

PPRI

Ruissellement NO Lille



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Direction Départementale des
Territoires et de la Mer Nord

Note sur la détermination de l'aléa de référence



PHASE 2

Livrable

2.3

Table des matières

| | |
|---|-----------|
| Préambule : reprise du livrable 1.2 et mise à jour de la méthodologie..... | 7 |
| Partie 1: Contexte local de l'Aléa inondation..... | 8 |
| 1.1 La structure du bassin versant..... | 9 |
| 1.2 Les aléas potentiels..... | 13 |
| Partie 2: Intérêt de la modélisation..... | 15 |
| Partie 3: Hydrologie..... | 17 |
| 3.1 Introduction..... | 18 |
| 3.2 Bassins versants urbains..... | 18 |
| 3.3 Bassins versants ruraux..... | 19 |
| 3.3.1 Modèle de Horton..... | 19 |
| 3.3.2 Modèle du NRCS..... | 19 |
| 3.3.3 Modèle proposé..... | 20 |
| 3.4 Démarche adoptée..... | 20 |
| Partie 4: Modélisation hydraulique..... | 21 |
| 4.1 Pré-analyse du territoire en vue de la modélisation hydraulique 2D..... | 22 |
| 4.1.1 Contexte et rappels..... | 22 |
| 4.1.2 Traitements de l'hydrologie spatialisée classique..... | 23 |
| 4.1.3 Fiabilité des MNT..... | 23 |
| 4.1.4 Fonctions hydrologiques sur le MNT..... | 23 |

| | | |
|------------------|---|-----------|
| 4.1.5 | Traitement des pentes..... | 31 |
| 4.1.6 | Pentes, voiries et réseau hydrographique..... | 31 |
| 4.1.7 | Validation des zones d'écoulement préférentielles..... | 32 |
| 4.1.8 | La notion de « coût/distance »..... | 33 |
| 4.2 | Modélisation 2D..... | 34 |
| 4.2.1 | Justification..... | 34 |
| 4.2.2 | Format, exploitation et validation des résultats de modélisation..... | 34 |
| 4.3 | Prise en compte des réseaux d'assainissement..... | 36 |
| 4.4 | Détermination des événements de référence..... | 38 |
| 4.4.1 | Première analyse des événements pluvieux recensés par la DDTM..... | 38 |
| 4.4.2 | Traitement des données pluviométriques..... | 39 |
| 4.4.3 | Méthodologie d'échantillonnage des événements pluvieux exceptionnels..... | 41 |
| 4.4.4 | Les événements pluvieux exceptionnels identifiés..... | 44 |
| 4.4.5 | Choix de l'événement de référence..... | 48 |
| 4.5 | Pluviométrie utilisée pour la modélisation..... | 50 |
| 4.5.1 | Cas d'une pluie réelle prise comme référence..... | 50 |
| 4.5.2 | Cas d'une pluie de projet prise comme référence..... | 50 |
| 4.5.3 | Synthèse..... | 51 |
| 4.6 | Validation du modèle mis en place..... | 53 |
| Partie 5: | Construction des cartes d'aléa..... | 54 |
| 5.1 | Les variables de l'aléa..... | 55 |
| 5.2 | Le contexte local..... | 55 |
| 5.3 | Caractérisation des différents types d'aléas par zone | 56 |

| | |
|--|-----------|
| 5.4 Cartographie de l'aléa..... | 58 |
| 5.4.1 La question de la durée..... | 58 |
| 5.4.2 La grille d'aléa proposée..... | 58 |
| ANNEXE 1 : Fiche produit EVE'M..... | 61 |

Index des illustrations

| | |
|--|----|
| Illustration 1: Bassin versant de la zone d'étude (source : DDTM)..... | 9 |
| Illustration 2: Fonctions hydrologiques sur le MNT – Exemple de construction d'une grille des directions principales théoriques d'écoulement (Flow direction)..... | 24 |
| Illustration 3: Exemple de grille « Flow direction »..... | 25 |
| Illustration 4: Fonctions hydrologiques sur le MNT – Exemple de grille d'accumulation de l'eau (Flow accumulation)..... | 26 |
| Illustration 5: Exemple de grille « Flow accumulation »..... | 27 |
| Illustration 6: Exemple de grille « Flow accumulation » superposée avec le réseau hydrographique réel..... | 28 |
| Illustration 7: Utilisation de la fonction « Fill » et détection des zones de stockage..... | 29 |
| Illustration 8: Principe de la grille « Flow accumulation multiple »..... | 30 |
| Illustration 9: Exemple de représentation de la voirie en fonction des classes de pentes..... | 32 |
| Illustration 10: Localisation des pluviographes de LMCU au sein et aux alentours de la zone d'étude..... | 40 |
| Illustration 11: Fenêtre EVE'm de validation graphique des données pluviométriques..... | 42 |
| Illustration 12: Fenêtre EVE'm d'analyse des événements pluvieux – lame d'eau minimale sur durée minimale..... | 43 |

| | |
|--|----|
| Illustration 13: Exemple de calculs des événements pluvieux sous EVE'm..... | 44 |
| Illustration 14: Comparaison entre les précipitations mensuelles moyennes et mesurées-Station de Comines (Source : LMCU)..... | 46 |
| Illustration 15: Comparaison entre les précipitations mensuelles moyennes et mesurées-Station d'Halluin (Source : LMCU)..... | 46 |
| Illustration 16: Comparaison entre les précipitations mensuelles moyennes et mesurées-Station de Linselles (Source : LMCU)..... | 46 |
| Illustration 17: Hiétoگرامme au pas de temps 5 min de la pluie de projet centennale sur une durée intense de 15 minutes (Source : statistiques Météo-France de la station de Lille-Lesquin)..... | 49 |
| Illustration 18: Tests de sensibilité et analyse en vue de la phase 3..... | 52 |
| Illustration 19: Illustration des 3 zones à prendre en compte au niveau de l'aléa ruissellement – Butte de Linselles (Image Google Earth)..... | 57 |
| Illustration 20: Croisement entre hauteur et vitesse (Source DDE Vaucluse)..... | 59 |

Index des photos

| | |
|--|----|
| Photo 1: Butte de Linselles..... | 10 |
| Photo 2: Plaine de Comines avec la butte de Werwiq-Sud en fond..... | 10 |
| Photo 3: Urbanisation continue à Roncq..... | 11 |
| Photo 4: Plaine de Comines..... | 11 |
| Photo 5: Ruisseau à Neuville-en-Ferrain..... | 12 |
| Photo 6: Rue pentue imperméabilisée à Halluin renforçant la vitesse des écoulements..... | 13 |
| Photo 7: Remblai de la route en arrière plan, à Neuville-en-Ferrain..... | 14 |

Index des tables

| | |
|--|----|
| Tableau 1: Période de retour des différents événements pluvieux ayant engendré des inondations(source : DDTM59)..... | 38 |
| Tableau 2: Inventaire des épisodes pluvieux exceptionnels..... | 45 |
| Tableau 3: Grille d'aléa proposée..... | 60 |

Préambule : reprise du livrable 1.2 et mise à jour de la méthodologie

L'objectif du présent livrable est de mettre à jour et d'affiner la méthode de détermination de l'aléa de référence décrite dans le livrable 1.2 de la phase 1 en profitant de la connaissance acquise et des informations collectées durant la phase 2.

Le traitement des données pluviométriques LMCU selon la méthodologie indiquée en phase 1 a notamment été réalisé au cours de la présente phase et a permis l'échantillonnage puis la fiabilisation (décrite dans le livrable 2.2.a) des pluies d'occurrence exceptionnelle sur la période 1997-2011.

La confrontation entre les données pluviométriques et les informations historiques permet d'avoir une vision claire des pluies qui seront utilisées dans la cadre de la phase 3 de modélisation hydraulique :

- pour le calage du modèle et notamment des paramètres d'infiltration et de ruissellement ;
- pour la modélisation de l'aléa de référence.

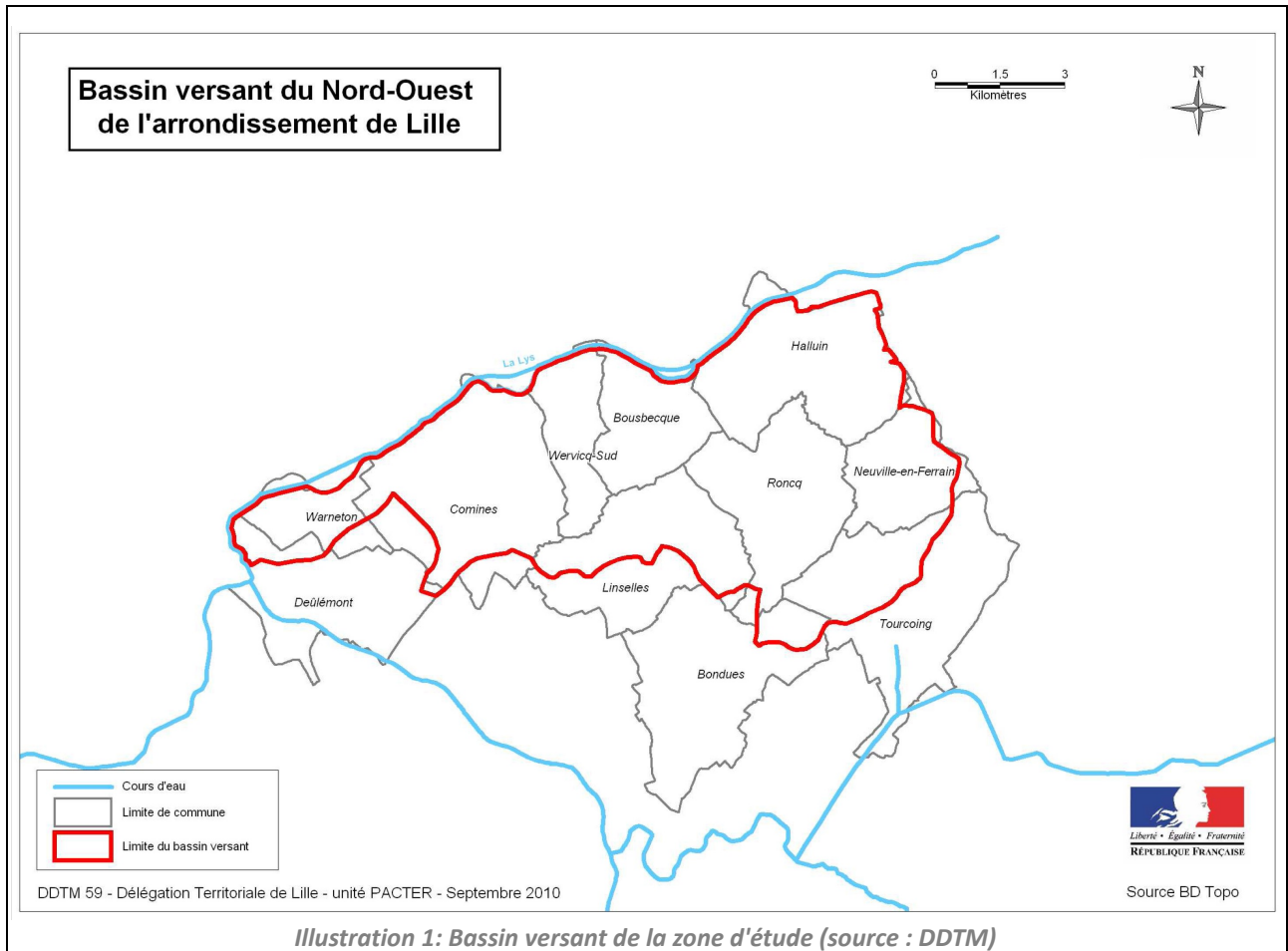
Le présent livrable reprend donc cette méthodologie liée au volet hydrologique et décrit sa mise en œuvre concrète au niveau de la modélisation hydraulique du mécanisme de ruissellement.

Partie 1: Contexte local de l'Aléa inondation

1.1 La structure du bassin versant

Le bassin versant de la zone d'étude est situé dans la partie nord-ouest de l'agglomération lilloise (59). Il s'agit du bassin versant rejoignant directement la Lys au nord de la Deûle (cf. figure ci-après).

Ce bassin versant est inscrit au sein de onze communes : Bondues, Bousbecque, Comines, Deûlémont, Halluin, Linselles, Neuville-en-Ferrain, Roncq, Tourcoing, Warneton et Werwicq-Sud.



La zone d'étude est marquée par une triple disparité entre les parties est et ouest du bassin versant:

- **le relief** : la partie est de la zone d'étude (Bousbecque, Halluin, Linselles, Neuville, Roncq, Tourcoing, Werwicq-Sud) est composée de buttes pouvant atteindre jusqu'à 70 mètres de hauteur, tandis que la partie ouest est très plate avec seulement quelques mètres de dénivelé entre Linselles, Comines, Deûlémont et Warneton ;



Photo 1: Butte de Linselles



Photo 2: Plaine de Comines avec la butte de Werwiq-Sud en fond

- **l'occupation des sols** : les communes occidentales présentent une urbanisation concentrée autour des centres historiques et entourée de cultures, à l'inverse des communes orientales

où la part des zones cultivées est plus réduite et l'urbanisation plus étendue ;



Photo 3: Urbanisation continue à Roncq



Photo 4: Plaine de Comines

- **la dynamique des écoulements** : les écoulements sont concentrés dans les talwegs présents dans le secteur est du fait du relief plus marqué tandis que dans le secteur ouest les écoulements sont diffus et répartis dans la plaine



Photo 5: Ruisseau à Neuville-en-Ferrain

1.2 Les aléas potentiels

Les disparités du bassin versant entraînent des aléas potentiels différents selon les secteurs, qui peuvent se résumer en des hauteurs d'eau élevées et des vitesses faibles dans les secteurs plats et inversement dans les secteurs pentus.

Ces aléas vont être renforcés dans les secteurs urbanisés situés sur les buttes (vitesses accrues du fait de la concentration des écoulement dans les talwegs et sur les chaussées), ainsi que dans les secteurs situés aux pieds de ces buttes et bordés des remblais des routes principales (hauteurs d'eau élevées du fait du blocage de l'écoulement).



Photo 6: Rue pentue imperméabilisée à Halluin renforçant la vitesse des écoulements



Photo 7: Remblai de la route en arrière plan, à Neuville-en-Ferrain

La caractérisation de l'aléa est présentée de manière plus détaillée qu'en phase 1 ci-après, à partir des informations recueillies et du traitement statistiques des chroniques de . Pour cela, il est prévu de mettre en place une modélisation bidimensionnelle à l'échelle du bassin versant durant la phase 3.

