La carte 27 représente l'occurrence des interventions, toutes catégories confondues dans le centre-ville liégeois. La cartographie a été réalisée en symboles proportionnels, de manière à représenter le nombre d'interventions ayant eu lieu en chaque point durant la période étudiée (de janvier 1993 à juin 2004). Les interventions sont localisées à l'adresse exacte des habitations d'où les appels ont été enregistrés. Le nombre d'interventions effectuées en un peu plus de 11 ans s'échelonne de 1 à 12 pour une même adresse.

L'analyse des données montre que les inondations et les pompages réalisés peuvent être regroupés en plusieurs sites :

- l'axe du boulevard d'Avroy et du boulevard de la Sauvenière, où les interventions sont surtout liées à la présence d'immeubles élevés ;
- l'axe de la rue Hors-Château et de son prolongement vers la rue Saint-Léonard ; la cause des pompages dans cette zone reste à définir ;
- la moitié occidentale de la rue Vivegnis, située à flanc du coteau boisé reliant la plaine alluviale de la Meuse au site de la Citadelle, à proximité de la gare SNCB. Les pompages qui y ont été effectués résultent de la présence d'anciennes conduites d'exhaure qui débouchent dans cette partie de la rue ;
- les rives de la Meuse présentent également de fortes occurrences d'interventions, essentiellement en trois points (le Quai de Rome entre la rue des Rivageois et la rue de Fragnée ; le Quai Bonaparte entre la rue des Maraîchers et la rue du Marché ; le quartier situé de part et d'autre de la rue Léopold au sud de la place Saint Lambert). Elles résultent plus que probablement d'infiltrations d'eau provenant du fleuve en direction des caves des immeubles ;
- la rue perpendiculaire à la rue Saint Léonard – la rue des Bayards – qui présente un grand nombre d'interventions sur toute sa longueur. Leurs causes sont pour l'instant indéterminées ;
- d'autres interventions ont eu lieu au centre-ville, mais leur localisation est éparse et ne présente pas de situation privilégiant une explication plutôt qu'une autre. Il sera déterminant de confronter cette carte à celle donnant le type d'intervention recensé de manière à émettre des hypothèses quant aux causes d'inondation.

La carte 28, présentant exactement la même zone que la carte 27, indique le type d'intervention ayant été encodé dans la base de données. Pour des raisons de lisibilité de la carte, certains codes préalablement déterminés ont été regroupés de manière à réduire le nombre de symboles existants. Le tableau 10 indique les codes initiaux tandis que le tableau 18 donne le résultat du regroupement en six classes.

Tableau 18. Regroupement des différents types d'interventions (voir aussi carte 28)

A	0, 1 & 10 (aucune information, rien à signaler ou dégel du sous-sol)
B	2 (cause inconnue)
C	3, 4, 5, 6, 7 (causes : égouts bouchés, infiltrations, fortes pluies, débordement d'un puits ou causes anthropiques)
D	8 (inondation)
E	9 (pompage de cage d'ascenseur)
F	11, 12 & 13 (causes : débordement de conduites de charbonnage ou de bassin d'orage, source d'eau)

La carte 28 représentant les différents types d'interventions pour tous les événements recensés entre le 01/01/1993 et le 03/06/2004 permet de dégager les faits suivants :

- classe A : les interventions pour lesquelles aucune information n'a été communiquée, que rien n'a été signalé ou qu'un dégel du sous-sol a eu lieu sont réparties uniformément dans la zone cartographiée. Nous pouvons cependant distinguer une surreprésentation de cette classe dans la plaine alluviale, mais cela est simplement relié à la densité plus forte du bâti.
- Classe B : les interventions n'ayant pas de causes connues se concentrent dans quatre sites principaux : le quartier au sud de la place Saint Lambert, le boulevard Piercot perpendiculaire au boulevard d'Avroy, le quartier de Bressoux dans sa partie comprise dans la plaine alluviale de la Meuse et enfin de part et d'autre de la rue de Herve longeant le cimetière de Robermont.
- Classe C : cette classe reprend les causes suivantes : les égouts bouchés, les infiltrations d'eau dans les caves qu'elles soient ou non liées aux fortes pluies, les débordements de puits et les causes anthropiques. Nous remarquons également qu'il existe une localisation préférentielle pour ces diverses causes. En effet, la carte montre plusieurs zones où ces types d'interventions se sont manifestées au cours de la période étudiée : le bas de versant situé au pied de la côte de Ans dans les quartiers de Sainte-Marguerite et de Saint-Laurent ; l'axe constitué par la rue Saint-Léonard ; la partie la plus proche de la dérivation de la Meuse dans le quartier de Bressoux ainsi que d'autres localisations ponctuelles dispersées essentiellement à une altitude proche de celle de la plaine alluviale mosane. On constate qu'aucune intervention n'est observée sur les sites de Cointe et de Grivegnée, malgré la densité résidentielle non négligeable. Cette remarque vaut d'ailleurs pour tous les types d'interventions. Il s'agit d'endroits exempts de tout problème hydrologique majeur.
- Classe D : concernant les situations qualifiées d'inondations par les pompiers liégeois, nous constatons qu'elles sont localisées à proximité non immédiate des

rives. Il s'agirait dès lors plutôt de refoulement d'eau lié à la montée du niveau de la nappe alluviale étant donné que les murs anti-crues protègent la cité ardente des risques de cette nature. Cela suggère encore une fois la prudence avec laquelle il s'agit d'aborder la classification des interventions telle qu'elle a été définie sur le terrain.

- Classe E : les pompages de cages d'ascenseur ne peuvent évidemment être constatés que dans les immeubles en disposant. Ceux-ci se concentrent le long du boulevard d'Avroy, dans le Carré, en Outremeuse et ponctuellement à Bressoux et dans le quartier Saint-Léonard.
- Classe F : cette classe comprend des causes très rares, à savoir des débordements de conduites de charbonnage, d'un bassin d'orage ou la présence d'une source d'eau dans le sous-sol d'une habitation. Ces points sont situés dans les quartiers de Féronstrée et Saint-Léonard mais il semble que la définition des causes établies soit erronée puisqu'ils se situent pour la plupart le long des quais.

IV.8. Etude de l'occurrence des interventions en périphérie liégeoise

Sur les plateaux environnants, les interventions très fréquentes (plus de 5 interventions en 11 ans) ont lieu à Rocourt et au nord d'Herstal, à proximité du réseau autoroutier. Deux autres cas sont recensés à Montegnée et à Seraing. En ce qui concerne les interventions fréquentes (plus de 3 interventions en 11 ans), elles se distribuent de manière très hétérogène au sein du territoire. On peut seulement observer une concentration de points à proximité des têtes de chenaux de drainage dans les communes de Bierset, Neupré, Fexhe-Slins et Chaudfontaine. Les rives mosanes sont également soumises par endroits à de fréquentes interventions, sans doute liées à des remontées d'eau échappant au système d'épuisement de l'eau mis en place par l'AIDE.

V. La lutte contre les inondations dans le bassin minier liégeois : le démergement et le réseau d'égouttage urbain

La carte 29 représente la localisation des bassins d'orage dans la zone où s'étend cette analyse. Cette cartographie a été réalisée par digitalisation des nouvelles cartes IGN 1 : 10.000, du moins pour les portions de l'espace déjà couvertes par cette nouvelle édition (1993-2001). Concernant le reste du territoire (correspondant aux planchettes 34, 35 et 36 de l'IGN), nous avons préféré extraire l'information sur base des cartes à l'échelle 1 : 50.000, plus récente que l'édition des cartes 1 : 10.000 disponibles. Un contrôle minutieux des points digitalisés a eu lieu par la suite en les superposant aux orthophotoplans (PPNC) de la zone étudiée. Cela nous a permis d'éliminer les lacs ou étangs semi-permanents d'origine naturelle et de ne conserver que les bassins d'origine anthropique.

Parmi l'ensemble des équipements présentés ici, 25 bassins d'orage sont gérés par l'AIDE. Ils permettent en cas de forte averse de canaliser directement les eaux vers la vallée via plusieurs canalisations, appelées exutoires. Le trajet emprunté par ces canalisations est également reporté sur la carte 29 ; ces données proviennent de la digitalisation d'un plan issu du site internet de l'AIDE.

V.1. Une cause ponctuelle d'inondation : le débordement des areines : le cas de Cheratte⁹

Les areines sont d'anciennes conduites de charbonnage liées à l'activité minière ayant pris place en région liégeoise. Or, ces conduites peuvent ponctuellement être à l'origine d'inondations locales. Elles se comportent comme des exutoires du surplus d'eau qui s'est accumulé dans les anciennes galeries de mines suite à de fortes précipitations. Le fait le plus marquant s'est déroulé le 27 février 2002, vers 20 heures, dans la rue de Visé à Cheratte. Environ 40 cm d'eau ont brusquement recouvert une large partie de la route et de nombreuses caves ont été inondées suite à l'infiltration des eaux via les soupiraux. En cause : l'effondrement d'un mur barrant l'accès aux anciennes galeries du charbonnage du Hazard sous l'effet de la pression de l'eau accumulée.