Partie 2: Intérêt de la modélisation

L'approche bidimensionnelle , totalement innovante, qui est retenue dans le cadre de cette étude, présente des avantages certains :

- ↳ **dans la mesure où l'on ne fait pas d'hypothèses**, ni sur les lieux de production, ni sur les directions de l'écoulement dans les réseaux de surface ;
- ↳ **dans la mesure où l'on apporte plus de précisions concernant la topographie urbaine :**
 - tous les obstacles à l'écoulement peuvent être pris en compte dans la création du maillage de calcul (bâti, murets, même les véhicules pour faire des tests de situation de crise sur des secteurs précis d'intérêt particulier) ;
 - une section de rue peut parfaitement être représentée par plusieurs mailles de calcul 2D, alors qu'une seule section viendrait la décrire dans une schématisation 1D. Ce point particulier est crucial, il permet en effet d'analyser finement les répartitions des flux entre différents axes et d'obtenir des résultats de simulation en accord avec les profils locaux des chaussées ;
- ↳ **les hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement sont connues en chaque point de la zone 2D modélisée**, et permettent une cartographie des niveaux de submersion, des vitesses et de l'aléa type PPRI en procédant au croisement des données de hauteur et vitesse à chaque pas de temps de calcul ;
- ↳ **la modélisation bidimensionnelle des écoulements de surface permet de représenter aussi bien les écoulements en régime fluvial que torrentiel**, cas de figure souvent rencontré dans le cas de ruissellement intense ou de débordement de réseaux au sein de secteurs urbains ;
- ↳ **elle peut s'appliquer sur l'ensemble du bassin versant**, en s'adaptant aux zones à enjeux : la taille des mailles peut s'adapter en fonction des contraintes locales et de la présence d'enjeux.

Cette approche s'appuie sur deux grandes étapes, dans un premier temps l'analyse hydrologique qui permet de représenter le débit ruisselant sur le bassin versant, et dans un second temps la modélisation hydraulique qui permet de représenter les écoulements en surface.

Partie 3: Hydrologie

3.1 Introduction

La modélisation hydrologique permet de passer d'un hyétogramme représentant la pluie tombant sur un bassin versant, à un hydrogramme représentant le débit ruisselant sur ce bassin versant.

Classiquement, un modèle hydrologique comprend 2 fonctions :

- une fonction de production, qui permet de modéliser le passage de la pluie brute à la pluie nette en évaluant les pertes au ruissellement ;
- une fonction de transfert, qui permet de modéliser le passage de la pluie nette à l'hydrogramme de crue à l'exutoire de chaque sous-bassin versant.

Les paragraphes suivants décrivent les fonctions de production qui seront a priori privilégiées dans le cadre de l'étude, afin de rendre compte de l'hétérogénéité du bassin versant mentionnée dans le chapitre 1.

A noter que la pluie nette sera directement appliquée sur le modèle hydraulique superficiel 2D décrit au paragraphe précédent, de manière à générer le ruissellement de surface et à ne faire aucune hypothèse quant au temps de concentration ou au chemin hydraulique. Il n'y a donc pas de fonction de transfert prise en compte dans notre modèle hydrologique.

Remarque : L'évaluation de la pluie brute, c'est à dire de la pluie tombant sur le bassin versant, fait l'objet d'une description détaillée dans le chapitre 5.4.

3.2 Bassins versants urbains

Pour les secteurs urbains, le modèle hydrologique utilisé sera à coefficient de ruissellement constant égal à $C_p \times IMP$ où IMP est le taux d'imperméabilisation du bassin versant.

C_p est le coefficient de production qui traduit le fait que l'ensemble des surfaces imperméables ne contribue pas au ruissellement (stockage dépressionnaire, pertes continues...). Lors de fortes pluies, comme celle prise en compte dans le cadre du PPRI, le coefficient de production se rapproche de 1. Pour tenir compte des pertes précédemment évoquées, nous proposons de retenir un coefficient de production de 0,9.

Ce modèle hydrologique est le plus classiquement utilisé en hydrologie urbaine et est adapté aux bassins versants fortement urbanisés.

Les apports calculés par ce modèle seront éventuellement ajustés par un coefficient variable, permettant la prise en compte du réseau d'assainissement dans l'évacuation des apports, principalement en début d'événement pluvieux, si cette approche est retenue en phase n°3 (cf. paragraphe 4.3)

3.3 Bassins versants ruraux

Pour les surfaces perméables (parcs urbains, zones périurbaines, zones rurales), deux modèles peuvent être utilisés : modèle de Horton ou modèle du SCS.

3.3.1 Modèle de Horton

Le modèle de Horton est utilisé pour représenter le comportement d'un sol perméable. La capacité d'infiltration normale du sol est exprimée par la formule suivante :

$$f(t) = fc + (f_0 - fc) \cdot e^{-kt}$$

- f_0 : capacité d'infiltration maximum du sol ;
- fc : capacité d'infiltration du sol saturé
- k : constante de temps positive

Ce modèle fait l'hypothèse que la capacité d'infiltration décroît régulièrement pendant la pluie du fait de la saturation du sol.

Établi et vérifié sur des sols partiellement saturés, il n'est pas applicable aux sols initialement secs.

3.3.2 Modèle du NRCS

La fonction de production du NRCS (National resources Conservation Service, ex-Soil Conservation Service) permet de rendre compte des pertes initiales au ruissellement et est particulièrement adaptée aux surfaces rurales peu imperméabilisées.

Les surfaces considérées sont définies par un coefficient CN (Curve Number) qui est fonction de plusieurs facteurs dont le type et l'occupation du sol, la végétation, les conditions antécédentes d'humidité, la pente et les aménagements effectués.

La pluie nette est calculée de la façon suivante :

$$P_{nette} = \frac{(P_{brute} - 0,05 \times S)^2}{P_{brute} + 0,95 \times S} \quad (\text{si } P_{nette} > 0, \text{ sinon } 0)$$

Où :

- P_{brute} et P_{nette} sont exprimés en mm ;
- S est le paramètre de rétention (mm), calculé à partir du Curve Number :

$$S = 33,78 \times \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)^{1,15}$$

Il représente la quantité maximale de pluie absorbée par le sol au cours de l'événement

pluvieux ;

- I_a : égal à $0,05 \cdot S$ et exprimé en mm. Ce paramètre représente la quantité de pluie qui s'infiltré dans le sol avant le début du ruissellement.

3.3.3 Modèle proposé

Nous proposons l'utilisation du modèle NRCS pour les bassins versants ruraux, plus aisé à mettre en œuvre que le modèle de Horton dont la définition des paramètres est plus délicate. Notons également que le modèle de Horton n'est pas adapté pour les sols préalablement sec, ce qui peut être le cas lors des événements pluvieux estivaux engendrant des inondations.

La détermination du paramètre CN sera adaptée au sein de la zone d'étude selon le tableau de la littérature donnant un CN en fonction de l'occupation du sol, de la pratique agricole et de la végétation.

3.4 Démarche adoptée

La démarche visera donc à découper le bassin versant en sous bassins versants homogènes du point de vue de l'occupation des sols, puis à calculer pour chacun d'eux, en utilisant les fonctions de production appropriées, la pluie nette à appliquer au sol sur chaque sous-bassin.

Partie 4: Modélisation hydraulique

4.1 Pré-analyse du territoire en vue de la modélisation hydraulique 2D

4.1.1 Contexte et rappels

La méthode mise en place sur la zone d'étude repose sur la construction d'un modèle hydraulique 2D sur toute la zone. Cette méthode innovante, présente néanmoins un certain nombre de limites. En effet simuler avec finesse tout le territoire semble aujourd'hui impossible, et surtout non nécessaire.

Aussi, nous mettons en place différents traitements sous environnement SIG, permettant de cibler de manière large les zones sur lesquelles, la modélisation fine pourra être lancée, les distinguant ainsi des autres zones sur lesquelles le traitement pourra être plus grossier sans que cela soit préjudiciable à la qualité des résultats.

Pour optimiser le traitement, il est nécessaire de re-préciser les objectifs et les différentes configurations que le risque ruissellement propose.

La caractérisation de l'aléa et le futur zonage du PPRI vont devoir déterminer 3 familles d'espaces :

- **La zone dite de transfert**, où la présence de « chenaux », qu'il s'agisse d'un réseau hydrographique existant (permanent ou non) ou du réseau routier, va concentrer l'écoulement. En fonction de la dimension, de la pente, des longueurs de ces « drains », cette zone va contribuer à un risque vitesse/hauteur plus ou moins important ;
- **La zone de stockage** où les eaux après s'être répandues dans les différents chenaux, vont se stocker à la faveur d'une rupture de pente, de la présence d'une zone moins « canalisée ». Elles vont soit diverger, soit remplir la zone de dépression rencontrée avant de se vidanger naturellement (ou pas) dans les points bas du système, la Lys dans le secteur qui nous concerne, ou bien encore dans la nappe, si des zones endoréiques existent ;

Ces zones de stockage peuvent de plus se situer à différents niveaux de la zone d'étude. Il est en effet possible de rencontrer des zones de « pallier », entre deux secteurs plus fortement pentus, où les eaux pourraient se stocker temporairement, créer une inondation avec une hauteur importante, puis se vidanger pour repartir dans la zone de stockage suivante.

- **La zone dite de production**, sur laquelle les pluies vont venir se répartir et engendrer le ruissellement. Cette zone non soumise au risque de ruissellement peut en revanche l'aggraver si elle est imperméabilisée. Elle est définie par sa position géographique (zones hautes), et bornée aux secteurs où ni les écoulements, ni les accumulations ne sont formés, par conséquent les secteurs où le niveau d'eau calculé par la modélisation reste négligeable (selon un critère de profondeur à définir en fonction des résultats de simulation).

Ainsi les traitements sous SIG ont ils pour objectif de classer les différents espaces, drains, routes du territoire afin d'en comprendre la réponse lors de l'épisode pluvieux.

Une partie du travail de ce travail a été réalisée durant la présente phase de collecte des informations sur les inondations passées permettant de cibler une première série de zones prioritaires, où ces phénomènes se sont produits et donc se reproduiront. Mais il est possible que les configurations topographiques et la météorologie locale n'aient pas donné naissance à tous les scénarii d'inondation. Il faudra alors répertorier les sites sur lesquels le risque est également possible.

4.1.2 Traitements de l'hydrologie spatialisée classique

L'hydrologie spatialisée est employée pour améliorer la connaissance du fonctionnement du bassin versant notamment sur les problématiques de ruissellement. Elle exploite les Modèles Numériques de Terrain pour cibler les trajets que va emprunter l'eau, et ainsi repérer les zones à risques.

Plusieurs traitements sont actuellement ont été réalisés durant cette phase pour améliorer la connaissance de la réponse du territoire, mais également pour voir la convergence de ces traitements. Les résultats sont fonction de la qualité de la donnée de départ, et donc de la finesse du MNT et de sa représentation (analysé en détail dans le livrable 2.2.a).

4.1.3 Fiabilité des MNT

Le MNT disponible pour cette étude est un MNT fin (Lidar). Deux versions sont disponibles, celle de la DDTM du Nord (Conseil Général) et celle de l'agglomération de Lille (LMCU). La comparaison des deux surfaces, et les conclusions que l'on peut en tirer sur la fiabilité respective des deux MNT, est décrite finement dans le livrable 2.2.a.

4.1.4 Fonctions hydrologiques sur le MNT

Les fonctions hydrologiques présentes dans les SIG ont été développée il y a plus de 20 ans aux États-Unis, notamment par l'équipe du professeur D Maidment de l'université d'Austin au Texas. Ces fonctions partent du principe que l'eau qui touche le sol va s'écouler de manière surfacique dans un premier temps, puis se concentrer en suivant la « ligne de plus grande pente » théorique.

Cette approche est théorique, parce que cette ligne de plus grande pente est numérique, peut être influencée sur le terrain par d'autres paramètres tels de petits obstacles, des zones de stockage, des orientations différentes liée à une particularité topographique locale. Deux fonctions principales sont utilisées :

- **Flow direction** (grille de direction de l'écoulement de l'eau)

Les illustrations suivantes matérialisent la technique qui est utilisée pour traiter la donnée. A partir d'un MNT sous forme de grille à maille fixe (raster ou grid), la fonction va calculer la

ligne de plus grande pente entre la maille de calcul et les 8 mailles qui l'entourent. Ce travail est réalisé par itérations successive sur toute la zone d'étude.

On obtient au final une grille des directions principales théoriques de l'écoulement.

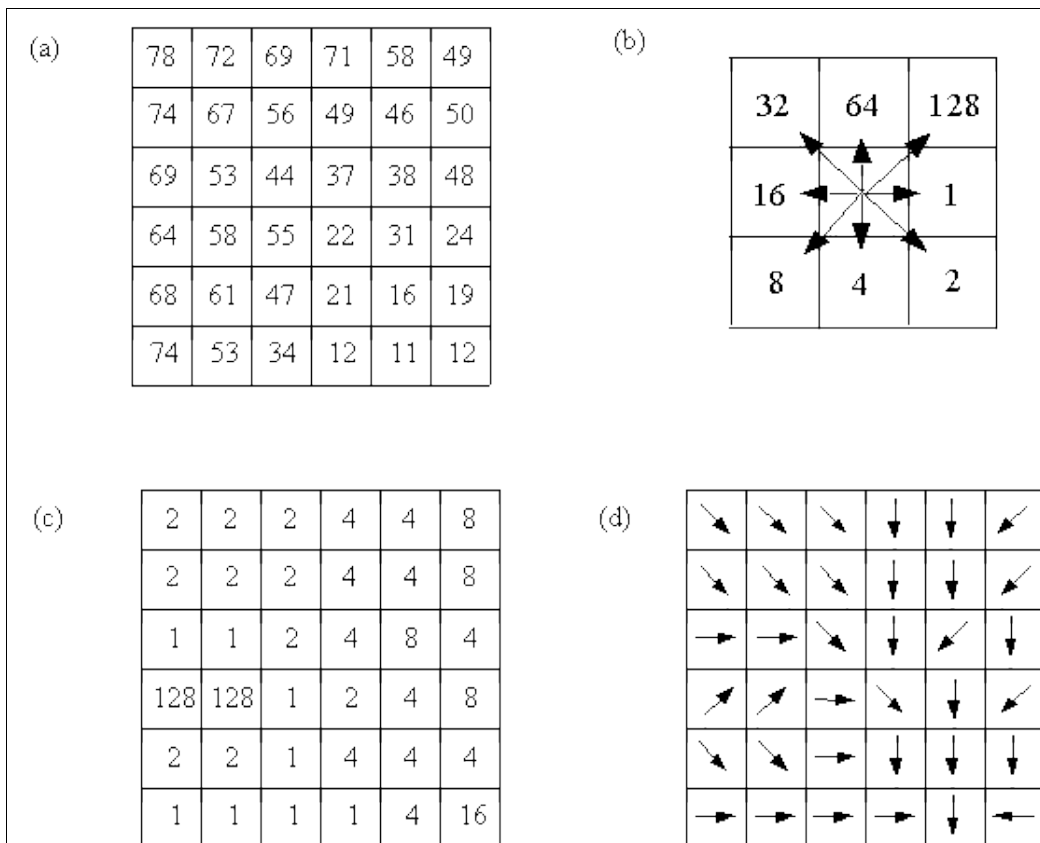


Illustration 2: Fonctions hydrologiques sur le MNT – Exemple de construction d'une grille des directions principales théoriques d'écoulement (Flow direction)

Figure (a) : exemple de grille MNT avec des cotes fictives en m NGF → Figure (b) : affectation d'un numéro à la maille centrale en fonction de la plus grande pente → Figure (c) : grille du MNT avec les numéros affectés selon la plus grande pente → Figure (d) : grille du MNT avec une représentation de la plus grande pente sous forme de flèches.



Illustration 3: Exemple de grille « Flow direction »

Réalisation de la Grille *Flow direction* sur le territoire d'étude. Cette grille n'est pas exploitable visuellement, à cette échelle mais elle permet de préparer les autres fonctions de calculs, A chaque couleur correspond une valeur de direction de la « plus grande pente ». ces valeurs sont codées 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128.

- **Flow accumulation** (grille d'accumulation de l'eau, qui correspond à cette caractéristique de concentration de l'écoulement)

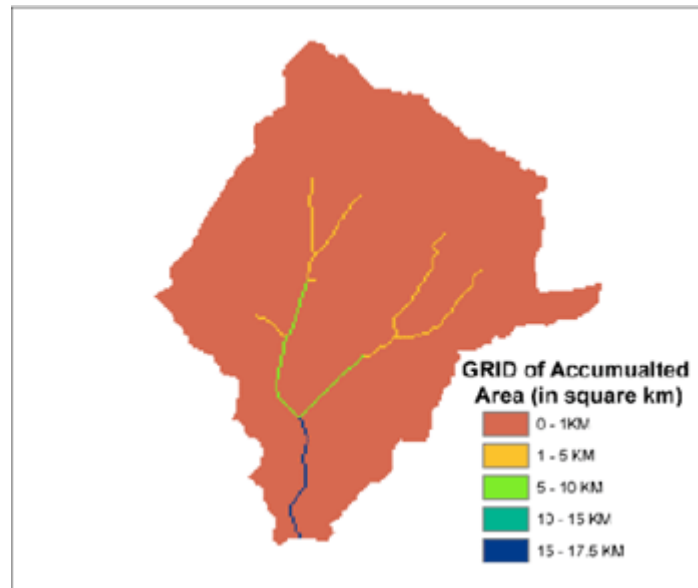


Illustration 4: Fonctions hydrologiques sur le MNT – Exemple de grille d'accumulation de l'eau (Flow accumulation)

La fonction d'accumulation va reprendre la grille issue de la fonction « Flow direction » et va pour chaque maille qu'elle va rencontrer, compter le nombre de mailles amont qui se jettent dans la maille considérée. En progressant vers l'aval, le nombre de mailles des zones d'écoulement concentrée va augmenter.

Sur la figure précédente, les parties en rouge correspondent aux mailles dont la surface amont (calculée à partir des informations de la grille « Flow direction ») est inférieure à 1 km². De la même manière, les mailles représentées en orange contrôlent des surfaces amont comprises entre 1 et 5 km², et ainsi de suite.

On obtient ainsi une représentation théorique du réseau hydrographique déterminé à partir de la topographie numérique.

Ce réseau hydrographique peut ensuite être comparé avec le réseau hydrographique réel (numérisé à une échelle fine, sur orthophotographie). C'est le cas de l'illustration suivante sur le bassin étudié.

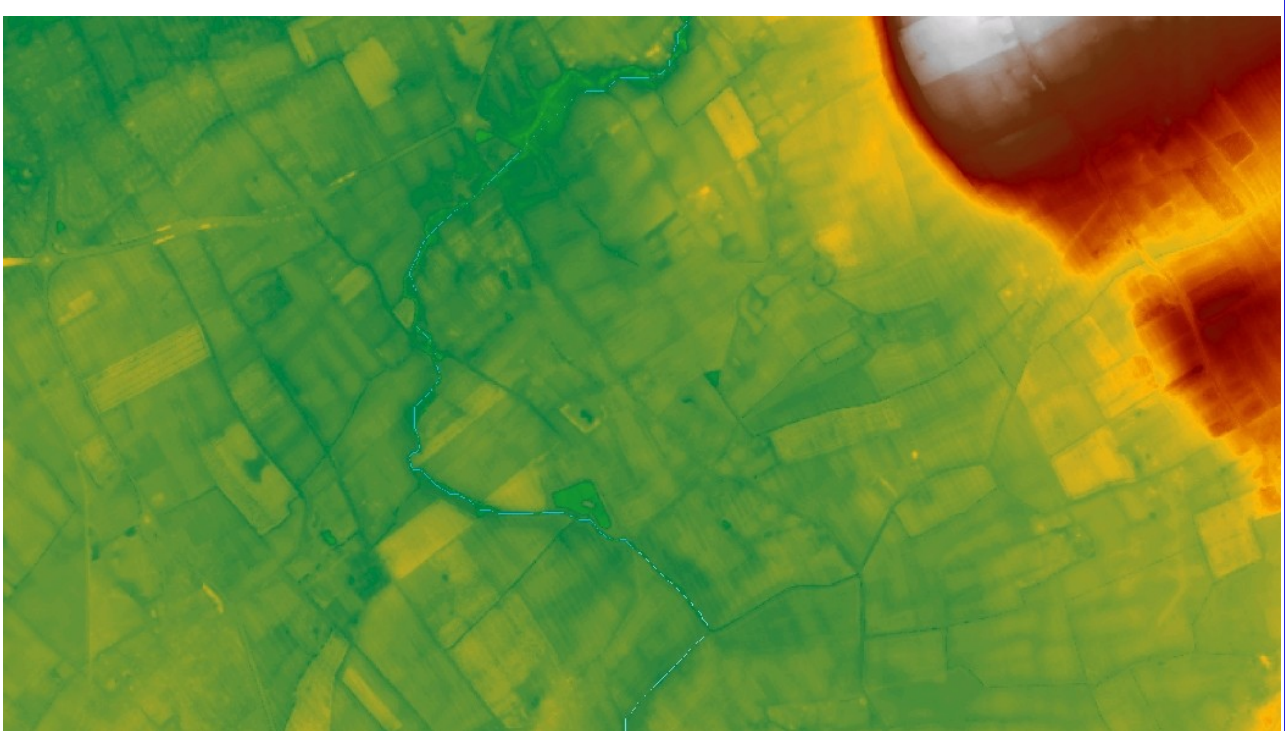


Illustration 5: Exemple de grille « Flow accumulation »

La fonction *Flow Accumulation* permet de reconstituer le réseau hydrographique théorique.

En léger pointillés bleu, on distingue les mailles considérées comme étant celles du réseau. La comparaison avec le tracé réel montre que le MNT est cohérent et fournit des informations fiables.

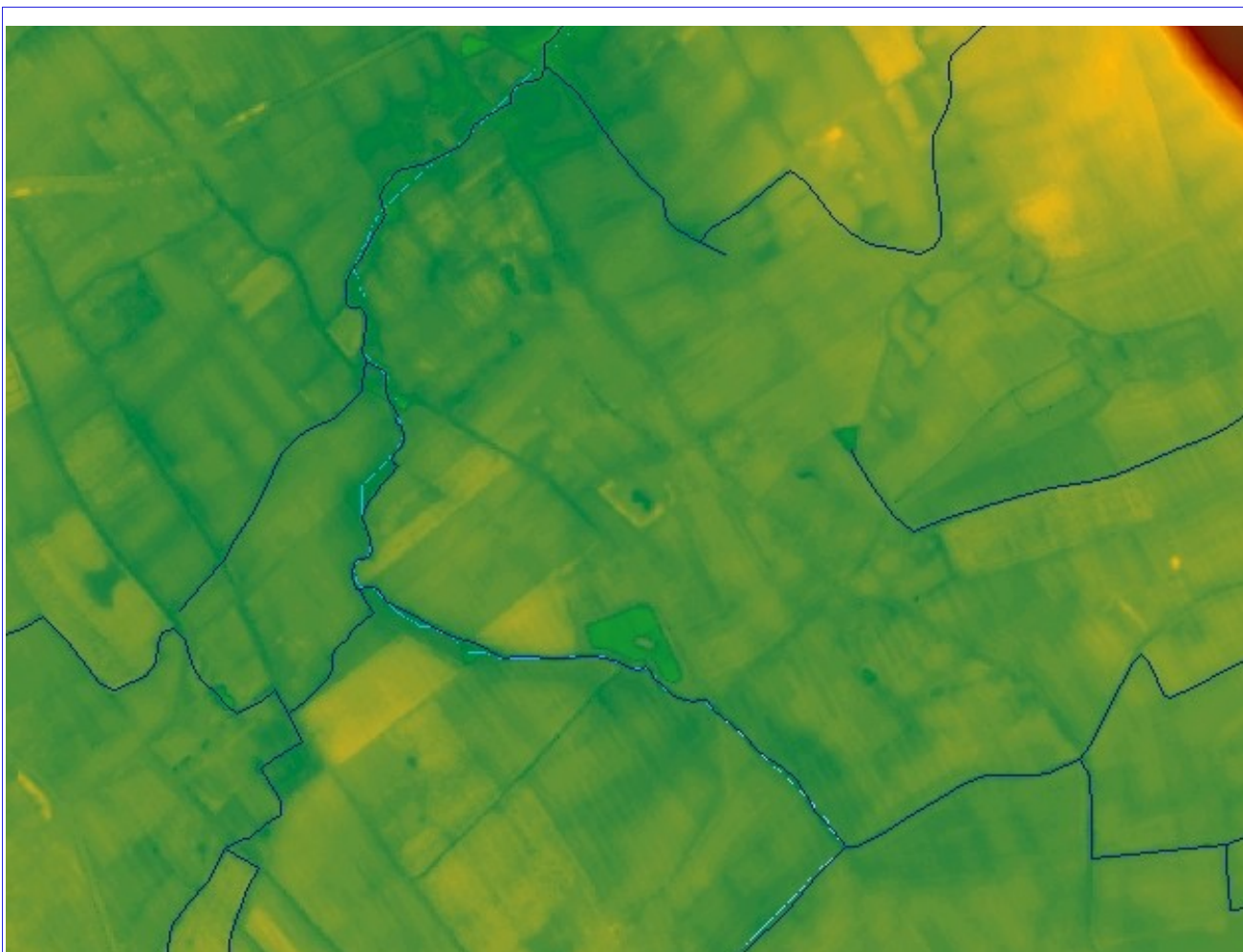


Illustration 6: Exemple de grille « Flow accumulation » superposée avec le réseau hydrographique réel

La même *Flow accumulation* avec en sur-imposition le réseau réel. On voit que les écarts entre les deux tracés sont minimes.

Les explications ont présenté les deux fonctions permettant d'obtenir à partir du MNT le réseau hydrographique. Mais le calcul ne met en évidence que les zones de circulation. Les zones de stockage n'apparaissent pas directement.

Deux approches complémentaires sont réalisables pour améliorer la connaissance.

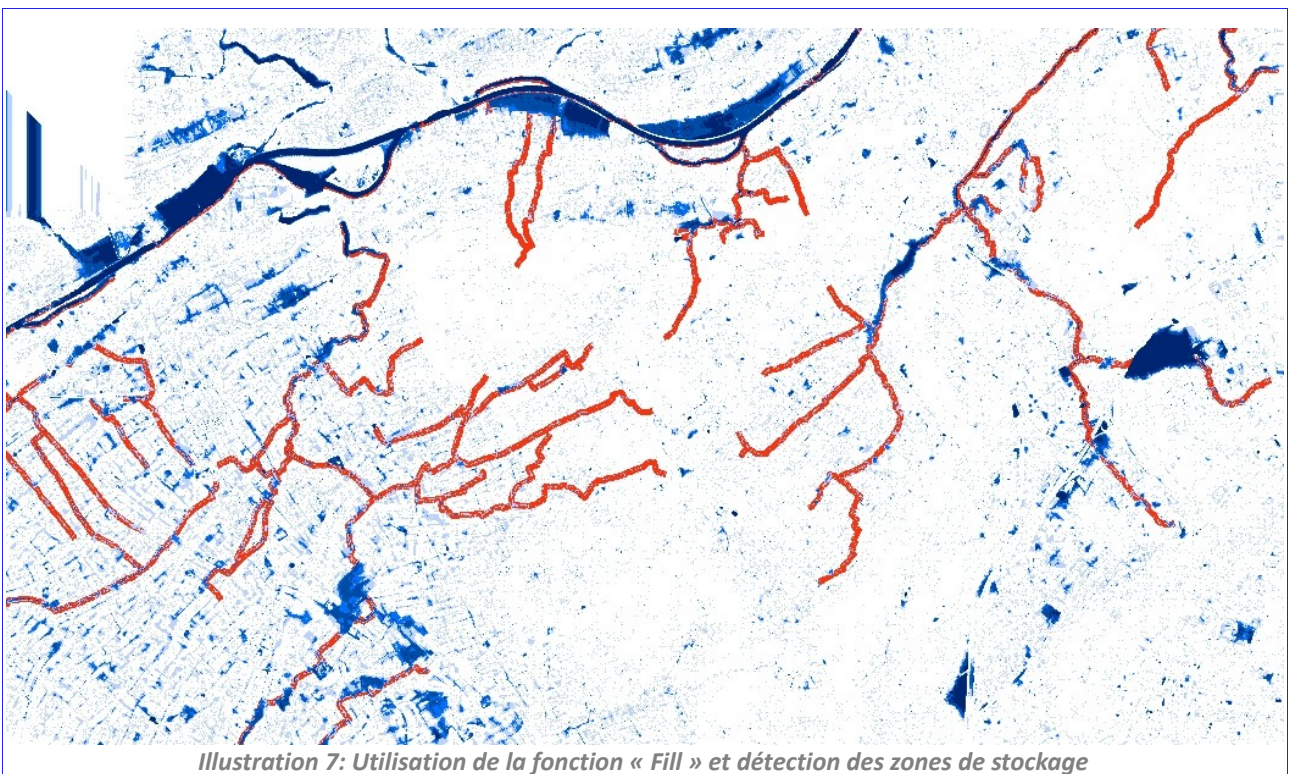
- **Fonction « Fill »**

En réalité, si on lance les fonctions hydrologique directement sur le MNT, surtout sur le levé Lidar, les résultats sont en règle générale faux. Le MNT brut présente des interruptions dans le tracé des zones pentues. Ces interruptions perturbent les calculs d'écoulement, et génèrent des résultats aberrants.

Il faut alors utiliser la fonction « Fill ». Cette fonction modifie la topographie du MNT en parcourant le « réseau hydrographique » théorique, en « comblant les trous » qui posent des problèmes au calcul. Le MNT obtenu est donc un MNT lissé.

En réalisant une soustraction entre les 2 MNT disponibles (le MNT de départ et le MNT lissé), on fait apparaître des zones de stockage de l'eau. En effet, la fonction FILL lisse les aspérités, pour générer un tracé hydraulique continu. On peut considérer que ce tracé est celui d'une ligne d'eau en crue. La soustraction fait donc bien ressortir les zones où l'eau aura tendance à stagner, remplir la cuvette, pour ensuite repartir dès que les bords de la cuvette seront remplis.

L'illustration suivante montre le croisement entre les deux données et la localisation des zones de stockage.



En bleu, on visualise toutes les zones de différence, où la cote du MNT lissé est supérieure à celle du MNT réel. Plus la couleur est sombre et plus la profondeur est importante. On voit bien qu'un certain nombre de ces zones colle avec le réseau hydrographique réel. Les autres « taches bleues » devront être vérifiées par d'autres traitements et par des visites sur le terrain.

L'analyse que nous avons réalisée sur le Lidar CG - qui est celui sur lequel nous avons réalisé la comparaison ci-dessus – dans le cadre du PPRI de la Selle mais également sur le MNT de l'Ecaillon nous montre que le filtrage des zones urbaines a été mal réalisé. Ainsi, sur la partie gauche de l'image, on voit très clairement la pixélisation bleue qui présente donc un grand nombre de « cuvettes » autour des habitations. Il s'agit d'un artefact de calcul. Les visites de terrain ont permis

de caractériser morphologiquement les zones bâties et donc d'en tirer les modifications nécessaires dans le MNT utilisé.