⁹ RENETTE E. (Le Soir) 09/03/2004. *Mine de rien, la région liégeoise prend l'eau.*
<http://www.lesoir.be/recherche/recherche.php?op=getArticle&id=38623>, consulté le 20 juillet 2004

S.L. (La Libre) 01/03/2002. *Un torrent d'eau pas si inattendu.*
http://www.lalibre.be/article.phtml?id=10&subid=87&art_id=53854, consulté le 3 juillet 2004

La base de données d'interventions de l'IILE révèle en effet deux appels relatifs à ce phénomène exceptionnel. Les indications qui ont été consignées sont les suivantes :

- 1) *Appel reçu le 27/02/2002 à 19h46, provenant de la rue de Visé, 65 à Cheratte.*
- 2) *Appel reçu le 27/02/2002 à 20h16 : inondation de la rue de Visé sur une longueur d'environ 300 m suite à l'effondrement d'un mur qui retenait la nappe d'eau qui s'est accumulée dans les galeries de mines avec les pluies abondantes du mois de février. L'évacuation des eaux a pu se faire par les taques d'égouts, relayées par la station de pompage de l'AIDE. La réunion de crise a été levée par le bourgmestre le 28/02/2002 à 01h12.*

Ces galeries avaient pour objectif d'évacuer naturellement les eaux de la nappe aquifère qui s'infiltraient et s'accumulaient au fond des exploitations minières et empêchaient l'extraction du charbon. Des conduites ont ainsi été creusées de la plaine alluviale vers le fond des exploitations pour évacuer ces eaux vers le fleuve. Ces areines ont été reprises dans le réseau d'égouttage lors de la construction de celui-ci ou lors de travaux de rectification du fleuve.

Cependant, les pompes d'exhaure ont été arrêtées avec la fin de l'exploitation minière. En conséquence, un important réseau de drainage aboutissant sur les versants de la vallée de la Meuse menace de provoquer des coups d'eau.

Septante zones susceptibles de présenter une remontée du niveau piezométrique ont été identifiées par l'Institut Scientifique du Service Public (ISSeP). Cinq réseaux de galeries ont été localisés, sur une longueur totale de 80 km. Quatre réseaux aboutissent dans la vallée mosane et un dans la vallée du Bolland.

L'analyse des plans des concessions minières passées a permis d'identifier 19 exutoires dont 11 se sont révélés drainants. Ces réseaux interagissent sur la gestion des précipitations tombant au sein de leur aire de drainage, en tenant compte de la structure géologique qui détermine l'écoulement souterrain de l'eau. Nous distinguerons également les égouts drainants qui ont été conçus de manière à rabattre la nappe aquifère en drainant les eaux de la nappe directement dans les canalisations de la Ville.

Remarque : nous parlerons donc dans ce cadre-ci du bassin hydrogéologique des galeries de charbonnage : il s'agit de la ligne de partage des eaux souterraines, fortement influencée par la structure micro-tectonique du sous-sol. Il se distingue du bassin hydrographique qui est, quant à lui, délimité par les lignes de crêtes

topographiques. En outre, le bassin hydrogéologique peut présenter une variabilité temporelle, ce qui n'est pas le cas du bassin hydrographique.

Le rapport commandé à l'ISSEP indique que dans la zone drainée (équivalente à 22,6 km²) par les cinq réseaux cités ci-dessus, environ 10 % des précipitations y sont canalisées. Cela représente annuellement un volume d'eau de 183 millions de m³. Ce volume récolté est largement plus conséquent que celui rejeté dans la Meuse par les pompes d'épuisement faisant partie du réseau de démergement. En effet, les 30 pompes permanentes de l'AIDE ont rejeté en 2003 un volume de 25 millions de m³ tandis que les stations activées uniquement en cas de fortes précipitations et dont la mise en service est tributaire des niveaux de la Meuse et de l'Ourthe ont été utilisées lorsque les cotes d'alerte respectives furent atteintes pour évacuer 2 millions de m³ durant la même période.

Remarque 1 : calcul du volume évacué par les areines

Calcul du volume évacué par les areines : précipitations annuelles moyennes à la station de Liège-Monsin (période 1970 à 2002), située au cœur du territoire drainé : 808,4 mm. Volume précipité sur la surface drainée $808,4 \text{ l/m}^2 \cdot \text{an}^{-1} * 22,6 \text{ km}^2 * 1.000.000 = 1,83.10^9 \text{ m}^3 \cdot \text{an}^{-1}$. Volume évacué : $10\% * 1,83.10^9 \text{ m}^3 = 183.10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{an}^{-1}$

Remarque 2 : établissement des cotes d'alerte du niveau de la Meuse et de l'Ourthe (selon l'AIDE, 2003) :

L'AIDE a déterminé le niveau altimétrique du plan d'eau de la Meuse relatif à la cote d'alerte pour le déclenchement des stations de pompage non permanentes. Il est situé à 60,80 m à l'échelle limnimétrique de Seraing. Le niveau d'étiage est établi quant à lui aux environs de 60,00 m. En 2003, la cote maximale a été relevée le 3 janvier à une altitude de 63,40 m.

Dans le cadre d'une étude commanditée par la Région Wallonne auprès de l'AIDE (entre 1998 et 2000) au sujet de la dilution des eaux usées, 37 entrées d'eau claire ont été identifiées dans le réseau d'égouttage liégeois et cumulent en moyenne 50.000 m³ par jour.

Des informations plus précises auraient été les bienvenues pour compléter cette analyse avec notamment un accès aux réseaux souterrains ayant été référencés. Malheureusement, aucun suivi n'a été donné à nos requêtes tant au niveau de l'ISSEP que du Ministère de la Région Wallonne – Direction des Eaux Souterraines. Le rapport dont il est question ne semble pas accessible en dehors des groupes d'études concernés.

V.2. Les ruisseaux urbains souterrains

Le sous-sol liégeois renferme des ruisseaux qui étaient anciennement à ciel ouvert. Ils ont été couverts durant les phases successives du développement urbain. La plupart d'entre eux sont taris ou canalisés dans les égouts. Il en va ainsi de la Légia qui, après une course

de quelques mètres à l'air libre sur le plateau d'Ans, s'engouffre dans les égouts pour ne plus revoir le jour qu'en amont du Pont des Arches, sous le marché de la Batte.

V.3. Les infrastructures d'égouttage de la région liégeoise et leur comportement vis-à-vis des précipitations importantes

Les infrastructures d'égouttage présentes dans le sous-sol de la commune de Liège constituent un réseau complexe d'une longueur de 750 kilomètres. Elles datent pour la plupart de la seconde moitié du XIX^{ème} siècle, à l'époque où la rectification du cours de la Meuse a débuté.

D'après Léon Warnotte, directeur du département des Travaux à la Ville de Liège, « L'égouttage couvre 95% du « Grand Liège » via une toile d'araignée complexe dont les fils convergent tous vers le fleuve [...] Le réseau est structuré par rive de la Meuse. [...] La rive gauche est elle-même divisée en quatre zones, qui correspondent à des bassins hydrographiques de plaine ou de flanc pentu de colline eux-mêmes divisés en sous-bassins puis en réseaux maillés, au fur et à mesure que l'on se rapproche du fleuve. »¹⁰

Dès le siècle dernier, la mise en place des égouts liégeois a fait l'objet de divers calculs permettant de les mettre au gabarit nécessaire à l'évacuation des pluies locales. Le diamètre des canalisations peut atteindre 1,35 m à 2 m et varie selon les bassins hydrographiques.

D'après Jean-Géry Godeaux, échevin liégeois des Travaux (en 2002), « Les égouts liégeois ont été calibrés pour pouvoir faire face à des pluies dont l'intensité maximale est observée tous les 5 ans. [...] On sait donc que les égouts liégeois ne pourront pas faire face à une pluie exceptionnelle, du type de celles que l'on rencontre statistiquement, par exemple, tous les 10 ans ! Mais le choix qui a été fait il y a de cela plus d'un siècle était, et est toujours, avant tout économique. Et recalibrer aujourd'hui tout le réseau d'égouttage liégeois coûterait des centaines de millions d'euros ! »

Des recalculs locaux suivant les techniques déployées actuellement ont montré que les égouts, aux endroits testés, étaient suffisamment dimensionnés. Léon Warnotte précise que le service des Travaux a décidé de commander à l'AIDE une étude sur le recalcul général du réseau d'égouttage liégeois. Il servira de base au plan d'épuration des eaux usées que la Ville doit mettre en place d'ici 2005.

¹⁰ S.J. (La Libre) 28/03/2001. *Des eaux d'égouts trop propres!*
http://www.lalibre.be/article.php?id=10&subid=87&art_id=15940, consulté le 3 juillet 2004

Le plan triennal de la Ville de Liège présente pour les années 2004 à 2006 les travaux à réaliser sur la voie publique. On retrouve parmi ceux-ci :

- l'égouttage de l'impasse Vottem – Sainte Walburge (zone égouttable) (2004)
- l'égouttage de la rue En Ster – Glain (zone égouttable) (2005)
- l'égouttage de la Cité Administrative, Potiérue – Centre (2005)
- l'égouttage de la rue des Montagnards à Wandre (2006)

Il est intéressant de confronter les projets d'égouttage à l'occurrence des interventions réalisées par l'IILE. Cependant, ces quatre sites où sont prévus des aménagements du réseau d'assainissement n'ont pas enregistré d'interventions au cours des années 1993 à 2004.

V.4. Les principes de séparation des réseaux de récolte des eaux usées et des eaux de pluie

Figure 35. Areine Gerson-Fontaine aboutissant au croisement des rues Lonhienne, Lambert-le-Bègue et Sur-la-Fontaine.



Afin d'illustrer la séparation des eaux usées et des eaux de pluie visant à n'épurer que les premières, nous prendrons l'exemple de l'une des areines principales de Liège. Après avoir canalisé une partie des eaux provenant des anciens charbonnages, elle

rejoint l'égout principal à la rue Lonhienne en un point appelé « l'œil de l'areine » (voir figure 35). Afin de séparer les deux fluides, une station de pompage souterraine a été construite sous le parking Jaspar tandis qu'une conduite de refoulement vers le boulevard de la Sauvenière conduira les eaux de pluie vers l'égout principal d'un diamètre de trois mètres (voir figure 36).

Figure 36. Canalisation des eaux d'exhaure via le réseau d'égouttage existant

© AIDE

V.5. Le démergement : la maîtrise des eaux en milieu urbain¹¹

Le démergement est un terme technique de l'exploitation des mines. On démerge une fosse, une mise, une veine, voire une localité, c'est-à-dire que l'on en évacue les eaux. Le mot est passé dans le langage administratif et officiel après que la région de Liège ait connu, pendant une partie de l'hiver 1925 – 1926, des inondations d'une gravité exceptionnelle.

Le démergement en région liégeoise¹²

L'exploitation du sous-sol charbonnier du bassin, point de départ de l'essor de l'agglomération liégeoise, est à l'origine d'une situation qui a engendré une menace de mort pour tout le bassin industriel liégeois. A l'exception d'une superficie de 200 hectares du territoire de la Ville de Liège, la loi du 24 avril 1810 sur les mines, accordait des concessions pour l'exploitation houillère, celles-ci s'étendaient suivant le lit de la Meuse depuis Ivoz-Ramet – Flémalle-Haute en amont de Liège jusqu'à Cheratte – Vivegnis en aval, soit sur une longueur totale d'environ 23 kilomètres (la descente moyenne a fluctué pendant de nombreuses années entre 5 et 10 cm par an). Pour des raisons de rentabilité, on n'a pas procédé au remblayage des veines déhouillées, ce qui a entraîné progressivement l'effondrement des terrains en surface.

¹¹ Source : http://www.aimf.asso.fr/pres/col_bordeaux/annexe2.html, consulté le 3 juillet 2004

¹² Source : ANONYME, s.d. *Plan W : Lutter contre les inondations par le démergement*. Namur : IDEA, AIDE & Inspection générale de l'Eau, Direction générale des Ressources naturelles et de l'Environnement, Ministère de la Région Wallonne, 21 p.

L'existence d'anciens nivellements, dont l'un date de plus d'un siècle a permis d'établir sans équivoque possible, que l'affaissement total dû au déhouillement dépasse la moitié de l'ouverture totale des couches exploitées.

En tenant compte que la descente du sol a été nulle en amont d'Ivoz-Ramet et Flémalle-Haute, à la traversée de Liège et en aval de Vivegnis – Cheratte, on constate la formation :

- entre Ivoz-Ramet – Flémalle-Haute et Liège, d'une dépression marquée elle-même de plusieurs cuvettes plus profondes. L'affaissement varie rapidement de 0 aux extrémités de la dépression à 2, 4, 6 mètres et même plus ;
- entre Liège et Vivegnis – Cheratte, sur une grande partie du bassin, d'une vaste dépression où existent deux grandes cuvettes, l'une à Herstal, l'autre à Wandre, avec des affaissements respectifs minima de 2 à 6 mètres et de 2 à 4 mètres.

Le danger réel menaçant la région réside dans le fait que le déhouillement n'affectant pas le lit de la Meuse dans la traversée de Liège et en aval de Vivegnis – Cheratte, les plans d'eau correspondant aux divers débits du fleuve sont restés totalement indépendants des descentes de ce lit, tant en amont qu'en aval de Liège. Il en résulte que depuis le début de l'industrie charbonnière dans la plaine, cette dernière s'est abaissée considérablement – souvent de plusieurs mètres – par rapport aux niveaux d'étiage et des crues de la Meuse.

La crue de 1925 – 1926 submergea toute la vallée : les dégâts furent considérable, l'activité industrielle et commerciale en fut paralysée pendant de nombreux mois. L'Etat entreprit alors d'endiguer le fleuve et d'en régulariser le cours. Mais ces travaux seraient restés inefficaces si une solution n'avait pas été apportée aux dangers d'inondations indirectes par reflux des eaux du fleuve vers la plaine à travers les réseaux d'égouts. C'est pour étudier et mettre en œuvre cette solution que fut créée l'Association Intercommunale pour le Démergement et l'Épuration des eaux (AIDE) en 1928.

Lors de l'hiver 1977-1978, de nouvelles arrivées d'eau étaient constatées dans les caves d'immeubles de plusieurs quartiers de la région à la limite de la plaine, au-dessus du niveau de la crue maximum de la Meuse, donc en dehors de la zone d'intervention de l'Association intercommunale.

Il semblait que le relèvement de la nappe phréatique tel qu'il apparaissait en certains endroits était un phénomène tendant à se généraliser et dont on pouvait attribuer la cause à la cessation des pompages effectuées par les charbonnages.

Il est probable que ce phénomène ne cessera de s'amplifier que lorsque la nappe sera revenue à une situation analogue à celle existant avant le début de l'exploitation des charbonnages de la région.

Par décision ministérielle, la mission de l'AIDE a été étendue à la protection des zones nouvelles qui subissent ou subiront prochainement une inondation permanente des caves.

Les principes directeurs et la mise en œuvre du démergement ont été mis en place à partir de l'inondation de l'hiver 1925 – 1926. L'Etat, par la voie de l'Administration des Ponts et Chaussées, assura très rapidement la construction de digues puissantes conçues pour contenir les plus fortes crues, même après achèvement des affaissements d'origine minière qui avaient été prévus.

Ces ouvrages et d'autres de grande envergure (suppression d'îles et de barrages, dragages, etc.) ont contribué à régulariser le régime du fleuve. Toutefois, le fait de contenir le fleuve dans son lit endigué et d'abaisser l'axe hydraulique de la crue maximum n'était pas suffisant pour sauver la région. En effet, en période de crue, les eaux de pluie tombant dans la plaine et celles dévalant des collines et des plateaux environnants, ne pouvaient plus s'écouler normalement vers le fleuve, le niveau de ce dernier étant rapidement supérieur à celui de multiples points bas de la vallée. A ces eaux de pluie venaient s'ajouter les eaux usées et résiduares de la population et de l'industrie. Il s'imposait de prévoir en période de crue, voire en permanence en certains endroits, comme à Seraing, la suppression de toute communication des égouts avec la Meuse, afin d'éviter que les eaux du fleuve ne refluent dans la plaine par les égouts. Enfin, les eaux de la Meuse s'infiltrant sous les murs anti-crues, la nappe aquifère subissait les fluctuations des crues, noyant progressivement les caves (suite aux infiltrations via le pavement et les murs) de tous les immeubles, les points bas de la plaine et, enfin, celle-ci toute entière.

Le démergement de la région liégeoise repose sur deux grands principes directeurs :

1° L'évacuation directe en Meuse de toutes les eaux des collines et des plateaux faisant partie des bassins hydrographiques des zones à protéger.

2° L'utilisation de deux types de réseaux d'égouts distincts pour l'évacuation des eaux de la plaine. Le premier type de réseaux d'égouts, dits réseaux supérieurs, est composé d'égouts à grande section, situés le plus près possible de la surface du sol ; ces réseaux recueillent les eaux de pluie, usées et résiduares. Le deuxième type de réseaux d'égouts, dits réseaux inférieurs, est composé d'égouts à petite section, établis à grande profondeur (entre 3 m à 7,50 m sous la surface du sol) ; ces réseaux inférieurs reçoivent les eaux de la nappe s'infiltrant dans les caves des immeubles de la plaine.

La plaine inondable en amont de Liège a une superficie totale de 1.000 hectares. La surface des bassins hydrographiques des collines et des plateaux environnants concentrant leurs eaux dans cette plaine est de 7.500 hectares.

Pour éviter la construction d'installations de pompage de grande puissance, très coûteuses de réalisation et d'exploitation, le projet de démergement prévoit la construction sur les deux rives, à flanc des collines, de collecteurs dits de ceinture qui recueillent toutes les eaux en provenance des hauteurs. Ces collecteurs sont raccordés au fleuve par des conduites étanches, n'ayant aucune communication quelconque avec la plaine et assurant de façon permanente, l'évacuation en Meuse, par gravité, des eaux des hauteurs, quels que soient leur débit, le niveau du fleuve et les affaissements futurs. Ces conduites spéciales sont appelées « exutoires ».

La carte 29 localise les exutoires qui ont été réalisés. Le plus important d'entre eux est l'exutoire IV dit du Ruisseau de Hollogne à Jemeppe, dont le débit maximum est de 35 m³/s. En aval de Liège, les exutoires sont au nombre de six (trois par rive). En amont, en l'absence de crue, le produit de la plupart des égouts supérieurs s'écoule en Meuse par gravité. En période de crue, le débouché dans le fleuve du collecteur principal de chaque réseau supérieur est fermé au moyen d'une vanne, dès que le niveau du fleuve atteint la cote d'alarme propre à chaque réseau et qui est fonction des raccordements particuliers plus bas. L'ouverture simultanée d'autres vannes dévie les eaux du collecteur vers les puisards de la station de pompage conjuguée au réseau correspondant. Cette station de pompage, dite principale assure alors le refoulement en Meuse des eaux privées de leur écoulement normal.