Une analyse itérative sera également réalisée entre ce traitement et la cartographie des zones de production et de stockage, de manière à supprimer les zones dont la surface pourra être considérée comme négligeable.

On peut remarquer également que de nombreuses taches bleues apparaissent autour des zones bâties. Il s'agit là principalement des problématiques liées à la suppression du sur-sol des habitations qui crée souvent de petites zones de creux. Un traitement sur les surfaces de ces zones permettra de supprimer les résultats aberrants.

Dans la phase 3, un croisement entre ces zones théoriques de stockage et les zones historiques submergées sera réalisé pour vérifier la pertinence du traitement et sa validation comme élément de préparation de la modélisation.

- **Fonction Flow accumulation multiple** : en traitement standard, la fonction Flow Accumulation recherche la ligne de plus grande pente dans une seule direction. Depuis quelques années, la fonction a été améliorée et des possibilités de traitement multi-directionnel ont été développées. Des tests de cette approche sont actuellement en cours de réalisation pour repérer d'éventuelles zones de stagnation/divergence des écoulements.

La fonction est illustrée par l'image ci dessous

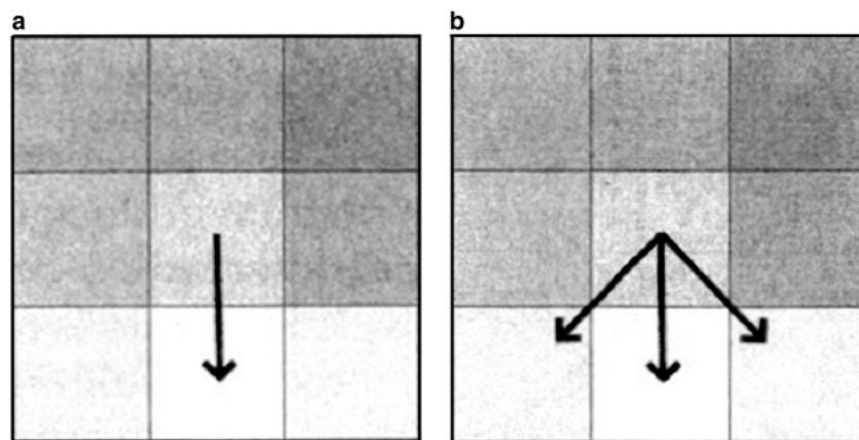


Illustration 8: Principe de la grille « Flow accumulation multiple »

Au final ces traitements numériques hydrologiques de base permettent de localiser les zones sur lesquelles il faut se pencher de manière plus fine, notamment par la suite sur la problématique des enjeux.

Un travail complémentaire est également en cours au niveau :

- des pentes

- des surface de production liées à ces zones répertoriées.

Les ruptures de pentes vont en effet permettre de cibler les zones où des modifications de vitesse des écoulement vont être observées

- soit dans le sens pente forte → pente faible → zone de stockage ;
- soit dans le sens pente faible → pente forte → nouvelle zone de concentration de l'écoulement et de vitesses.

4.1.5 Traitement des pentes

Le traitement des pentes permet donc de mieux cerner les zones sensibles, où la concentration de l'eau va être plus rapide. Il s'agit d'une fonction simple et standard sur le MNT. Ce repérage, croisé aux zones bâties permet également de cibler les constructions qui pourraient être soumises aux risques d'écoulement rapide, et ensuite de les corrélérer avec les surfaces de production, et donc le volume d'eau potentiel.

Mais les pentes sont également à croiser avec le réseau routier qui en milieu urbain constitue un réseau hydrographique alternatif, qui est à l'origine des inondations du fait de son imperméabilisation.

4.1.6 Pentés, voiries et réseau hydrographique

Le traitement qui est proposé consiste à affecter à chaque tronçon de voirie la pente moyenne. On peut ainsi proposer une carte des pentes de la voirie, et donc par la suite réaliser une typologie de configurations de routes :

- voie longue a pente forte,
- voie longue à pente faible,
- modification de pente sur une voie, pouvant entraîner un stockage, ou une modification de la direction de l'écoulement,
- etc.

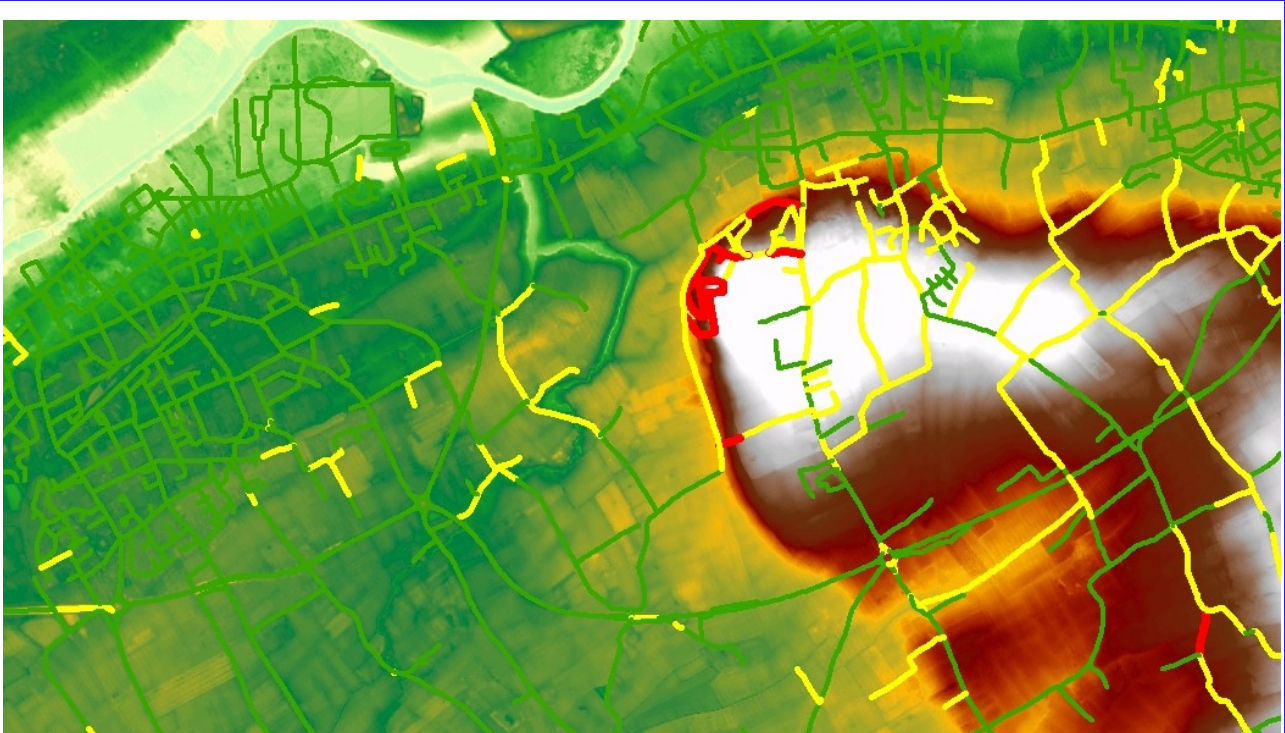


Illustration 9: Exemple de représentation de la voirie en fonction des classes de pentes

L'illustration précédente montre 3 classes de pentes (<2,5 % en vert ; <7,5 % en jaune ; > 7,5 % en rouge). Au centre de la figure, on distingue une zone avec croisement en « T » de la voirie. La rupture de pente entre les deux axes routiers peut conduire à un stockage, un appui de la lame d'eau sur les façades de constructions lorsqu'il y en a, puis à une divergence de l'écoulement à droite et à gauche, selon la pente.

A partir de ces informations, des traitements complémentaires permettront :

- la détection des configurations en « T » inversé de certains quartiers ;
- l'analyse des ruptures de pentes, avec localisation des zones de ruptures, et calculs de leurs bassins versant d'alimentation ;
- le croisement ruptures de pentes/zones de stockages.

4.1.7 Validation des zones d'écoulement préférentielles

Toutes ces analyses ont pour objectif de détecter le réseau hydrographie réel en cas d'épisode pluvieux. On sait qu'en milieu urbain, le réseau routier sert de réseau hydrographique. On sait également que ces écoulements sont complexes et que les phénomènes observés sont fonction de l'alimentation pluvieuse lors de l'épisode.

La cartographie du PPRi doit au final proposer un zonage pour un épisode a minima centennal quel

que soit le point de la carte étudié. Or lors des épisodes réels, la cartographie d'inondation est influencée par la répartition spatiale de la pluie.

La localisation de toutes les zones d'écoulement préférentielles et de toutes les zones de stockage est une obligation pour proposer une carte d'aléa, puis de zonage conforme à la doctrine.

La complexité du traitement est bien de localiser toutes les zones d'écoulement et de stockage. Des analyses redondantes sont à effectuer pour être sûr que le traitement numérique est fiable. Pour ce faire le groupement dispose de fonctionnalités avancées qui sont utilisées dans ces configurations particulières.

4.1.8 La notion de « coût/distance »

Dans les fonctions disponibles ou développées en interne sous SIG, on peut utiliser les fonctions de coûts par distance. Ces fonctions sont utilisées sur les grilles à mailles fixes préalablement évoquées. Il s'agit pour chaque maille de la zone d'étude de « s'écouler » le plus rapidement possible à son exutoire propre.

On peut considérer du point de vue théorique que l'eau utilise cette fonction du coût de déplacement le « moins cher » en utilisant la plus grande pente, en s'écoulant sur une surface lisse plus rapidement que sur une surface rugueuse, etc....

Il s'agira donc de mettre en place des indicateurs à partir de :

- la flow accumulation pour les écoulements,
- la flow accumulation modifiée (multi direction) en intégrant la voirie comme réseau,
- la carte des pentes,
- l'occupation des sols (zones bâties, zones non bâties – dont font parties les routes - , zones agricoles, etc.),
- la continuité du bâti (le bâti continu crée une contrainte à l'écoulement, les murs de limites de parcelles également),

Ces indicateurs vont permettre de dresser une cartographie du réseau d'écoulement réel, qui sera ensuite utilisée pour la modélisation.

En croisant ces informations avec les zones de stockage théoriques, les zones déjà inondées, les informations recueillies sur le terrain, il est possible de proposer une cartographie de fonctionnement hydraulique du territoire, comme peut l'être une carte morphologique d'une vallée (annexé au livrable 2.2.b).

Les remblais y sont indiqués et leur rôle affiné. Ce travail ne peut se substituer à la modélisation hydraulique proposée, mais il permettra de caler le modèle, de cibler les zones sur lesquelles des attentions particulières devront être posées, et de corroborer les résultats des simulations.

4.2 Modélisation 2D

4.2.1 Justification

L'approche bidimensionnelle étendue à l'échelle du bassin versant dans son entier est particulièrement bien adaptée à la fois au contexte géographique local (topographie très peu marquée dans l'ouest rural du bassin versant et îlots urbains concentrés sur les buttes du secteur est) et aux représentations cartographiques qui constitueront un outil de travail et de communication essentiel dans le cadre du PPRi ruissellement.

Une des flexibilités premières de l'approche bidimensionnelle est de pouvoir ajuster la finesse du maillage afin de représenter au mieux la dynamique des écoulements en fonction des enjeux et de l'occupation des sols. Ainsi :

- Dans les zones urbaines, le maillage est affiné afin de représenter de manière précise la répartition des flux dans les rues, qui constituent des axes d'écoulement préférentiels. A cet égard, tous les obstacles à l'écoulement peuvent être pris en compte dans la création du maillage de calcul. L'intégration des limites des parcelles cadastrales bâties en tant qu'obstacles dans le modèle permet à la fois de laisser filtrer une partie des apports tout en concentrant les flux dans les rues au niveau desquelles le maillage pourra rendre compte d'une direction d'écoulement préférentielle, au sein par exemple d'un carrefour.
- Dans les zones rurales, les zones non bâties sont représentées par des mailles de calcul plus larges, qui assurent le même rôle de production et de transmission des écoulements que les mailles fines mais avec une précision moindre. Néanmoins, la précision du modèle sera affinée au droit des habitations et bâtiments situés en fond de talweg afin de rendre compte de la dynamique des écoulements au droit du croisement entre le talweg, zone naturelle de transfert des eaux en cas d'orage, et la zone urbanisée, qui constitue un obstacle artificiel.

4.2.2 Format, exploitation et validation des résultats de modélisation

En termes de résultats, il est important de noter qu'avec l'approche bidimensionnelle, on a accès en tout point aux hauteurs d'eau et aux vitesses qui croisées définissent l'aléa.

Un premier travail consistera à fixer une borne inférieure en termes de niveau d'eau qui servira de limite pour la définition d'une zone d'inondation. En effet, dans le cadre d'un phénomène de ruissellement, l'eau va s'écouler sur tout le bassin versant avec parfois une hauteur d'eau très faible. Il convient donc de fixer une hauteur d'eau minimale pour laquelle on parlera d'inondation.

La finesse de l'approche dimensionnelle permet de produire des cartes d'aléas très précises, « à la parcelle ». Au vu des enjeux fonciers qui peuvent découler de l'application d'un PPR, cette méthodologie est entièrement adaptée à cette exigence de précision.

Notons néanmoins que la précision de la délimitation des zones d'aléa dépend de la précision du

MNT utilisé pour réaliser les simulations.

4.3 Prise en compte des réseaux d'assainissement

Le paragraphe précédent traitant de la modélisation des écoulements de surface, se pose également la question de l'intégration des réseaux d'assainissement dans le processus de définition des aléas. En effet, le rôle de ces réseaux est d'évacuer une partie des apports de temps de pluie afin de limiter le ruissellement et in fine d'éviter des dégâts liés aux inondations.