Etant donné les niveaux du sol fortement abaissés par l'action minière, certaines stations principales fonctionnent en permanence depuis leur achèvement (deux à Seraing, une à Ougrée – Sclessin). Plusieurs autres stations seront progressivement mises en service continu en fonction de l'ampleur des affaissements.

Le produit des égouts inférieurs est dirigé vers les puisards de la station de pompage correspondante dite secondaire ; cette dernière relève en permanence ces eaux dans l'égout supérieur passant à proximité.

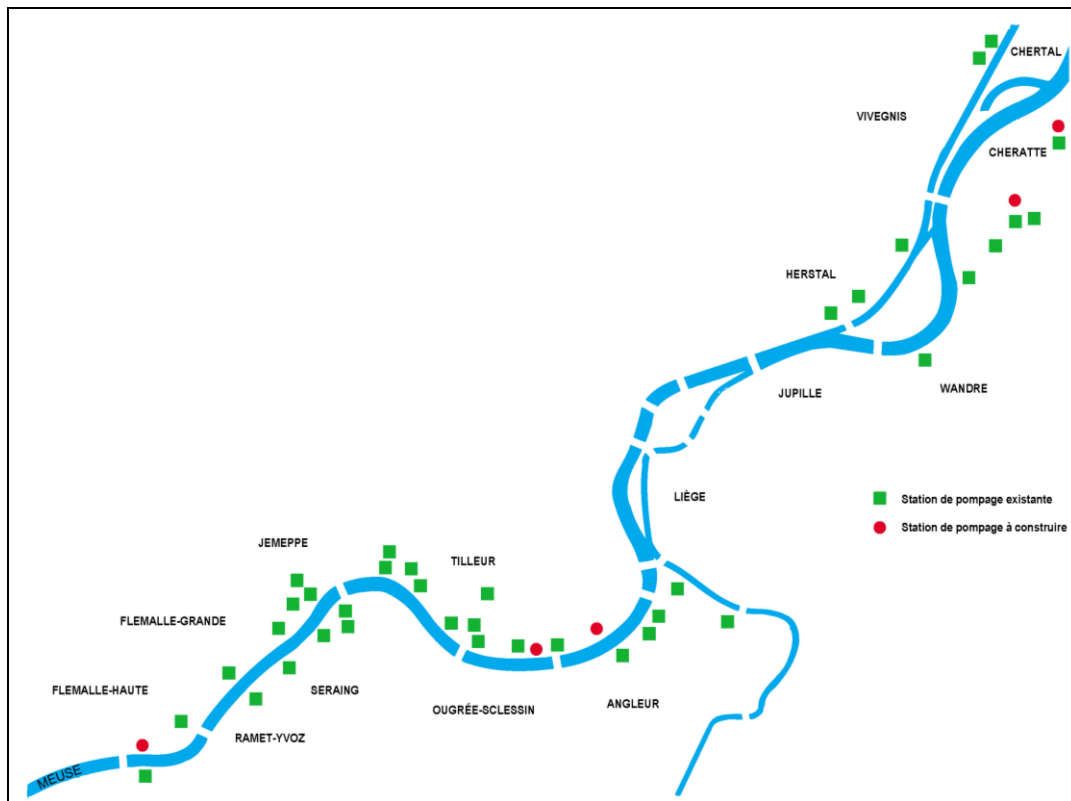
Les raisons ayant déterminé le choix de l'application du système du double réseau d'égouts pour le démergement de la presque totalité de la plaine en amont de Liège, sont les suivantes :

- tant que l'altitude du sol le permettra, l'écoulement par gravité est possible pendant la majeure partie de l'année. L'application d'un réseau non séparé aurait imposé la réalisation d'égouts profondément enterrés. Cela aurait exigé en conséquence un pompage permanent ;
- la pose de canalisations unitaires à grande section et à profondeur considérable est matériellement impossible dans de nombreuses rues très étroites, densément bâties et truffées de conduites d'eau et de gaz et de câbles divers.

En conséquence, chaque zone à démerger a fait l'objet d'une étude comparative basée sur le coût de construction et d'exploitation des deux solutions possibles et de l'évaluation des difficultés de réalisation. Ce sont des études semblables qui ont fait adopter le double réseau presque partout en amont de Liège. Par contre, certaines données des problèmes à résoudre en aval de Liège et qui n'existent pas en amont, ont justifié techniquement et financièrement le système unitaire pour tous les bassins hydrographiques de la plaine.

En amont de Liège, 17 stations principales sont prévues : 15 sont réalisées dont 3 fonctionnent de manière continue. Sur les 13 stations secondaires prévues, 12 sont achevées et placées en service permanent. En aval de Liège, 12 stations sont projetées : 9 sont construites et 8 fonctionnent en continu (voir figure 37).

Figure 37. Situation au 01/01/2003 des stations de pompage existantes et des stations à construire



© AIDE

Les conduites enfouies dans les terrains soumis à affaissements miniers ne peuvent s'opposer à l'action des mouvements du sol ; elles doivent au contraire suivre ces derniers, sans se dégrader. A cet effet, l'AIDE a conçu un réseau constitué de segments séparés par des joints élastiques et étanches qui leur permettent de suivre la subsidence différentielle du sol. La pente longitudinale de ces conduites a été établie de telle manière qu'à la suite des affaissements prévisibles, les pentes résiduelles permettent néanmoins l'évacuation non contrainte des eaux. Ceci a impliqué un calcul préalable de l'amplitude des affaissements miniers attendus. Les premières canalisations de démergement ont été posées en 1928.

Dans diverses zones, l'amplitude des affaissements a atteint et même dépassé deux mètres après l'exécution des travaux d'égouttage. Et pourtant, l'ensemble des canalisations (plus de 200 km) est en parfait état de fonctionnement, à l'exception de deux tronçons de 150 m et de 100 m où l'AIDE a dû rétablir des profils adéquats. Un des deux tronçons en question franchit une faille qu'il avait été impossible d'éviter.

Malgré la mise en place des infrastructures visant à protéger constamment la plaine alluviale sérésienne des inondations, des coupures d'alimentation électrique de quelques stations de pompage principales ou secondaires peuvent ponctuellement provoquer une remontée du

niveau d'eau dans les caves des habitations jouxtant le fleuve et situées dans la zone victime de la rupture électrique, bien que les systèmes d'alimentation soient dupliqués de manière à restreindre ces problèmes techniques. Cela indique bien l'importance des systèmes de prévention des inondations établis par l'AIDE sans lesquels le bassin minier devrait très régulièrement faire face aux remontées des niveaux piezométriques via le réseau d'égouttage.

Afin d'illustrer ces phénomènes ponctuels, le tableau 13 reprend les interventions liées à un dysfonctionnement des pompes d'épuisement. D'après la description des faits réalisés par les pompiers dans la base de données des interventions, deux stations de pompage auraient éprouvé des difficultés techniques majeures durant la période d'étude. L'analyse de la localisation des stations pompages confirme la présence d'une station à proximité de la rue Bruno à Seraing ayant pu subir une défaillance le 6 juillet 2001. Par contre, il n'existe pas de stations d'épuisement à proximité des quais Bonaparte et Orban. L'indication fournie dans le rapport succinct d'intervention semble dès lors dans ce cas inexacte.

Tableau 19. Interventions liées à un dysfonctionnement des pompes d'épuisement de l'AIDE

Référence	Date	Heure d'appel	Adresse	Commune
REF1470	06/07/2001	17h20	Rue Bruno 131	4100 Seraing
REF2138	26/07/2001	18h37	Quai Bonaparte 52	4000 Liège
REF2470	26/07/2001	19h37	Quai Orban 10	4000 Liège
REF2477	27/07/2001	08h43	Quai Orban 12	4000 Liège

V.6. L'aménagement des rives en zone urbaine

Jusqu'au milieu du XIX^{ème} siècle, la Meuse n'avait jamais fait l'objet d'aménagement de grande ampleur. On décide alors de réaliser les travaux nécessaires à améliorer la navigation : aménagement de chemins de halage le long des rives, renforcement des berges érodées et surtout, canalisation du fleuve encore parsemé de hauts-fonds. En effet, la sidérurgie et les charbonnages liégeois, alors en pleine révolution, s'accommodaient mal de telles entraves.

A cette époque, la Meuse se scinde en deux branches principales et l'Ourthe tisse un inextricable écheveau de bras et d'îles. On s'attaquera dès lors au remplacement de ces caprices désastreux de la Meuse et de l'Ourthe – seule une « dérivation de la Meuse » est

maintenue – ainsi qu’au redressement du cours du fleuve. Parallèlement, les quais sont reconstruits, de véritables zones portuaires font leur apparition en ville.

Après les inondations catastrophiques de 1880, d’importants travaux sont encore entrepris : dragage, endiguement et exhaussement des quais. Un nouveau désastre frappe Liège lors de l’hiver 1925 – 1926. La Meuse est déchaînée, elle est à 4,7 m de son étiage, plus haut encore que lors des crues précédentes.

L’ampleur du désastre donnera une dramatique impulsion aux travaux d’aménagement. Un barrage est construit en amont et en aval du fleuve. Parallèlement, les travaux de rectification des berges, d’endiguement et d’approfondissement se poursuivent. La largeur du fleuve est régularisée à 125 m en amont, à 140 m en ville et à 175 m en aval. La Dérivation, elle aussi, est canalisée. Ce vaste programme permet d’abaisser le niveau des crues d’environ deux mètres en amont et d’un mètre en aval¹³.