Deux pistes ont été envisagées initialement puis finalement écartées pour la prise en compte des réseaux d'assainissement dans la détermination de l'aléa, sachant que LMCU dispose d'un modèle de ses réseaux d'assainissement sur la zone d'étude :

- Intégration complète du réseau d'assainissement de la LMCU dans un modèle couplé 1D-2D. Cette méthode impliquerait la prise en compte d'une interception totale des écoulements par les réseaux (injection d'un bassin versant dans un nœud du modèle) et la génération de points de débordements aux endroits de saturation du réseau, les eaux débordées s'écoulant alors sur le terrain naturel avant réintégration dans le réseau. Le modèle 2D servirait alors uniquement pour calculer les zones de transfert et d'accumulation. Cette méthode ne s'avère par conséquent pas compatible avec les objectifs du PPRI de détermination des zones de production et de transfert, seules les zones d'accumulation seraient déterminées. De plus, elle ne permettrait pas d'homogénéiser la production des résultats à l'échelle de la zone d'étude, les zones de production étant gérés par le modèle 2D dans le secteur rural par l'intermédiaire de l'application directe de la pluie sur le modèle de surface. **Cette piste n'est donc pas proposée pour la suite de l'étude ;**
- Utilisation du modèle de réseau d'assainissement de la LMCU pour générer les écoulements dans les réseaux et intégration des volumes débordés dans des « sources » du modèle de surface (injection des hydrogrammes de débordements du modèle de réseau dans le modèle de surface). Cette méthode présente l'inconvénient majeur de la gestion des zones de production afin d'éviter la double comptabilisation des volumes ruisselés produits dans le modèle de réseau et dans le modèle de surface. Il faudrait en effet déterminer au préalable la part des eaux de ruissellement rejoignant le réseau (et donc intégrées au modèle de réseau) et celle demeurant sur le terrain naturel (et donc intégrées au modèle de surface). Cette détermination préalable au calcul fausserait alors les résultats des deux modèles. **Cette piste n'est donc pas proposée pour la suite de l'étude ;**

Une autre approche envisagée consisterait à utiliser des modèles de ruissellement à coefficient d'imperméabilisation variable, plus important en début de simulation, permettant de prendre en compte une capacité de récupération initiale du réseau d'assainissement, et l'épuisement de cette capacité au fur et à mesure de l'avancée de l'épisode orageux, lorsque le réseau sature peu à peu. **Cette approche n'inclut pas la réalisation d'une modélisation numérique des écoulements en réseau mais se borne à l'analyse de résultats de simulations transmis par LMCU.** A cet effet, le service modélisation de LMCU (G. GERY) a été contacté pour l'obtention de données du modèle

existant (structure, résultats de simulations etc...) et une analyse de sensibilité sur le comportement du réseau pour les événements historiques de référence considérés (ces éléments font partie des données complémentaires définies dans le livrable 2.2.a)

Ces résultats de simulation seront également analysés pour identifier un éventuel impact d'une condition aval défavorable imposée par la Lys en situation de crue sur l'évacuation des eaux transitées par les réseaux, et reporter cet impact, si les résultats montrent qu'il est significatif, sur les apports calculés en ajustant les coefficients d'imperméabilisation et de pertes initiales.

Néanmoins, compte-tenu du caractère exceptionnel de la pluie de référence (a minima centennale) et de la période retour inférieure de la pluie ayant servi au dimensionnement des réseaux, en général comprise entre dix et trente ans, et sous réserve des résultats de simulations qui nous seront transmis par LMCU, la non prise en compte du réseau d'assainissement souterrain nous apparaît comme étant l'approche la plus pertinente à mettre en œuvre et la plus adaptée par rapport à l'objectif du PPRI ruissellement.

En effet, pour la pluie de référence, les réseaux d'assainissement seront complètement saturés peu après le début de la pluie et ne permettront pas l'évacuation des eaux au moment du pic de la pluie, génératrice des inondations. Ainsi, tous les zones de production, de transfert et d'accumulation seront gérées uniquement par le modèle de surface.

Le réseau de drainage principal de surface sera cependant intégré au modèle (becque de Neuville et ses affluents). Les données topographiques mises à notre dispositions par LMCU et le SIABNA sont décrites finement dans le livrable 2.2.a

4.4 Détermination des événements de référence

Selon la doctrine PPRi, l'événement de référence est l'événement a minima centennal. Sous réserve de l'identification d'un événement pluvieux réel sur la zone d'étude dont la période de retour est supérieure à cent ans, un événement théorique de période de retour centennal est donc utilisé pour la détermination de l'aléa.

Ce chapitre porte sur la méthode appliquée pour déterminer l'événement pluvieux de référence.

4.4.1 Première analyse des événements pluvieux recensés par la DDTM

La DDTM a déjà effectué un travail de recherche des événements pluvieux ayant engendré des inondations. Ce travail est présenté dans un tableau d'évaluation de la période de retour de ces événements pluvieux calculée pour les pluviographes de Lille Métropole Communauté Urbaine (LMCU), qui dispose d'un réseau de pluviographes étendu sur son territoire.

| | Nom du site | 06 06 1998 | 01 08 1998 | 26 06 1999 | 07 07 1999 | 14 08 1999 | 27 07 2000 | 29 07 2000 | 15 09 2000 | 2 et 3 12 2000 | 27 06 2001 | 14 06 2002 | 20 08 2002 | 04 07 2005 | 10 09 2005 | |
|--------------|-------------------|---------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----|
| LMCU | Comines | 16 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | NC | NC | |
| | Emmerin | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | 15 | NC | NC | < 5 | < 5 | > 100 (30) | NC | |
| | Fâches-Thumesnil | 9 | NC | < 5 | < 5 | NC | < 5 | < 5 | < 5 | > 100 | NC | < 5 | < 5 | 100 (> 100) | NC | |
| | Forest-sur-Marque | < 5 | 13 | NC | 17 | < 5 | 7 | 11 | < 5 | 7 | < 5 | NC | NC | 50-100 (41) | NC | |
| | Fournes-en-Weppes | 5 | 19 | NC | < 5 | < 5 | NC | NC | 17 | NC | < 5 | 6 | NC | 25 (3) | NC | |
| | Fretin | NC | NC | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | 12 | < 5 | < 5 | < 5 | 37 | NC | NC | |
| | Grimonpont | 6 | NC | < 5 | < 5 | 53 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | 12 | 22 | 50 (21) | NC | |
| | Halluin | 25 | NC | < 5 | < 5 | NC | < 5 | < 5 | 8 | 12 | < 5 | < 5 | 11 | > 100 (10) | > 100 | |
| | Houplines | 14 | < 5 | < 5 | 11 | 28 | < 5 | < 5 | < 5 | 8 | < 5 | < 5 | < 5 | > 100 (> 100) | NC | |
| | Jouhaux | < 5 | > 100 | 8 | NC | < 5 | 12 | < 5 | < 5 | NC | < 5 | < 5 | < 5 | > 100 (54) | NC | |
| | Lezennes | NC | NC | NC | NC | NC | 36 | 7 | 14 | > 100 | < 5 | < 5 | < 5 | 100 (> 100) | NC | |
| | Linselles | 24 | < 5 | < 5 | 25 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | NC | < 5 | < 5 | 8 | 75 (6) | NC | |
| | Lomme | NC | NC | < 5 | < 5 | < 5 | 12 | < 5 | < 5 | 29 | < 5 | < 5 | < 5 | 50-100 (9) | NC | |
| | Marquette | NC | < 5 | < 5 | < 5 | 21 | 5 | < 5 | < 5 | > 100 | < 5 | 6 | < 5 | NC | NC | |
| | Motivaux | < 5 | NC | < 5 | 14 | 43 | < 5 | < 5 | 6 | > 100 | < 5 | < 5 | < 5 | > 100 (31) | NC | |
| | Pilaterie | 24 | NC | < 5 | > 100 | 8 | < 5 | < 5 | 14 | > 100 | < 5 | < 5 | < 5 | > 100 (98) | NC | |
| | Prémesques | < 5 | 23 | < 5 | 20 | < 5 | < 5 | < 5 | 16 | 17 | < 5 | NC | NC | > 100 (28) | NC | |
| | Quesnoy-sur-Deûle | NC | NC | NC | NC | 7 | < 5 | < 5 | < 5 | 6 | < 5 | < 5 | < 5 | 15 (5) | NC | |
| | Salomé | < 5 | < 5 | < 5 | NC | < 5 | < 5 | NC | NC | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | 40 (9) | NC | |
| | Seclin | < 5 | < 5 | 14 | < 5 | < 5 | < 5 | 5 | 10 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | > 100 (> 100) | NC | |
| | SEN | Gondecourt | NC | NC | NC | NC | NC | NC | 30 | NC | > 100 | NC | NC | NC | NC | NC |
| | | Camphin - Phalempin | NC | NC | NC | NC | NC | NC | NC | NC | NC | NC | NC | NC | > 100 | NC |
| | SOS Marque | Tourmignies | NC | NC | NC | NC | NC | NC | NC | NC | NC | NC | NC | NC | > 100 | NC |
| Avelin | | NC | NC | NC | NC | NC | NC | NC | NC | NC | NC | NC | NC | > 100 | NC | |
| Pont-à-Marcq | | NC | NC | NC | NC | NC | NC | NC | NC | NC | NC | NC | NC | 90 | NC | |
| Ennevelin | | NC | NC | NC | NC | NC | NC | NC | NC | NC | NC | NC | NC | > 100 | NC | |

période de retour maximale du pluviomètre
 Entre parenthèses: période de retour maximale calculée par LMCU
 NC: Non Calculé

Tableau 1: Période de retour des différents événements pluvieux ayant engendré des inondations (source : DDTM59)

T

Il ressort de l'analyse de ce tableau les éléments suivants :

- L'événement du 04/07/2005 a une période de retour maximale plus que centennale pour la majorité des pluviographes, dont celui d'Halluin situé au sein du bassin versant d'étude. Toutefois, la période de retour calculée par LMCU correspondant à une durée intense de 15 minutes est de 10 ans pour le pluviographe d'Halluin.
- L'événement du 02-03/12/2000 a une période de retour maximale plus que centennale, mais pour des pluviographes situés aux alentours de la zone d'étude seulement, comme

Mouvoux.

Ces premiers éléments, bien qu'intéressants et identifiant quelque épisodes singuliers, ne sont pas suffisants et ne décrivent pas la dynamique des événements pluvieux et leur contexte de survenu.

Ces résultats ont donc été consolidés dans le cadre de la présente phase en analysant les données des pluviographes LMCU au sein et aux alentours de la zone d'étude, sur une période étendue entre 1994 et 2011.

Pour rappel, nous recherchons un événements pluvieux plus que centennal, qui a donc dû engendrer des dysfonctionnements hydrauliques (inondations, coulées de boues...). L'information historique collectée durant cette phase nous permet ainsi de fiabiliser les événements échantillonnés dans le cadre du traitement statistique des pluies dont la méthodologie est décrite ci après (la confrontation des données historiques et pluviométriques est détaillée dans le livrable 2.2.a).

Cette analyse porte plus particulièrement sur le calcul des périodes de retour des événements pluvieux identifiés durant la période d'étude pour déterminer s'ils peuvent être pris comme référence.

4.4.2 Traitement des données pluviométriques

Afin de consolider les analyses préliminaires antérieures sur les événements pluvieux, réalisées notamment par LMCU, et de déterminer si un événement d'occurrence a minima « centennale » existerait entre 1994 et 2012 et pourrait être utilisable directement dans le cadre de la modélisation de l'aléa de référence pendant la phase 3, les données brutes de cinq pluviographes LMCU ont été compilés à l'aide du logiciel EVE'm, développé par la société SIGT du groupe PROLOG INGENIERIE. Ce logiciel permet la validation de mesures pluviométriques, débitmétriques (hauteurs d'eau, vitesses et débits) et qualitatives (concentrations, flux masses de polluants).

Nous avons récupéré auprès de LMCU les lames d'eau précipitées mesurées par les pluviographes de Linselles, Halluin et Comines d'une part, et Mouvoux et Quesnoy-sur-Deûle d'autre part, situés respectivement au sein et aux alentours de la zone d'étude. Ces pluviographes sont localisés sur la figure ci-après :



Illustration 10: Localisation des pluviographes de LMCU au sein et aux alentours de la zone d'étude

D'après LMCU, quatre périodes sont à distinguer :

- avant 1994 : les pluviographes n'étaient pas installés, les données ne sont donc pas disponibles ;
- entre 1994 et 1998 : les pluviographes installés en 1994, à savoir Linselles, Halluin et Comines , sont des pluviographes à augets basculants, les données sont stockées au format informatique dans des fichiers .txt tous les mois ;
- entre 1998 et 2007 : les pluviographes à augets basculants ont été remplacés par des pluviographes à pesée, les pluviographes de Mouvaux et Quesnoy-sur-Deûle ont été installés, les données sont toujours stockées au format informatique dans des fichiers .txt tous les mois ;
- depuis 2007 : une base de donnée a été créée, regroupant et stockant les données de tous les pluviographes, des extractions au format tableur (Excel) sont possibles.

Pour les fichiers au format .txt, une étape de compilation des données dans un fichier unique a été nécessaire avant leur traitement.

4.4.3 Méthodologie d'échantillonnage des événements pluvieux exceptionnels

La traitement des données sous EVE'M se décompose en deux étapes:

- **Import, nettoyage et validation des données** : suppression des pics aberrants liés à un dysfonctionnement des pluviographes. Cette phase de validation s'appuie sur une analyse visuelle des chroniques, mais également sur une comparaison du comportement des cinq stations et sur les données transmises par LMCU sur les périodes d'indisponibilités des pluviographes.

La figure ci-après montre un exemple sous forme graphique de données brutes (en rouge) et de données validées (en bleu) déjà intégrées EVE'm (pluviographe de Halluin). Le pic du 07/10 00h00 a été supprimé car il est clairement aberrant et ne correspond pas à un événement pluvieux.

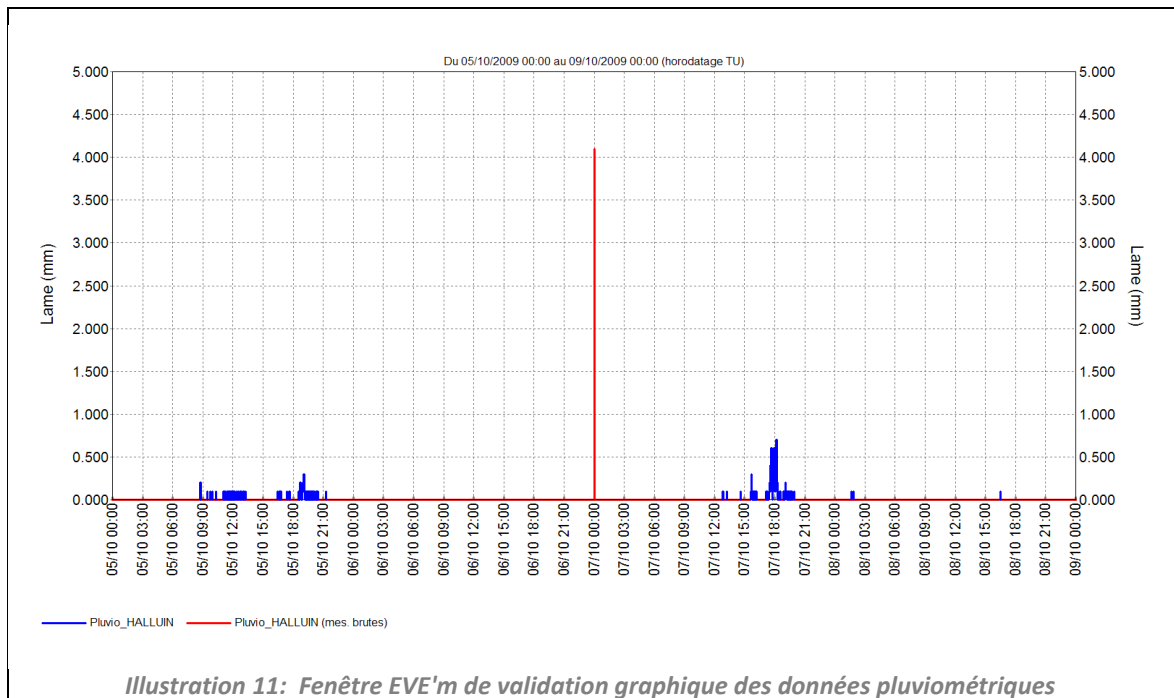


Illustration 11: Fenêtre EVE'm de validation graphique des données pluviométriques

Cette validation permettra de faciliter la recherche des événements pluvieux à faire par la suite.

- **Échantillonnage** : trois critères ont été retenus afin d'isoler les événements qui pourraient se rapprocher de l'événement centennal selon la méthode dite de « recherche d'une lame d'eau minimale sur une durée minimale » :
 - une durée de pluie minimale de **15 minutes**, cette durée correspondant au temps de concentration minimal des bassins versants urbains de la zone d'étude (on considère que les pluies de durées inférieures n'engendreront pas de dysfonctionnements) ;
 - une durée inter pluie de 4 heures permettant une bonne identification des événements orageux générateurs d'inondations ; au besoin, les événements pluvieux longs séparés lors du traitement seront regroupés postérieurement au sein d'un même événement ;
 - une hauteur de pluie minimale correspondant à la lame d'eau obtenue pour une pluie cinquantennale de durée 15 minutes d'après les statistiques de Météo France au poste Lille-Lesquin, soit 27,5 mm. Ce seuil permet de ne retenir que les événements exceptionnels et d'être dans le même temps sûr de ne pas rejeter par accident un événement centennal en fixant un critère légèrement inférieur (T = 50 ans).

Illustration 12: Fenêtre EVE'm d'analyse des événements pluvieux – Lame d'eau minimale sur durée minimale

- **Hierarchisation des événements** : pour chacun des événements identifié, est ensuite calculée l'intensité pluviométrique moyenne sur différentes durées d'observations (de 15 min à 4 j).

Les durées d'observations intéressant notre étude sont les suivants :

- de 15 minutes à 2h en fonction du temps de concentration des bassins versants urbains, au ruissellement rapide ;
- de 2h à plusieurs jours en fonction du temps de concentration des bassins versants ruraux, au ruissellement plus lent.

La comparaison de cette valeur d'intensité aux statistiques METEO-FRANCE de la station pluviométrique de Lille-Lesquin permet d'associer une période de retour à l'événement, pour chaque durée d'observation.

Un exemple de résultat de calcul effectué avec EVE'm est présenté sur la figure ci-après.

| Critères: | | | | | | | | | |
|------------------------------|------------------|--|-----------------------|------------------------|--------------------------|---|------------------|-------------|------------------|
| Début: | | 01/06/1994 00:00 | | | | | | | |
| Fin: | | 01/01/2012 00:00 | | | | | | | |
| Durée mini d'une pluie: | | 15 min | | | | | | | |
| Durée mini entre 2 pluies: | | 240 min | | | | | | | |
| Hauteur mini d'une pluie: | | 25.0 mm | | | | | | | |
| Calcul Montana: | | Non | | | | | | | |
| Calcul Grisollet: | | Non | | | | | | | |
| Pluvio LMCU - Pluvio COMINES | | | | | | | | | |
| Évènement pluvieux | | | | | | | | | |
| Début | Fin | Durée période temps sec précédant la pluie (h) | Durée de la pluie (h) | Lame d'eau totale (mm) | Intensité moyenne (mm/h) | Intensité Maximale (mm/h) et périodes de retour | | | |
| | | | | | | 15 min | | 30 min | |
| | | | | | | Imax (mm/h) | Date | Imax (mm/h) | Date |
| 05/02/1995 03:39 | 05/02/1995 23:07 | 5979.65 | 19.47 | 25.0 | 1.3 | 14.8 | 05/02/1995 22:24 | 10.4 | 05/02/1995 22:13 |
| 11/01/1996 13:21 | 11/01/1996 18:01 | 8150.23 | 4.67 | 26.6 | 5.7 | 70.4 | 11/01/1996 13:21 | 35.2 | 11/01/1996 13:21 |
| 02/05/1996 11:09 | 03/05/1996 19:07 | 2681.13 | 31.97 | 36.6 | 1.1 | 8.4 | 03/05/1996 04:54 | 8.4 | 03/05/1996 04:01 |
| 29/08/1996 03:09 | 30/08/1996 11:01 | 2816.03 | 31.87 | 62.2 | 2.0 | 7.6 | 29/08/1996 07:09 | 7.2 | 29/08/1996 07:09 |
| 06/06/1998 03:33 | 06/06/1998 06:37 | 15472.53 | 3.07 | 28.4 | 9.3 | 81.2 | 06/06/1998 04:33 | 50.4 | 06/06/1998 04:33 |
| 31/10/1998 08:39 | 01/11/1998 05:07 | 3530.03 | 20.47 | 26.6 | 1.3 | 5.6 | 31/10/1998 22:24 | 4.4 | 31/10/1998 16:43 |
| 02/11/1998 16:57 | 04/11/1998 11:37 | 35.83 | 42.67 | 32.0 | 0.8 | 8.0 | 02/11/1998 20:12 | 5.6 | 02/11/1998 20:01 |
| 15/11/1998 03:27 | 16/11/1998 09:31 | 255.83 | 30.07 | 26.6 | 0.9 | 10.0 | 16/11/1998 05:27 | 8.4 | 16/11/1998 05:27 |
| 19/05/1999 13:33 | 20/05/1999 08:37 | 4420.03 | 19.07 | 36.8 | 1.9 | 16.8 | 20/05/1999 04:03 | 13.6 | 20/05/1999 06:13 |
| 16/10/2000 04:00 | 16/10/2000 21:54 | 12355.38 | 17.90 | 30.9 | 1.7 | 10.0 | 16/10/2000 13:19 | 8.8 | 16/10/2000 13:15 |
| 16/09/2001 12:49 | 18/09/2001 00:46 | 8030.92 | 35.95 | 52.8 | 1.5 | 26.0 | 17/09/2001 13:42 | 17.8 | 17/09/2001 13:31 |
| 19/09/2001 05:02 | 20/09/2001 07:41 | 28.27 | 26.65 | 30.3 | 1.1 | 9.2 | 19/09/2001 10:38 | 7.0 | 19/09/2001 10:43 |
| 23/12/2001 11:36 | 25/12/2001 15:13 | 2259.92 | 51.62 | 62.8 | 1.2 | 84.0 | 23/12/2001 14:21 | 42.0 | 23/12/2001 14:06 |
| 26/01/2002 14:40 | 27/01/2002 16:10 | 767.45 | 25.50 | 25.4 | 1.0 | 4.4 | 27/01/2002 02:30 | 3.4 | 27/01/2002 02:21 |
| 28/02/2002 01:35 | 01/03/2002 06:41 | 753.42 | 29.10 | 26.8 | 0.9 | 9.2 | 28/02/2002 06:18 | 8.2 | 28/02/2002 06:17 |
| 29/12/2002 04:35 | 30/12/2002 18:56 | 7269.90 | 38.35 | 27.5 | 0.7 | 4.8 | 30/12/2002 11:16 | 3.6 | 30/12/2002 11:05 |
| 01/01/2003 02:29 | 03/01/2003 15:50 | 31.55 | 61.35 | 32.3 | 0.5 | 8.0 | 03/01/2003 02:35 | 4.8 | 03/01/2003 02:23 |
| 04/01/2003 04:27 | 05/01/2003 06:01 | 12.62 | 25.57 | 28.0 | 1.1 | 28.0 | 05/01/2003 00:11 | 22.0 | 04/01/2003 23:57 |
| 08/01/2003 05:19 | 09/01/2003 09:01 | 71.30 | 27.70 | 63.7 | 2.3 | 22.8 | 08/01/2003 16:16 | 21.8 | 08/01/2003 15:57 |
| 09/01/2003 13:23 | 10/01/2003 02:08 | 4.37 | 12.75 | 53.7 | 4.2 | 54.8 | 09/01/2003 14:28 | 45.6 | 09/01/2003 14:28 |

Illustration 13: Exemple de calculs des événements pluvieux sous EVE'm

4.4.4 Les événements pluvieux exceptionnels identifiés

L'échantillonnage des événements sous EVE'M a permis d'identifier plusieurs épisodes présentant une période de retour centennale (d'après les statistiques de la station METEO-FRABCE de Lille-Lesquin). Ces épisodes ont ensuite été mis en relation avec l'information historique (CatNat), les résultats des analyses et études antérieures (CETE, LMCU) et la donnée géographique.

Plusieurs critères additionnels ont été définis afin de s'assurer de la représentativité d'une pluie en vue de la phase 3 :

- l'épisode pluvieux ne doit pas être trop localisé et doit être « détecté » sur plusieurs stations ;
- Si un doute sur la validité des données existe, l'événement n'a pas été retenu. Ainsi, toute une série d'événements pluvieux intenses, potentiellement centennaux, entre le 4 et le 12 janvier 2003, n'ont pas été pris en compte de part :
 - l'absence d'inondations historiques et d'arrêtés CatNat pour cette période, ainsi que

d'informations dans les études antérieures ;

- l'absence de données sur cette période dans les fichiers de traitement postérieurs fournis par LMCU.

Sur la base de cette analyse préalable et de la confrontation des différentes sources (livrable 2.2.a), on peut identifier 7 événements pluvieux principaux, synthétisés dans le tableau ci-dessous, avec les périodes de retour maximales reconstituées à partir des cumuls EVE'M et des statistiques METEO-FRANCE (entre parenthèses est indiquée la durée intense correspondante à la période de retour maximale) :

| PLUVIOMETRE | Linselles | Comines | Halluin | Quesnoy | Mouvaux |
|-------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------|---------------------------|
| 29/08/1996 | 100 ans (1j) | 20 ans (1j) | 100 ans (1j) | X | X |
| 06/06/1998 | 30-50 ans (15 et 30 min) | 10-20 ans (15 et 30 min) | 30-50 ans (15 et 30 min) | X | X |
| 07/07/1999 | X | X | X | X | 10-20 ans (1 et 2 h) |
| 14/08/1999 | X | X | X | X | 30-50 ans (30 min et 1 h) |
| 02/12/2000 | X | X | X | X | X |
| 04/07/2005 | 100 ans (12 h) | X | 100 ans (12 h) | 10-20 ans (12h) | 100 ans (6 et 12 h) |
| 10/09/2005 | X | X | 100 ans (1 à 6h) | X | X |

Tableau 2: Inventaire des épisodes pluvieux exceptionnels

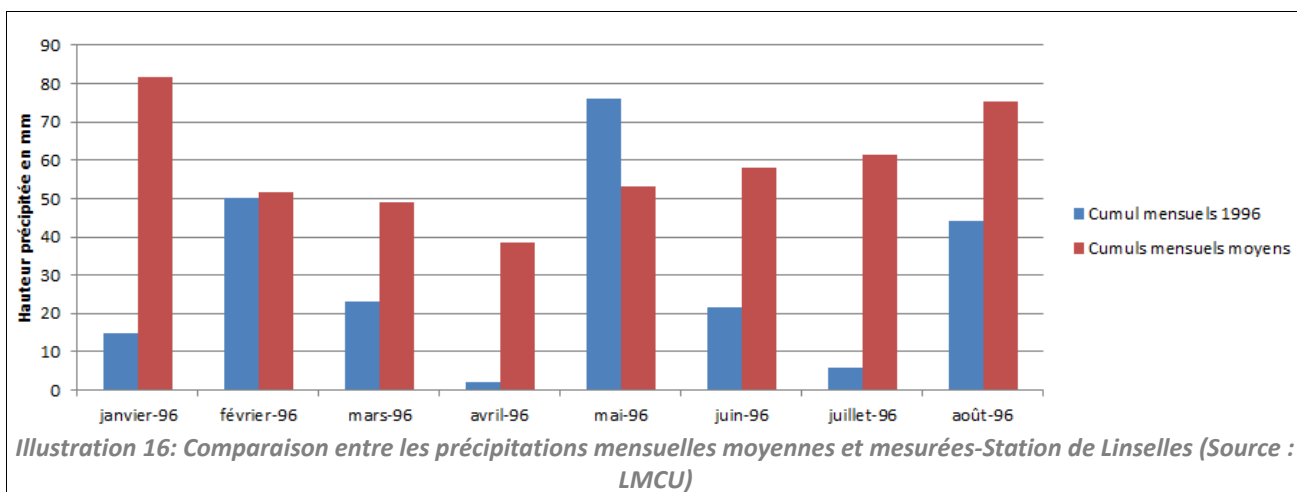
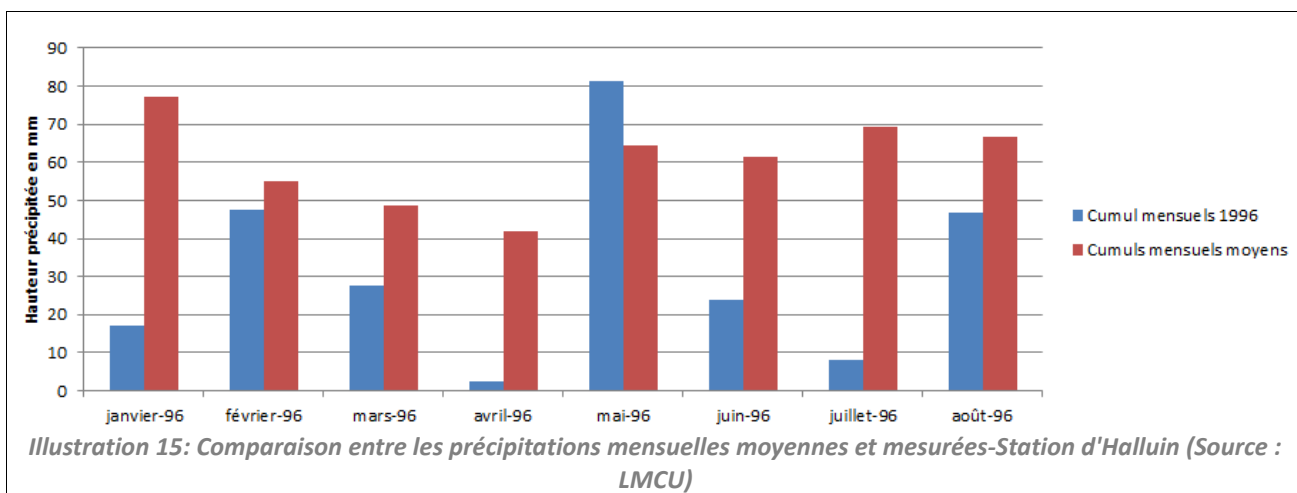
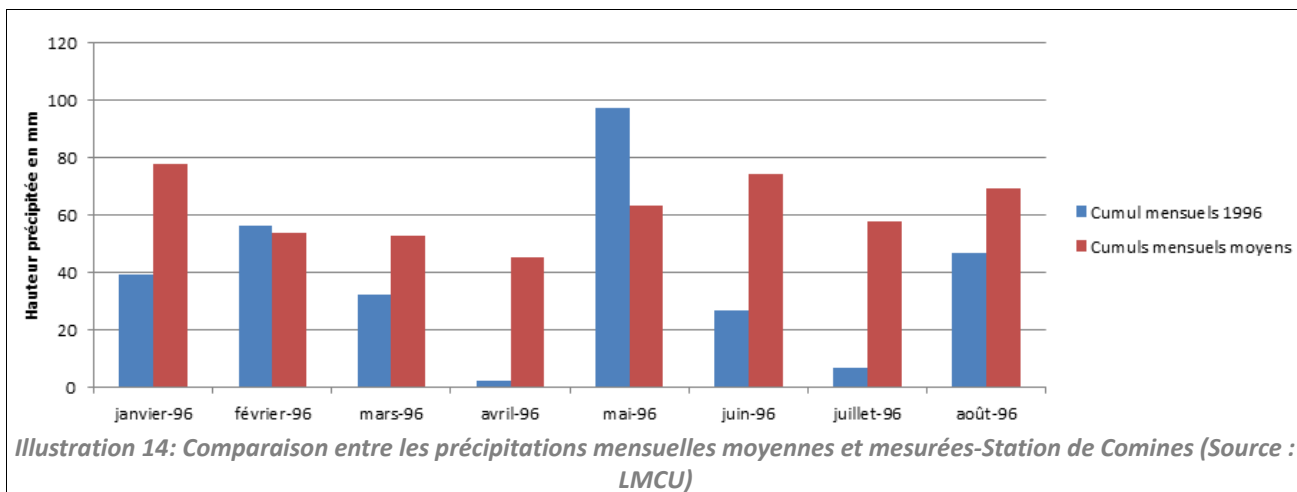
Épisode du 29/08/1996 :

D'après l'analyse réalisée, cette pluie aurait une période de retour centennale à Linselles et Halluin sur une durée intense de 1 heure. Cet événement est relativement homogène à l'échelle du bassin versant puisque la station de Comines a également enregistré des précipitations importantes mais moins intenses (T = 20 ans sur 1 heure) pour la même période.