D’autre part, c’est aussi à ce moment qu’est créée l’intercommunale chargée du problème du démergement (AIDE). La Direction des Voies hydrauliques de Liège, qui dépend du Ministère wallon de l’Équipement et des Transports (MET), assure aujourd’hui la modernisation constante de ses fleuves, rivières et canaux. Elle poursuit sa lutte contre les inondations en élevant des murs anti-crues ou en installant des stations de pompage.

V.7. Le suivi du processus du démergement dans le futur

Les plus importantes subsidences du sol liégeois se sont marquées dès l’arrêt de l’activité des charbonnages. Cependant, la mise en place de campagnes de nivellement a permis de révéler qu’aucune descente significative du sol n’a été enregistrée depuis 1977. En outre, certains sites ont même montré une surrection significative des terrains : 102 mm à Wandre et à Cheratte, 226 mm à Seraing, 171 mm entre Jemeppe et Tilleur, 80 mm à Flémalle, etc. Ces relèvements correspondent parfaitement aux zones où des remontées du niveau piezométrique ont eu lieu. Cela est probablement le résultat du comblement partiel des réservoirs phréatiques et des anciennes galeries minières abandonnées. Ce phénomène a également été observé dans d’autres régions minières belges.

¹³ Source : http://www.aimf.asso.fr/pres/col_bordeaux/annexe2.html, consulté le 3 juillet 2004

V.8. Les travaux récents mis en œuvre par la Ville de Liège pour lutter contre les inondations urbaines

Suite aux conditions climatiques ayant régné sur la Belgique en juillet 2000, la Ville de Liège a décidé à l'époque de lutter de manière anticipative contre les inondations pluviales. Cette prise de conscience de ce phénomène étant relativement rare de la part des autorités communales, il m'a semblé utile de la mentionner dans cette étude. Le texte suivant reprend les extraits les plus significatifs des notes de la réunion du Collège des Bourgmestre et Echevins de la Ville de Liège du jeudi 13 juillet 2000¹⁴.

« La gestion des voiries communales et du MET (Ministère de l'Équipement et des Transports) est rendue difficile par les pluies diluviennes de caractère exceptionnel qui s'abattent sur notre ville. Le problème de l'entretien des avaloirs se pose avec une acuité particulière. La couverture progressive du sol par de nouvelles constructions et la saturation des bassins d'orage mettent les installations communales à rude contribution.

Par ailleurs, des contacts pris avec l'IRM nous enseignent que la station de Bierset a déjà dépassé sa moyenne mensuelle de quantité d'eau de pluie (88 litres par m²) pour atteindre actuellement 132,6 litres au m² au 12^{ème} jour du mois. Il s'agit d'une pluviométrie exceptionnelle.

Ainsi les hydrocureuses et le service de la Voirie ont dû intervenir dans 77 rues de Liège. Par ailleurs, la Permanence civile a répondu aux réquisitions des services sur 23 points du réseau du MET.

Des inondations exceptionnelles, d'ampleur variable, ont été signalées à Jupille, Rocourt, dans les quartiers St Léonard et Ste Marguerite (Légia), sur les quais et boulevards et au Sart-Tilman.

C'est dans ce contexte que l'Echevin des Travaux a présenté au collège un ensemble de propositions susceptibles d'accroître la capacité de réponse à pareilles situations. »

1. L'entretien des avaloirs

« Actuellement, deux équipes assurent l'entretien des avaloirs sur l'ensemble du territoire de la Ville (25.000 avaloirs) : un camion effectue le train régulier d'entretien et l'autre les interventions d'urgence.

Le Collège de ce 13 juillet a examiné les résultats du marché de curage des 25.000 avaloirs gérés par la Ville. »

Remarque :

Il a décidé de ne pas donner suite à la procédure engagée pour la réalisation des prestations de curage d'avaloirs relatives au lot n°1 (secteur géographique du centre) en raison d'un coût trop élevé. Le curage a cependant eu lieu dans le lot n°2 (secteur géographique de la périphérie). Les difficultés de curage des avaloirs, provoquées

¹⁴ Source : <http://www.liege.be/comcoll/130700.htm>

par le stationnement intempestif, et le coût grandissant de l'élimination des boues de curage expliquent le prix important de l'entretien unitaire.

2. Mise en service d'un *numéro vert* dès le 1^{er} août 2000

« Le Collège a décidé de la mise en service d'un *numéro vert* afin d'accueillir de manière centralisée tout appel signalant un problème d'avaloir. Il s'agit d'accroître la gestion préventive et de répondre plus rapidement aux appels consécutifs aux fortes pluies. »

3. Evaluation des mesures structurelles à envisager pour limiter les conséquences de fortes pluies

« L'Echevin des Travaux a proposé au Collège la création d'un groupe de travail chargé d'établir dans les six mois un rapport circonstancié sur l'origine des inondations liées aux orages violents ou aux averses persistantes.

Ce groupe, présidé par M. le Bourgmestre W. Demeyer (ou son représentant) sera composé notamment de techniciens des services de la voirie, du nettoyage, de l'urbanisme et de la police communale, des pompiers, de la Direction générale des Autoroutes et des Routes de la Région Wallonne (MET), de l'AIDE (Démergement), de la Province, etc.

Les missions du groupe de travail seront :

- d'effectuer l'inventaire des situations délicates rencontrées lors d'averses exceptionnelles ;
- d'en établir l'origine possible (évolution du bâti, saturation des bassins d'orages, section insuffisante des canalisations d'égouts, nombres insuffisants de collecteurs, ...) ;
- de dresser une liste des interventions à envisager en collaboration avec les services concernés de la Province et la Région Wallonne.

Suite aux renseignements pris auprès de Monsieur le Bourgmestre W. Demeyer et de l'Echevin des Travaux de la Province de Liège, aucune étude concernant les inondations pluviales n'a été commanditée auprès des services susmentionnés. Cela prouve bien l'importance de développer ce sujet de recherche dans le cadre de ce mémoire.

VI. Modèle théorique de localisation des interventions

VI.1. Délimitation des bassins versants compris dans la zone d'étude

Les fichiers vectoriels réalisés par la Région Wallonne qui m'ont été fournis proposaient la division du territoire wallon en bassins versants. Nous avons tenté d'utiliser le modèle numérique de terrain à une résolution de 30 m pour extraire ces limites de bassins, mais la résolution du modèle n'a pas permis d'obtenir de bons résultats.

Les analyses qui suivent seront dès lors basées sur cette délimitation de l'administration wallonne. Les bassins sélectionnés sont ceux qui comprennent la zone de l'IILE, ils sont repris au tableau 20. Leur localisation est précisée sur la carte 2. Notons que trois d'entre eux sont limités à l'extension géographique de la région wallonne, ce qui est totalement irréaliste du point de vue hydrologique !

Tableau 20. Dénomination, altitude moyenne et pente moyenne des bassins versants composant la zone d'étude

N°	Nom du bassin	Altitude moyenne du bassin (en m)	Pente moyenne du bassin (en %)
1	La Meuse du confluent avec le ruisseau de Ste-Julienne à sa sortie de Belgique (Berwinne exclue)	95	4,7
2	Le Geer du confluent avec l'Ezelsbeek à sa sortie définitive de Wallonie	137	4,0
3	La Berwinne du confluent avec le ruisseau d'Asse au confluent avec la Meuse (Meuse exclue)	188	7,1
4	Le Geer du confluent avec l'Yerne au confluent avec l'Ezelsbeek	147	2,3
5	Le Geer du confluent avec la Mulle au confluent avec l'Yerne	147	2,4
6	La Meuse du confluent avec l'Ourthe au confluent avec le ruisseau de Ste-Julienne	135	7,1
7	La Meuse du confluent avec le ruisseau des Awirs au confluent avec l'Ourthe (Ourthe exclue)	165	7,7
8	La Vesdre du confluent avec le ruisseau des Chenals au confluent avec le ruisseau de Soumagne	239	9,2
9	La Meuse du confluent avec le ruisseau d'Oxhe au confluent avec le ruisseau des Awirs	164	7,7

10	L'Ourthe du confluent avec l'Amblève au confluent avec la Meuse (ruisseau du fond de Martin ; Vesdre et Meuse exclus)	197	11,9
11	La Vesdre du confluent avec le ruisseau de Soumagne au confluent avec l'Ourthe (Ourthe exclue)	176	14,3
12	Ruisseau du fond de Martin	236	7,9
13	Ruisseau d'Oxhe	227	6,8
14	La Meuse du confluent avec le Hoyoux au confluent avec le ruisseau d'Oxhe (ruisseau d'Oxhe exclu)	156	7,9

Ensuite, sur base du fichier vectoriel, nous avons créé une image à même résolution que le modèle numérique de terrain (c'est-à-dire 30 m en x et en y), avec le code numérique correspondant au numéro du bassin versant. Le logiciel Idrisi 32 nous a permis de calculer l'altitude moyenne et la pente moyenne (en %) des différents bassins.

Afin de caractériser la zone d'étude au niveau du temps de concentration (c'est-à-dire du temps nécessaire à la concentration de l'eau ruisselée vers la plaine alluviale), il est nécessaire de déterminer les paramètres suivants :

- L : la longueur du plus long thalweg présent dans le bassin versant concerné ;
- I : la pente moyenne en m/m du réseau hydrographique ;
- A : l'aire du bassin versant en km²

Tableau 21. Eléments caractéristiques de chaque bassin versant permettant le calcul des temps de concentration

Numéro du bassin	Longueur du plus long thalweg (m)	Pente moyenne du réseau en m/m	Aire du bassin versant en km ²
1	10.003	0,0471	48,4
2	7.834	0,0406	100,2
3	9.406	0,0711	54,1
4	9.001	0,0230	84,4
5	10.422	0,0243	96,7
6	17.643	0,0707	99,2
7	15.943	0,0769	100,7
8	10.116	0,0925	68,1
9	8.569	0,0767	64,7
10	18.131	0,1192	106,5
11	9.546	0,1433	24,6
12	13.755	0,0789	62,2
13	7.636	0,0678	45,3
14	11.183	0,7899	59,1

La littérature offre plusieurs possibilités de calcul du temps de concentration (T_c en heures) ; les formules suivantes seront utilisées et leurs résultats seront comparés¹⁵.

* Formule de Kirpich (1940) : $T_c = 32,5 \cdot 10^{-5} \cdot L^{0,77} \cdot I^{-0,385}$

* Formule de Passini : $T_c = 0,108 \cdot \frac{(A \cdot L)^{\frac{1}{3}}}{I^{\frac{1}{2}}}$

* Formule de Johnstone et Cross (1949) : $T_c = 5,66 \cdot \left(\frac{L}{I}\right)^{0,5}$

Le tableau 22 donne le résultat du calcul pour les différents bassins étudiés.

Tableau 22. Comparaison des temps de concentration selon différentes méthodes

Index du bassin	Temps de concentration (en heures)		
	selon Kirpich	selon Passini	selon Johnstone
1	1.3	3.9	3.9
2	1.1	4.9	3.2
3	1.0	3.2	4.6
4	1.5	6.5	2.6
5	1.7	6.9	2.8
6	1.7	4.9	6.3
7	1.5	4.6	6.3
8	1.0	3.1	5.5
9	0.9	3.2	4.6
10	1.4	3.9	8.3
11	0.8	1.8	6.6
12	1.3	3.7	5.9
13	0.9	2.9	4.1
14	0.5	1.1	16.8

Nous pouvons sans nul doute constater que les temps de concentration estimés d'après les formules élaborées par les trois auteurs varient sensiblement. En l'absence d'une possibilité de vérification sur le terrain de ces valeurs, nous mettrons volontairement un terme à cette analyse. Sur base des archives encodées, l'étude de l'heure des appels émis par la population pour les différents événements pourrait éventuellement nous renseigner au sujet des temps de concentration en région liégeoise. Cependant, les calculs effectués n'ont abouti à aucun résultat significatif. Les facteurs influençant l'heure exacte des appels émis par la population présentant une telle diversité et variabilité qu'il est impossible d'utiliser ces données afin de tracer les isochrones des différents bassins hydrographiques.

¹⁵ <http://www.enseeiht.fr/hmf/travaux/CD9900/travaux/optsee/bei/g13/pa05.htm>, consulté le 6 juillet 2004

VI.2. Estimation des coefficients de ruissellement sur base de l'affectation du sol

Le ruissellement des précipitations à la surface du sol en relation avec le coefficient d'imperméabilité du substrat est un facteur non négligeable intervenant dans le phénomène des flash-floods. Cependant, l'estimation du coefficient de ruissellement des diverses surfaces rencontrées en milieu urbain et rural est complexe. En effet, ce coefficient dépend de nombreux paramètres :

- le type de texture (terre, graviers, roches affleurantes, prairies, forêts, revêtements anthropiques pavés ou hydrocarbonés, béton, etc.) ;
- l'état de saturation du sol (c'est-à-dire de son taux d'humidité relative, lui-même lié aux conditions météorologiques antérieures (température, déficit de saturation de l'air, durée d'ensoleillement, proximité de la nappe aquifère le cas échéant, vitesse du vent accélérant la dessiccation des sols nus et renouvelant l'air au-dessus des surfaces végétalisées) ;
- l'énergie du relief, autrement dit la pente locale qui communique à l'eau ruisselant à sa surface une énergie cinétique proportionnelle à la pente, ce qui modifie de cette manière le coefficient de ruissellement.

Dans le cas de surfaces bâties, le ruissellement de surface est proche de 100%, mais il faut cependant tenir compte de la fraction d'eau captée par le réseau d'égouttage qui ne participe pas au phénomène de flash-floods. Malheureusement, ces paramètres sont très complexes à quantifier, les valeurs de coefficient de ruissellement proposées par les différents auteurs montrent une grande variabilité en conséquence de la variété des paramètres qui interviennent dans ce processus.

Les coefficients de ruissellement retenus dans cette analyse proviennent des sources suivantes¹⁶. La marge d'erreur des valeurs utilisées est estimée à environ 25%. Faute de mieux, ces valeurs seront néanmoins utilisées dans le processus de caractérisation du territoire étudié.

¹⁶ <http://hydram.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre2/chapitre2.html> et <http://www.lmnoeng.com/Hydrology/TimeConc.htm>, consultés le 26 juin 2004

Tableau 23. Coefficients de ruissellement selon la nature des terrains

Nature superficielle du bassin versant	Coefficient de ruissellement
Bois et forêts	0,1
Prés, champs cultivés	0,2
Vignes, terrains nus	0,5
Roches affleurantes	0,7
Routes sans revêtement hydrocarboné	0,7
Routes avec revêtement hydrocarboné	0,9
Villages, toitures	0,9
Plans d'eau	1,0
Pelouse, gazon	0,05 à 0,35
Forêts	0,05 à 0,25
Terres cultivées	0,08 à 0,41
Prairies, prés	0,1 à 0,5
Parcs, cimetières	0,1 à 0,25
Zones en friche	0,1 à 0,3
Pâturage, pré	0,12 à 0,62
Zones résidentielles	0,3 à 0,75
Zones économiques (bureaux, zones commerciales)	0,5 à 0,95
Zones industrielles	0,5 à 0,9
Routes asphaltées	0,7 à 0,95
Routes pavées	0,7 à 0,85
Toitures	0,75 à 0,95
Routes en béton	0,7 à 0,95

Afin de préciser l'étude du ruissellement de surface en région liégeoise, il semblait utile de développer une cartographie de la variabilité du coefficient de ruissellement (ou d'imperméabilisation) aussi précise que possible avec les moyens disponibles. Comme on peut le constater lors de l'analyse approfondie du tableau 23, les coefficients sont très variables selon les différents auteurs. Dès lors, afin de développer de manière qualitative le modèle souhaité, nous avons délibérément adopté des valeurs moyennes d'après celles disponibles dans la littérature.

Pour estimer le coefficient moyen de ruissellement, une cartographie de l'occupation du sol a dû être établie. Malheureusement, le manque de temps pour digitaliser avec précision l'occupation du sol à une échelle acceptable sur une surface de plusieurs centaines de kilomètres carrés et la couverture incomplète des cartes topographiques de l'Institut

Géographique National pour la zone d'étude ont fait renoncer à cette tentative, trop coûteuse en temps et en énergie. Néanmoins, il serait plus qu'intéressant de développer ce programme dans le cadre d'études ultérieures sur le sujet.

Il a donc été décidé de déterminer grossièrement non pas l'occupation du sol, mais l'affectation du sol, sur base des plans de secteur de la province de Liège, avec l'avantage que ceux-ci se présentaient déjà sous la forme vectorielle et légendée. D'après la légende officielle des plans de secteur, les affectations similaires ont été regroupées et leur coefficient d'imperméabilisation a été attribué. Le tableau 24 donne la correspondance entre le type d'affectation et le coefficient d'imperméabilisation choisi.

Tableau 24. Application des coefficients d'imperméabilisation à la zone étudiée

Code	Affectation du sol	Coefficient d'imperméabilisation
1	Habitat très dense	0,90
2	Habitat dense	0,75
3	Habitat aéré ou résidentiel	0,60
4	Zone industrielle dense	0,80
5	Zone rurale (avec habitat dispersé)	0,20
6	Zone de loisirs et de tourisme	0,50
7	Zone agricole	0,35
8	Bois et forêts	0,15
9	Espaces verts	0,25
10	Plans d'eau	1,00
11	Routes revêtues	0,95

La carte 26 reprend le résultat de ce calcul. Elle permet de constater aisément que les sites ayant un coefficient de ruissellement important concentrent les interventions effectuées par l'Intercommunale d'Incendie de Liège et Environs.

VII. Conclusion

De l'étude menée sur base des interventions effectuées par l'Intercommunale d'Incendie de Liège et Environs, nous avons extrait les phénomènes concernant les pompages et inondations qui ont été enregistrés suite aux appels émis par la population de l'agglomération liégeoise.

La consultation de la base de données ainsi créée suite à l'encodage des archives disponibles nous a permis de constater la présence d'artéfacts dans la zone initialement définie. En effet, nous ne disposons pas d'informations quant aux interventions ayant eu lieu dans la commune de Flémalle qui possède sa propre caserne de pompiers. De la même manière, les zones limitrophes du territoire étudié sont protégées par plusieurs casernes situées à proximité. Une sous représentation d'interventions y est donc constatée.