En termes de cumul, ces trois stations ont enregistré en moyenne entre 60 et 70 mm de précipitations sur une trentaine d'heures.

Plusieurs limitations sont néanmoins à signaler concernant cet événement :

- Aucun témoignage d'inondations ou d'arrêté de catastrophe naturelle n'est recensé à cette date malgré l'intensité mesurée de cet épisode.
- L'analyse du régime pluviométrique des 6 mois précédant l'événement permet d'observer) :
 - un déficit moyen des précipitations mensuelles très important (entre 35 et 50 %) par rapport aux valeurs moyennes.
 - durant les mois de juin et juillet 1996, les cumuls sont jusqu'à 4 fois inférieurs aux cumuls moyens mensuels.



Les terrains étaient donc très sec et non saturés au moment de l'événement d'où une capacité d'infiltration potentiellement importante qui pourrait expliquer que les phénomènes de ruissellement soient restés limités.

- L'épisode est centennale sur une durée intense de 1 heure et s'étend sur plus d'un jour, il ne réunit donc pas les conditions les plus pénalisantes en termes d'aléa, à savoir un épisode très intenses sur une durée courte (par exemple centennale sur 15 min).

Ainsi, au vu des limitations listées ci-dessus, et dans la mesure où aucune donnée historique à ce jour ne pourrait permettre de caler une simulation de cet événement à l'aide du modèle hydraulique, il est exclu d'utiliser cette pluie dans le cadre de l'élaboration des cartes d'aléas de référence du PPRI. A ce stade de l'analyse, il n'est cependant pas exclu de l'exploiter dans le cadre d'une analyse de sensibilité des paramètres d'infiltration initiaux du modèle.

Épisode du 06/06/1998 :

Un arrêté de catastrophe naturelle « inondations » a été émis pour 9 communes sur les 11 que compte le bassin versant au total pour cet événement. L'exploitation des données LMCU montre une homogénéité des précipitations à l'échelle du bassin versant puisque les trois stations qui y sont implantées recensent un épisode intense sur une durée très courte : période de retour entre 30 et 50 ans à Halluin et Linselles et entre 10 et 20 ans à Comines.

S'il n'est pas centennal au sens où l'entend la doctrine PPRI et même si peu de témoignages fins des inondations ont été retrouvés, cet événement présente néanmoins plusieurs garanties dans le cadre d'une exploitation par le modèle en phase 3 :

- il est très intense (30-50 ans) sur une période très courte (15 à 30 min), situation qui génère les phénomènes de ruissellement les plus pénalisant en secteur urbain ;
- L'étude du régime hydrologique des 6 mois précédant l'événement montre (Cf. livrable 2.2.b) :
 - un déficit moyen de l'ordre de 20 % des précipitations mensuelles par rapport aux valeurs moyennes à Linselles et Comines
 - Un excédant moyen de précipitation de l'ordre de 5% à Halluin avec en mai 1998, un cumul supérieur de plus de 30 % à la valeur moyenne ;

Les conditions de saturation des sols sur les parties amont du bassin versant (Halluin) tendraient donc vers une limitation des possibilités d'infiltration et donc vers une prépondérance du ruissellement avec les conséquences que cela implique en termes de dommages.

La pluie du 06/06/1998 n'est pas centennale. Néanmoins, il est de notre point de vue intéressant de l'utiliser dans le cadre de la modélisation hydraulique afin de caler les paramètres du modèle à partir des informations historiques recensées. Son caractère intense (T = 30 à 50 ans) sur une faible durée (15 à 30 min) est également particulièrement pénalisant et il sera donc intéressant de comparer les résultats en termes d'emprises des zones inondables, entre cette pluie et une pluie centennale à dynamique plus longue (par exemple centennale sur 1 heure).

Épisode du 04/07/2005 :

La pluie du 04/07/2005 s'avère être l'événement réel qui se rapproche le plus de l'événement centennal de référence avec un cumul total de l'ordre de 70 mm sur certaines parties du bassin versant. L'analyse des données LMCU montre en effet une occurrence centennale sur des durées de l'ordre de 6 à 12 heures à Mouvaux, Linselles et Halluin. Il s'agit de plus d'un événement généralisé identifié également à Quesnoy-sur-Deûle (T = 10-20 ans sur 12 h). **Les précédentes études et analyses soulignent toutes le caractère exceptionnel et global** de cette pluie pour laquelle on dispose de données historiques relativement fournies et fiables.

L'étude des conditions pluviométriques durant les 6 mois précédant cette pluie montre (cf. annexe 3) :

- des cumuls mensuels en phase avec les valeurs moyennes à Linselles et Mouvaux
- un léger déficit à Halluin (13 %) et Quesnoy (20 %).

L'état de saturation des sols avant l'événement n'est donc pas spécialement défavorable même si l'on observe qu'excepté au mois de juin 2005, la période a été globalement humide.

Ainsi, le caractère global, dommageable et centennale de la pluie du 04/07/2005, nous amène à proposer la modélisation de cet événement et de potentiellement le retenir, à l'issue d'une analyse de sensibilité réalisée en phase 3, comme aléa de référence.

Néanmoins, certains éléments amène à penser qu'il s'agit pas du cas le plus défavorable dans la mesure où :

- cet épisode est centennale sur une durée de 6 à 12 heures (pour une durée totale de l'ordre de 13 h) et n'est donc pas centennale sur des durées très courtes (15 à 30 min) ;
- les conditions de saturation des sols avant l'événement pourraient être plus pénalisantes.

Épisode du 10/09/2005 :

Centré uniquement sur le pluviomètre Halluin, au niveau duquel il est centennal sur des durées de 1 à 6 h, cet épisode n'est pas à même d'être utilisé pour représenter la réponse globale du bassin versant à un épisode pluvieux intense.

Il pourrait néanmoins être utilisé pour caler les paramètres du modèle en secteur urbanisé.

4.4.5 Choix de l'événement de référence

Le seul événement réel qui puisse raisonnablement faire office d'événement de référence est la pluie du 04/07/2005. Néanmoins, ses caractéristiques ne sont pas les plus pénalisantes d'un point de vue hydrologiques (T = 100 ans sur 6-12 h) .

Nous proposons donc de modéliser également en phase 3 également une pluie de projet, construite

sur la base des données statistiques de la station de Lille-Lesquin, qui soit centennale sur une courte durée (de 15 min à 1h) et représentative de la dynamique d'une pluie d'orage estivale.

A ce stade de l'analyse, nous envisageons de construire une pluie double triangle, de durée totale 4h et de durée intense variable entre 15 minutes et 1 heures, en fonction du temps de réponse du bassin versant. Un test de sensibilité sera réalisé en phase 3 pour déterminer la durée intense la plus pénalisante.

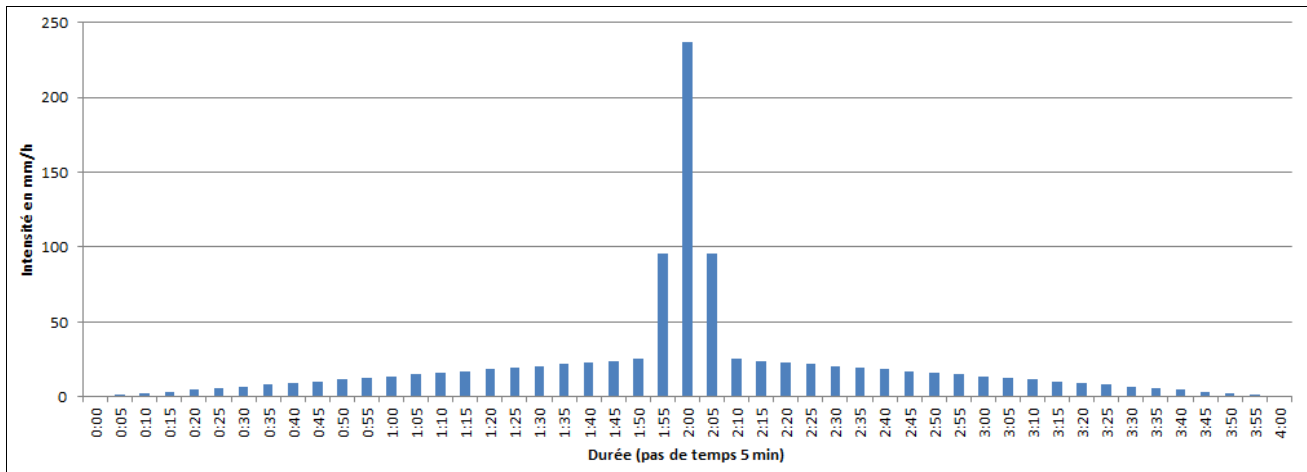


Illustration 17: Hiéogramme au pas de temps 5 min de la pluie de projet centennale sur une durée intense de 15 minutes (Source : statistiques Météo-France de la station de Lille-Lesquin)

Cette pluie de type orage estival est adaptée pour les bassins versants urbains au ruissellement rapide : terrains fortement imperméabilisés sans pouvoir de rétention et à ruissellement direct.

La comparaison des résultats de simulations entre la pluie réelle du 04/07/2005 et cette pluie de projet permettra de retenir l'événement le plus pénalisant qui constituera l'aléa de référence.

Les pluies du 28/09/1996, du 06/06/1998, 10/09/2005 et éventuellement du 20/07/2007 permettront également de caler le modèle hydraulique pour différents scénarios de saturation des sols et de vérifier l'adéquation entre les résultats numériques et les informations historiques, ce calage dépendant bien évidemment de l'exhaustivité des données récoltées à l'issue de la présente phase.

4.5 Pluviométrie utilisée pour la modélisation

Une fois l'événement pluvieux de référence choisi, celui-ci sera utilisé dans le modèle pour produire les cartes d'aléa.

On distingue deux cas : si la pluie de référence est une pluie réelle ou s'il s'agit d'une pluie de projet. Selon ces cas, l'intégration de la pluie de référence dans le modèle diffère.

4.5.1 Cas d'une pluie réelle prise comme référence

Dans le cas où la pluie de référence est une pluie réelle, typiquement la pluie du 4 juillet 2005 dans notre cas, pour laquelle la dynamique spatio-temporelle est à priori connue, deux possibilités existent pour son intégration dans le modèle :

- les données radar sont utilisées directement, sous réserve de leur bonne cohérence avec les données des pluviographes (comparaison de la pluviométrie mesurée par le pluviographe et de la pluviométrie radar sur les pixels avoisinant le pluviographe). Un test de sensibilité sera mené à partir des données radar de la station d'Avesnois afin de les comparer aux données radar de la station d'Abbeville et aux données des pluviomètres. **A ce stade, la position périphérique de la zone d'étude, par rapport au rayon d'action des deux stations radar, ne nous permet pas de conclure sur la fiabilité réelle des données radar qui, si elles peuvent être utilisées qualitativement, ne sont pas forcément pertinentes d'un point de vue quantitatif ;**
- la pluviométrie mesurée par un pluviographe est affectée à la zone la plus proche de ce pluviographe, soit par la construction d'une grille régulière avec des mailles carrée d'un kilomètre de côté et l'association d'une maille au pluviographe le plus proche, soit via un découpage en zones selon la méthode des polygones de Thiessen (détermination des zones d'influence des pluviographes par découpage géométrique : croisement des bissectrices entre les pluviographes voisins). **C'est cette approche qui en l'état de notre analyse, nous apparaît la plus appropriée dans la mesure où l'exploitation des données des pluviomètres locaux apporte une finesse importante dans la description dynamique de l'événement aussi bien d'un point de vue spatial que temporel. Des tests de sensibilités seront réalisés en phase 3 afin d'évaluer la meilleure approche entre un découpage par zone d'influence (Thiessen) ou une interpolation spatiale de type krigage.**

4.5.2 Cas d'une pluie de projet prise comme référence

Dans le cas où la pluie de référence est une pluie de projet, son intégration dans le modèle sera réalisée selon la méthodologie suivante :

la pluviométrie affectée au bassin versant dans son entier est la pluviométrie du pluviographe le plus pénalisant avec un coefficient d'abattement spatial permettant de distinguer les zones de

reliefs et les zones de plaines. L'analyse statistique de l'hétérogénéité des pluies décrite dans le livrable 2.2.a a en effet montré qu'en moyenne sur la période 1997-2005, les précipitations sont 25 % plus faibles (en termes de cumuls) sur les zones à topographie plane, à l'ouest du bassin versant, que sur les secteurs pentues à l'est (buttes de Ferrain, de Wervicq-sud et de Linselles).

Cette approche est intéressante dans la mesure où :

- elle est **sécuritaire** puisqu'elle reproduit la pluviométrie la plus pénalisante sur l'ensemble du bassin versant ;
- elle est **réaliste** puisqu'elle intègre un abattement spatialisé basé sur le comportement moyen de la pluviométrie du secteur.

Cela a pour effet de s'affranchir du caractère hétérogène de la pluie. On considère dès lors, qu'hormis la distinction faite entre les secteurs pentus et les secteurs de plaines, il n'existe pas de différence de climat au sein de la zone d'étude et la pluie tombant en un point du bassin versant peut très bien tomber avec la même intensité en tout autre point du bassin versant. Ce raisonnement est valable dans la mesure où le bassin versant de la zone d'étude est assez peu étendu (18 kilomètres d'est en ouest et 8 km du nord au sud) et le relief peu marqué (moins de 70 m entre le point le plus haut et le point le plus bas du bassin versant).

4.5.3 Synthèse

La figure page suivante rappelle la méthodologie qui sera implémentée durant la phase 3 afin de passer de la pluie brute, donnée d'entrée du modèle dont la qualité est déterminante pour assurer la représentativité des résultats qui seront produits en termes d'aléa, à la modélisation 2D des écoulements de surface. Rappelons qu'à ce stade, plusieurs pistes sont envisagées pour le traitement, l'intégration et la validation des données de pluies, pistes qui seront évaluées à travers différents tests de sensibilités pendant la phase 3.