Parmi l'ensemble des données enregistrées, seule une partie a été réellement utilisable. Les causes n'ont pas toujours pu être déterminées par le service d'intervention lorsqu'ils se sont rendus sur le terrain. Il est indispensable de garder à l'esprit que les rapports succincts accompagnant les archives n'étaient pas destinées à une étude de ce type. Cela explique qu'il n'ait pas toujours été possible de caractériser avec précision les phénomènes qui se sont produits dans la région concernée.

Bien qu'il s'agisse à l'origine d'une étude visant à rechercher un lien entre la topographie et la distribution et la fréquence des interventions, nous avons pu conclure que de nombreux autres paramètres interviennent dans l'explication des causes des pompages et des inondations. La lithologie, la pédologie, l'occupation du sol et l'organisation historique des lieux comptent parmi les facteurs les plus influents.

Un biais inévitable a dû être pris en compte. Il s'agit de la densité de la population qui conditionne le nombre d'appels enregistrés en un endroit donné. En effet, une zone inondée mais où la population est très faible n'est pas susceptible d'être enregistrée dans la base de données de l'IILE. Ce fait est associé de manière évidente l'occupation du sol, les deux facteurs sont directement reliés entre eux.

Nous avons tenu compte des principes permettant le démergement de la région liégeoise. Celui-ci empêche l'inondation et les infiltrations d'eau dans les zones ayant subi une subsidence suite à l'extraction du charbon dans les anciennes galeries minières. Ces

installations minimisent les problèmes dans les bassins hydrographiques démergés. Cela dit, lors d'intenses précipitations orageuses très localisées, quelques sites, bien qu'étant démergés, suscitent des interventions pour pompage.

Les faits les plus marquants relèvent d'études de cas montrant une occurrence d'intervention importante. Le boulevard d'Avroy et son prolongement vers le boulevard de la Sauvenière sont sans nul doute l'endroit le plus soumis aux pompages. Deux causes concomitantes s'affrontent pour expliquer cette observations : d'une part, l'infiltration d'eau via le substratum fissuré correspond aux remblais de l'ancien bras de la Meuse comblé au XIX^e siècle et d'autre part, la présence d'immeubles à ascenseur. Leurs infrastructures techniques, situées sous le niveau du réseau d'égouttage, favorisent leur inondation précoce dès qu'un phénomène pluvieux intense se présente.

Le plateau de Neupré, bien qu'il soit situé à une altitude de 260 à 280 m, montre une concentration importante d'interventions. Le facteur pédologique est à l'origine de ces faits. La présence d'horizons imperméables à faible profondeur conditionne l'existence de nappes d'eau à proximité immédiate de la surface du sol. L'alimentation de ces nappes est directement reliée à la hauteur des précipitations mesurées.

La vallée du Geer et ses affluents constitués de vallons secs ne s'activant que durant les événements pluvieux présentent un nombre relativement réduit d'interventions. Nous avons pu mettre en cause le partage des activités des services d'intervention entre la caserne des pompiers de Liège, celle de Tongres ainsi que du service de la Protection civile de Crisnée. En outre, les récents aménagements ont considérablement réduit le développement des flash-floods. Seuls quelques-uns des exutoires de vallées semi-permanentes montrent encore localement des problèmes hydriques.

A l'origine de l'ensemble des cas étudiés dans ce mémoire, les précipitations intenses à court terme ou continues sur de longues périodes ont été étudiées via la réactualisation des courbes d'intensité-durée-fréquence pour la station météorologique de Bierset. Nous avons pu constater qu'une précipitation de l'ordre de 20 mm.h⁻¹ durant une heure est suffisante pour générer des soucis majeurs en région liégeoise. Une telle intensité de précipitations survient statistiquement tous les deux ans. Evidemment, des phénomènes plus ponctuels dans le temps et dans l'espace peuvent également favoriser le recours de la population aux services d'intervention. L'ensemble de ces considérations mériterait un développement ultérieur via un processus d'enquête auprès de la population liégeoise dans le but de confirmer les hypothèses établies.

VIII. Bibliographie

Ouvrages

- ALEXANDRE P. 1987. *Le climat en Europe au moyen âge. Contribution à l'histoire des variations climatiques de 1000 à 1425, d'après les sources narratives de l'Europe occidentale*. Paris : Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Recherches d'histoire et de sciences sociales, **24**, 828 p.
- BROUYAUX F., MORMAL P., TRICOT Ch. & VANDIEPENBEECK M. 2004. *La Belgique au fil du temps, Les événements météorologiques marquants du vingtième siècle en Belgique*, Institut Royal Météorologique de Belgique. Bruxelles : Le Roseau Vert, 224 p.
- BRAVARD J.-P. & PETIT F. 2000. *Les cours d'eau : dynamique du système fluvial*. Paris : A. Colin, pp. 45 - 59
- COSANDEY C. & ROBINSON M. 2000. *Hydrologie continentale*. Paris : A. Colin, 360 p.
- GASCHEN S., HAUSMANN P., MENZINGER I., SCHAAD W., PERILS C. 1999. *Les inondations : un risque assurable ? Un tour d'horizon*. Zurich : Compagnie Suisse de Réassurances – Swiss Re, 2 volumes, 39 & 51 p.
- GOUDIE A.S. (éditeur) 2004, *Encyclopedia of Geomorphology, volume 1*, International Association of Geomorphologists, 1184 p.
- LEJEUNE E. 2001-2002, *Analyse des « flash floods » et des précipitations de forte intensité en région wallonne*, mémoire de licence en Sciences Géographiques, Faculté des Sciences, Université de Liège
- MACAR P. & PISSART A. 1964. *Les applications de la géographie en Belgique. Extrait. Géomorphologie*. Académie Royale de Belgique - Comité national de Géographie, 17 p.
- OMM (éditeur) 1974, *Glossaire international d'hydrologie*. Genève : Secrétariat de l'Organisation Météorologique Mondiale – Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture, **385**, 393 p.
- PETIT F. 1993. *Hydrographie et géomorphologie fluviale, 1^{ère} partie*. Université de Liège : notes de cours, inédit, 53 p.
- REINHOLD. 1968. *The Encyclopedia of Geomorphology : Encyclopedia of Earth science series*. New York : Rhodes W. Fairbridge, vol. 3, pp. 763-764
- SPORK J.A. 1980. *Liège prépare son avenir*. Liège : Eugène Wahle, 171 p.
- SUTTOR M. 1989. *Etude historique d'hydrologie fluviale. L'exemple de la Meuse*. Bulletin de la Société Géographique de Liège, 1989, vol. 25, pp. 159-174

Revues

- ANONYME, s.d. *Plan W : Lutter contre les inondations par le démergement*. Namur : IDEA, AIDE & Inspection générale de l'Eau, Direction générale des Ressources naturelles et de l'Environnement, Ministère de la Région Wallonne, 21 p.
- AIDE, 2003. *Association Intercommunale pour le Démergement et l'Epuration des Communes de la Province de Liège : Rapport annuel*. AIDE, 64 p.

Cartes

BONNECHERE F., HAZARD J., PIGNON E. (Laboratoires d'Essais du Génie Civil) & BARNICH M.P., MONTJOIE A., POLO CHIAPOLINI C., ZEIMET M.J. (Laboratoires de Géologie de l'Ingénieur et d'Hydrogéologie) 1984. Carte géotechnique 42.5.4 LIÈGE Seraing

IGNB 1997. Carte topographique de Belgique, édition 1, feuille 42/1 Nord, Juprelle, 1/10.000, équidistance 5 m. Belgique : Institut Géographique National.

IGNB 1997. Carte topographique de Belgique, édition 1, feuille 42/1 Sud, Ans, 1/10.000, équidistance 5 m. Belgique : Institut Géographique National.

IGNB 1997. Carte topographique de Belgique, édition 1, feuille 42/2 Nord, Oupeye, 1/10.000, équidistance 5 m. Belgique : Institut Géographique National.

IGNB 1997. Carte topographique de Belgique, édition 1, feuille 42/2 Sud, Liège (Nord), 1/10.000, équidistance 5 m. Belgique : Institut Géographique National.

IGNB 1997. Carte topographique de Belgique, édition 1, feuille 42/5 Nord, Seraing, 1/10.000, équidistance 5 m. Belgique : Institut Géographique National.

IGNB 1997. Carte topographique de Belgique, édition 1, feuille 42/5 Sud, Ivoz-Ramet, 1/10.000, équidistance 5 m. Belgique : Institut Géographique National.

IGNB 1997. Carte topographique de Belgique, édition 1, feuille 42/6 Nord, Liège (Sud), 1/10.000, équidistance 5 m. Belgique : Institut Géographique National.

IGNB 1997. Carte topographique de Belgique, édition 1, feuille 42/6 Sud, Chaudfontaine, 1/10.000, équidistance 5 m. Belgique : Institut Géographique National.

IGNB 1997. Carte topographique de Belgique, édition 1, feuille 49/1 Nord, Rotheux-Rimière, 1/10.000, équidistance 5 m. Belgique : Institut Géographique National.

IGNB 2001. Carte topographique de Belgique, feuille 33, Sint-Truiden, 1/50.000, équidistance 10 m. Belgique : Institut Géographique National.

IGNB 1996. Carte topographique de Belgique, feuille 34, Tongeren, 1/50.000, équidistance 10 m. Belgique : Institut Géographique National.

IGNB 2001. Carte topographique de Belgique, feuille 41, Waremme, 1/50.000, équidistance 10 m. Belgique : Institut Géographique National.

IGNB 2001. Carte topographique de Belgique, feuille 42, Liège, 1/50.000, équidistance 10 m. Belgique : Institut Géographique National.

IGNB 1998. Carte topographique de Belgique, feuille 48, Huy, 1/50.000, équidistance 10 m. Belgique : Institut Géographique National.

IGNB 2002. Carte topographique de Belgique, feuille 49, Spa, 1/50.000, équidistance 10 m. Belgique : Institut Géographique National.

Données numériques

Modèle numérique de terrain (IGN)

Plans Photographiques Numériques Communaux (PPNC), 1994 – 2001, échelle 1 : 1 000, Ministère de la Région Wallonne.

Planchettes pédologiques scannées et géoréférencées : Institut pour l'encouragement de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture (IRSIA), Projet de Cartographie Numérique des Sols de Wallonie (PCNSW), projet notifié par le Gouvernement wallon en séance du 7 décembre 2000 et repris au point B37 sous la mention : GW VII / 2000 / Doc.1331 / 07.12 / JH ; Direction Générale de l'Agriculture, Ministère de la Région Wallonne, chargée de piloter le projet ; Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, chargée par convention de mettre en œuvre le projet.

Service Géologique de Belgique (2003) ; SIG – Cartes géologiques de Belgique à l'échelle 1/40.000 : produit numérique, version 1.1 – Institut royal des Sciences Naturelles de Belgique, Département VII.

Plan de Localisation Informatique (PLI), Région Wallonne DGATLP, 1/2.500, 2001-2002 (fichiers vectoriels du Parcellaire, du Bâti et des Voiries).

Sites internet

AIDE. *Démergement des communes de Liège*. http://www.intercommunales-liegeoises.be/upload/Demergement_des_communes_de_Liege-AIDE.pdf, consulté le 3 juillet 2004

AIDE. <http://www.aide.be>, consulté entre janvier et août 2004

AIDE. http://www.aide.be/liege/liege_o_reduct.htm, consulté le 8 août 2004

[http://www.geosciences-consult.com/francais/Activite/diagnostic/Guide PME/FICHE B.pdf](http://www.geosciences-consult.com/francais/Activite/diagnostic/Guide_PME/FICHE_B.pdf), consulté le 16 mars 2004

<http://users.skynet.be/maevrard/CLIMAT.htm>, consulté le 16 mars 2004

<http://www.liege.be/comcoll/130700.htm>, consulté le 13 février 2004

http://www.aimf.asso.fr/pres/col_bordeaux/annexe2.html, consulté le 3 juillet 2004

Informations sur le lot de données du modèle numérique de terrain de l'IGN, Région wallonne,

http://carto5.wallonie.be/MetaWal/MetaWalSearch/export.jsp?format=html&mdFileId=MNT_IGN_1_50000, consulté le 15 juillet 2004.

RENETTE E. (Le Soir) 09/03/2004. *Mine de rien, la région liégeoise prend l'eau*.

<http://www.lesoir.be/recherche/recherche.php?op=getArticle&id=38623>, consulté le 20 juillet 2004

S.L. (La Libre) 01/03/2002. *Un torrent d'eau pas si inattendu*.

http://www.lalibre.be/article.phtml?id=10&subid=87&art_id=53854, consulté le 3 juillet 2004

Annexe

Lexique des termes fréquemment utilisés dans la description et l'analyse des phénomènes hydroclimatologiques.

- ▣ Aréisme : caractère des régions privées presque complètement d'écoulement superficiel.
- ▣ Averse torrentielle : pluie d'intensité extraordinaire et de durée assez courte.
- ▣ Carte des isochrones d'écoulement : carte d'un bassin hydrographique sur laquelle une série de courbes (isochrones) indique le temps de parcours de l'eau entre une de ces courbes et le débouché du réseau hydrographique.
- ▣ Coefficient d'écoulement : rapport entre l'écoulement (exprimé en lame d'eau) et la hauteur de précipitation.
- ▣ Coefficient d'infiltration : rapport entre l'infiltration et les précipitations.
- ▣ Coulée : tout ravin ou vallée d'un cours d'eau intermittent de dimensions considérables.
- ▣ Coulée de boue : écoulement de débris hétérogènes et de terre lubrifiés par une grande quantité d'eau, sous forme d'une masse visqueuse.
- ▣ Crue : phénomène de montée, nettement au-dessus des valeurs habituelles, et généralement de courte durée, du niveau de l'eau d'une rivière jusqu'à une certaine hauteur à partir de laquelle il redescend plus lentement.
- ▣ Crue annuelle : crue de pointe journalière maximale observée au cours d'une année hydrologique. Crue dont l'intensité a été égalée ou dépassée une fois par an en moyenne.
- ▣ Crue de projet ou crue maximale probable : débit maximum de crue admis pour la conception d'un ouvrage d'équipement hydraulique ou de régularisation compte tenu de facteurs économiques et hydrologiques.
- ▣ Défense contre les crues : ensemble des dispositions prises pour assurer la protection des terres et des biens contre les inondations, ou pour minimiser les dommages qu'elles peuvent causer.
- ▣ Drainage ou exhaure : évacuation des eaux superficielles ou souterraines en excès d'une région donnée par gravité ou par pompage.
- ▣ Ecoulement direct : partie de l'écoulement qui entre dans le cours d'eau, après une chute de pluie ou la fonte de la neige. Elle est égale à la somme de l'écoulement de surface, de l'écoulement hypodermique et des précipitations recueillies sur les lacs et cours d'eau.
- ▣ Ecoulement en nappe : écoulement en nappe relativement mince et d'épaisseur sensiblement uniforme, à la surface du sol.
- ▣ Ecoulement souterrain : tout écoulement au-dessous de la surface de la terre pouvant contribuer à l'écoulement hypodermique, au débit de base ou à la percolation profonde.

- ✧ Ecoulement torrentiel : écoulement pour lequel le nombre de Froude est supérieur à 1.
- ✧ Emmagasinement dans les dépressions du sol : volume d'eau nécessaire pour remplir les petites dépressions naturelles d'un bassin jusqu'à atteindre leurs niveaux de déversement.
- ✧ Emmagasinement temporaire : volume d'eau qui peut être emmagasiné temporairement dans les canaux par exemple durant une période de crue.
- ✧ Flash flood ou crue éclair : crue de courte durée et de montée brusque avec un débit de pointe relativement élevé.
- ✧ Formation imperméable : formation qui n'a pas d'interstices interconnectés et de ce fait ne peut pas absorber ou laisser passer l'eau.
- ✧ Hydrologie urbaine : branche de l'hydrologie appliquée aux étendues urbaines et métropolitaines ou constructions et la plus grande partie du sol couverte d'un revêtement artificiel pratiquement imperméable.
- ✧ Hyétogramme : représentation graphique de la distribution temporelle ou spatiale d'une précipitation ; diagramme indiquant l'intensité des précipitations en fonction du temps.
- ✧ Infiltration : mouvement par gravité de l'eau dans la zone d'aération, qui conduit l'eau de la surface vers les nappes profondes.
- ✧ Inondation : étalement sur une zone qui n'est pas normalement submergée des apports de crue ayant débordé au-dessus des berges normales d'un cours d'eau.
- ✧ Laisses de crues : trace ou ligne laissée par le limon, les débris ou autres indiquant le plus haut niveau atteint par une crue.
- ✧ Lit mineur : partie du lit occupé pendant les périodes d'étiage.
- ✧ Perméabilité effective : perméabilité d'un milieu poreux à un fluide ne remplissant qu'incomplètement les espaces interstitiels, la portion restante de ces espaces étant occupée par d'autres fluides. C'est une fonction de la saturation.
- ✧ Plaine alluviale : plaine formée par le dépôt d'alluvions récentes et régulièrement inondée.
- ✧ Pluie locale : précipitations tombées en un endroit donné par opposition aux précipitations moyennes tombées dans une zone.
- ✧ Pluie résiduelle : pluie qui tombe vers la fin d'une averse avec une intensité inférieure à la capacité d'infiltration.
- ✧ Pointe de crue : cote la plus élevée atteinte par l'eau pendant une crue.
- ✧ Précipitation : produits, sous forme liquide ou solide, de la condensation de la vapeur d'eau, tombant des nuages ou déposés par l'air humide sur le sol.
- ✧ Précipitation effective (ou pluie nette) : partie de la précipitation qui produit l'écoulement.
- ✧ Précipitation initiale : pluie qui tombe au début d'une perturbation atmosphérique avant que l'emmagasinement dans les dépressions de la surface topographique ne soit complet.
- ✧ Précipitation liquide, soit sous forme de gouttes de diamètre supérieur à 0,5 mm, soit sous forme de gouttelettes plus petites et largement dispersées.

- ⌘ Ravin : chenal ou petite vallée, creusés par l'érosion de l'eau, mais par lesquels, ordinairement, l'eau ne coule que pendant et immédiatement après de fortes pluies d'orage ou pendant la période de fonte des neiges.
- ⌘ Ruissellement : partie des précipitations qui s'écoule à la surface du sol.
- ⌘ Temps de base : intervalle de temps entre le début et la fin d'un écoulement direct par une averse.
- ⌘ Temps de concentration : temps que met l'écoulement provenant de la partie du bassin la plus éloignée de l'exutoire pour parvenir à celui-ci.
- ⌘ Thalweg : ligne qui suit la partie la plus basse d'une vallée.
- ⌘ Torrent : cours d'eau à forte déclivité coulant avec une grande vitesse et une grande turbulence.