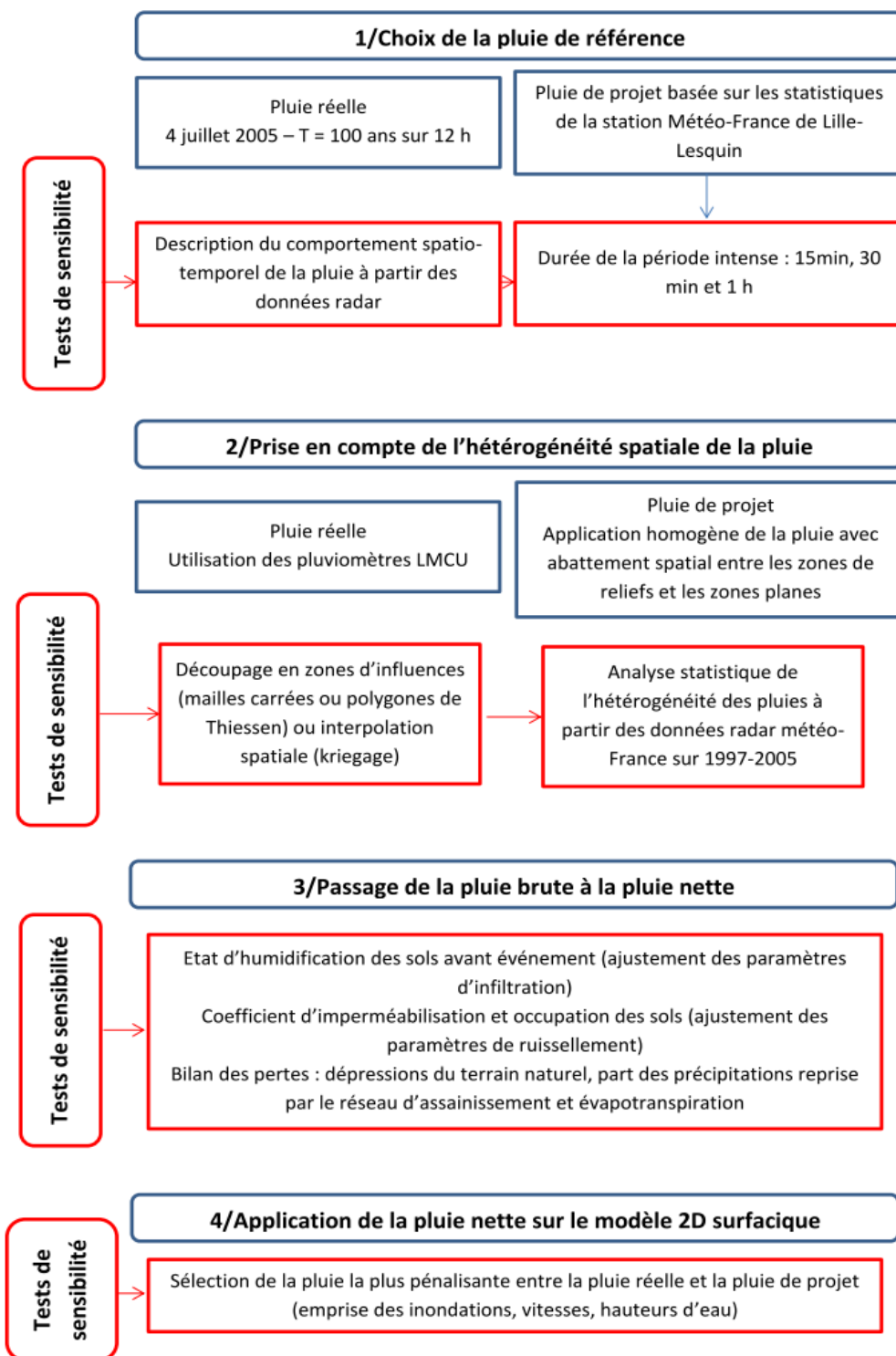


Illustration 18: Tests de sensibilité et analyse en vue de la phase 3

4.6 Validation du modèle mis en place

Le calage du modèle hydraulique en phase 3 ne pourra être réalisé classiquement (comme par exemple pour un débordement de cours d'eau) car on dispose de très peu de points de comparaisons quantifiés précisément. Ce calage sera donc à appréhender plus en termes qualitatifs, c'est à dire la vérification de l'adéquation géographique entre les zones de forts ruissellements simulés et la localisation des témoignages historiques. Des comparaisons plus précises pourront être réalisées entre les emprises inondées observées des becques et les emprises simulées.

Des pluies historiques survenues et caractérisées seront simulées pour vérifier le fonctionnement du modèle et les zones de débordement et également afin de caler les paramètres du modèle (notamment les pertes initiales à l'infiltration et les pertes continues en milieu rural) qui seront fortement dépendants des conditions de saturation des sols avant l'événement.

A ce stade, les pluies suivantes pourraient de manière exhaustive, être utilisées en vue du calage du modèle¹ :

- la pluie du 29 août 1996, qui n'a pas de dommages répertoriés ou portés à notre connaissance et qui pourrait donc à priori permettre de caler le modèle dans une configuration initiale de temps sec ;
- la pluie du 6 juillet 1998 ;
- la pluie du 14 juin 2002 ;
- la pluie du 10 septembre 2005, localisée sur Halluin et qui permettra donc un calage fin des paramètres du modèle en zone urbaine ;
- la pluie du 20 juillet 2007.

Notons que le calage du modèle hydraulique sur la partie ouest du bassin versant ne pourra être validé sur la base d'informations historiques, inexistantes à ce jour.

1 Seules 2 ou 3 pluies maximum maximum seront retenues en phase 3

Partie 5: Construction des cartes d'aléa

5.1 Les variables de l'aléa

La notion d'aléa inondation et ruissellement regroupe un certain nombre de caractéristiques qui vont engendrer un risque éventuel (en fonction des enjeux présents ou non) et des préjudices plus ou moins marqués :

- la hauteur atteinte par les eaux est la première variable de l'aléa, elle conditionne l'étendue des zones touchées et a des conséquences majeures en termes de dommages, de danger pour les populations et en termes d'intervention des secours. La nature même du phénomène de ruissellement nécessite de fixer une borne inférieure en termes de hauteurs d'eau au delà de laquelle on parlera d'inondation. Cette limite sera ajustée à partir des résultats de la modélisation bidimensionnelle ;
- La vitesse de l'écoulement constitue le deuxième facteur majeur de l'aléa, elle induit des détériorations supplémentaires (portes arrachées, cultures ravinées, véhicules déplacés, etc), des dangers pour les sinistrés (entraînement, noyade), des contraintes supplémentaires pour l'intervention des secours ;
- Enfin, la durée de submersion joue également un rôle important, on considère généralement que l'essentiel des dommages est atteint au bout de 2 jours. Restent ensuite les questions de relogement temporaire des sinistrés, de réapprovisionnement, etc, dont on comprend aisément qu'ils sont de plus en plus préjudiciables en fonction de la durée de retour à la normale. Dans le cas présent, les zones de ruissellement pures ne présentent pas de problèmes particuliers en termes de durée dans la mesure où une fois que l'événement pluvieux prend fin, les écoulements se tarissent d'eux même (avec néanmoins un léger décalage temporel par rapport à la fin de la pluie). Les zones qui posent problème sont les zones de stockage potentielles au pied des zones pentues ou situées derrière un remblai, pour lesquelles la durée de submersion est conditionnée par leur temps de vidange naturel ou artificiel (intervention des services de secours, pompes électriques, aspirateurs à eau, etc).

5.2 Le contexte local

La topographie du bassin versant est présentée au chapitre 2. Les points essentiels à retenir par rapport aux variables de l'aléa sont :

- Des aléas potentiels différents vont apparaître selon les secteurs en fonction des caractéristiques topographiques et urbanistiques, qui peuvent se résumer en des hauteurs d'eau élevées et des vitesses faibles dans les secteurs plats en partie ouest du bassin versant et inversement dans les secteurs pentus à l'est.
- Les secteurs urbanisés situés sur les buttes et les secteurs situés aux pieds de ces buttes

verront un renforcement de l'aléa avec respectivement des vitesses plus élevées dues à la concentration des écoulement et des hauteurs d'eau plus élevées du fait du blocage de l'écoulement par les remblais des routes principales.

5.3 Caractérisation des différents types d'aléas par zone

La modélisation sera mise en place sur la totalité du bassin versant, permettant de ne pas faire, au stade des calculs hydrauliques, d'hypothèses quant aux phénomènes en présence, et permettant, in fine, une cartographie de l'aléa sur la totalité des secteurs inondés.

On distinguera ensuite dans une carte de fonctionnement, trois types de zones, présentant des dynamiques de ruissellement différentes et donc pour lesquelles la définition de l'aléa ne répondra pas aux mêmes objectifs :

- **Zone de production (ou d'aggravation de l'aléa) :**

Ces zones correspondent aux points hauts topographiques du bassin versant et aux zones pentues au niveau desquelles l'eau, lorsqu'elle tombe, ne peut être stockée et donc ruisselle directement vers les points bas. Ces zones, sans être exposées au risque, sont finalement à l'origine du phénomène de ruissellement qui va se développer vers les parties basses du bassin versant et leurs étendues conditionnent donc l'ampleur des écoulements occasionnés et peuvent l'aggraver si l'urbanisation conduit à une augmentation de leur imperméabilisation.

Ces zones sont bornées aux secteurs où ni les écoulements, ni les accumulations ne sont formés, par conséquent les secteurs où le niveau d'eau calculé par la modélisation reste négligeable. La délimitation de ces zones se fera par une détection des points hauts et des secteurs à forte pentes sur le MNT, croisée avec une analyse des résultats issus de la modélisation bidimensionnelle (délimitation des secteurs où apparaissent des niveaux d'eau plus importants par exemple, signe que l'on passe d'une zone de production à une zone d'écoulement, où celui ci se concentre autour d'un axe d'écoulement topographique).

- **Zone d'écoulement :**

L'étude topographique du bassin versant permettra de définir les axes d'écoulements préférentiels naturels en cas d'orage (vallées, talwegs). Cette analyse sera complétée par la modélisation hydraulique, qui nous permettra ainsi de détecter l'étendue de ces zones pour lesquelles l'écoulement est concentré, générant à la fois des vitesses d'écoulement et des niveaux de submersion importants.

Ces zones correspondent aux axes courants, c'est à dire le parcours naturel de l'eau en cas d'orage du fait de la topographie : talweg, vallée sèche, fossés et cours d'eau ;

- **Zone d'accumulation :**

Ces zones peuvent être soit des cuvettes artificielles ou naturelles d'accumulation des eaux qui proviennent des zones de production et où aucune vidange gravitaire n'est possible, soit des zones de rétention d'eau due à la présence d'obstacles dans les axes d'écoulement. Ces derniers accroissent les hauteurs de submersion et sont eux même très vulnérables en termes d'endommagement.

La figure suivante illustre les différents zones décrits ci-avant au niveau de la butte de Linselles :

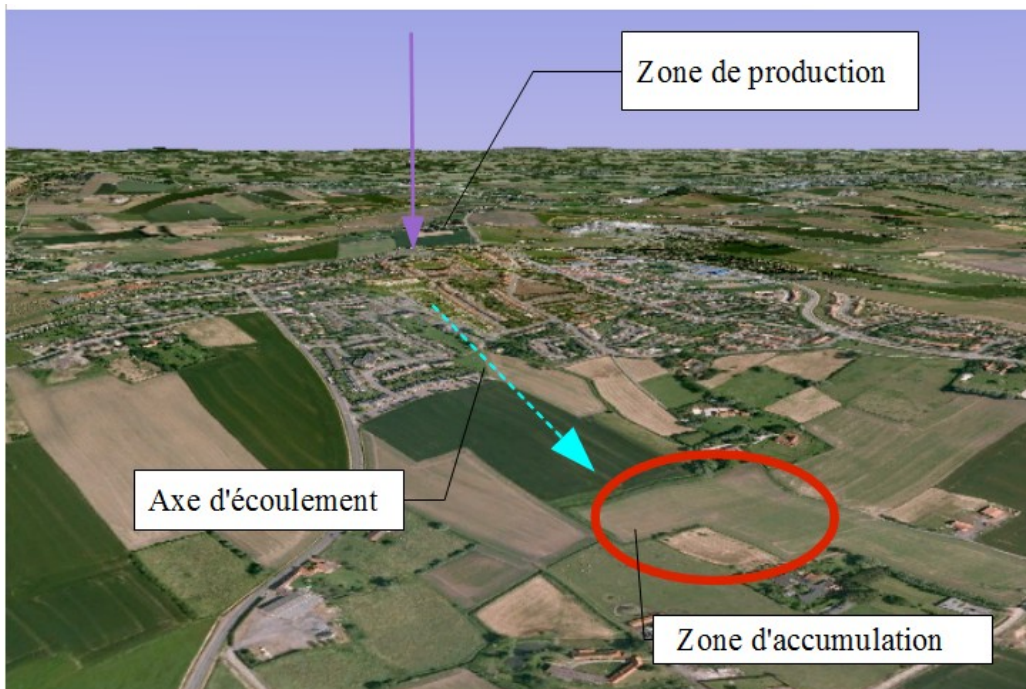


Illustration 19: Illustration des 3 zones à prendre en compte au niveau de l'aléa ruissellement – Butte de Linselles (Image Google Earth)

5.4 Cartographie de l'aléa

La carte d'aléa retenue dans les zones urbaines et les zones d'accumulation présente au total 4 zones de risque : faible, moyen, fort et très fort.

Nous proposons que le risque sur ces zones soit caractérisé par deux variables :

- La hauteur d'eau, qui sera le critère prépondérant dans les zones d'accumulation ;
- La vitesse, qui dans les zones de ruissellement, notamment en zone urbaine, sera très élevée.

5.4.1 La question de la durée

Les informations historiques collectées durant la présente phase n'ont globalement pas mis en évidence des phénomènes des stockages de longue durée lors des épisodes historiques.

De plus, à notre sens, la durée apparaît plus comme un modulateur du coût des dommages et des difficultés organisationnelles liées à l'inondation que comme un indicateur de risque. Or, la finalité d'un PPRi est bien d'identifier et de cartographier les zones soumises à risque, quelles qu'en soient ensuite les conséquences, plus ou moins dommageables.

Nous proposons par conséquent que le paramètre durée de submersion ne soit pas intégré en tant que tel pour définir l'aléa de référence. En revanche, les informations que nous pourrions obtenir sur ce point lors des modélisations nous permettront éventuellement de cibler des zones où la durée de submersion peut avoir un impact en termes de gestion de crise et de redémarrage des activités notamment au niveau des zones d'accumulation derrière un remblai ou dans des cavités naturelles ou artificielles.

5.4.2 La grille d'aléa proposée

L'aléa sera défini par croisement des estimations de hauteurs d'eau et de vitesses d'écoulement sur l'ensemble des zones soumises au risque d'inondation par ruissellement.

Le risque est modulé par :

- ↳ la hauteur d'eau, selon 4 classes (inférieure à 0,20 m, comprise entre 0,20 et 0,50 m, comprise entre 0,50 et 1 m, supérieure à 1 m) ;
- ↳ la vitesse d'écoulement, selon 4 classes (inférieure à 0,20 m/s, comprise entre 0,20 et 0,5 m/s, comprise entre 0,5 et 1 m/s et supérieure à 1 m/s).

La figure suivante illustre à titre d'exemple la notion de risque pour les personnes en fonction des gammes de hauteur et de vitesse de l'eau :

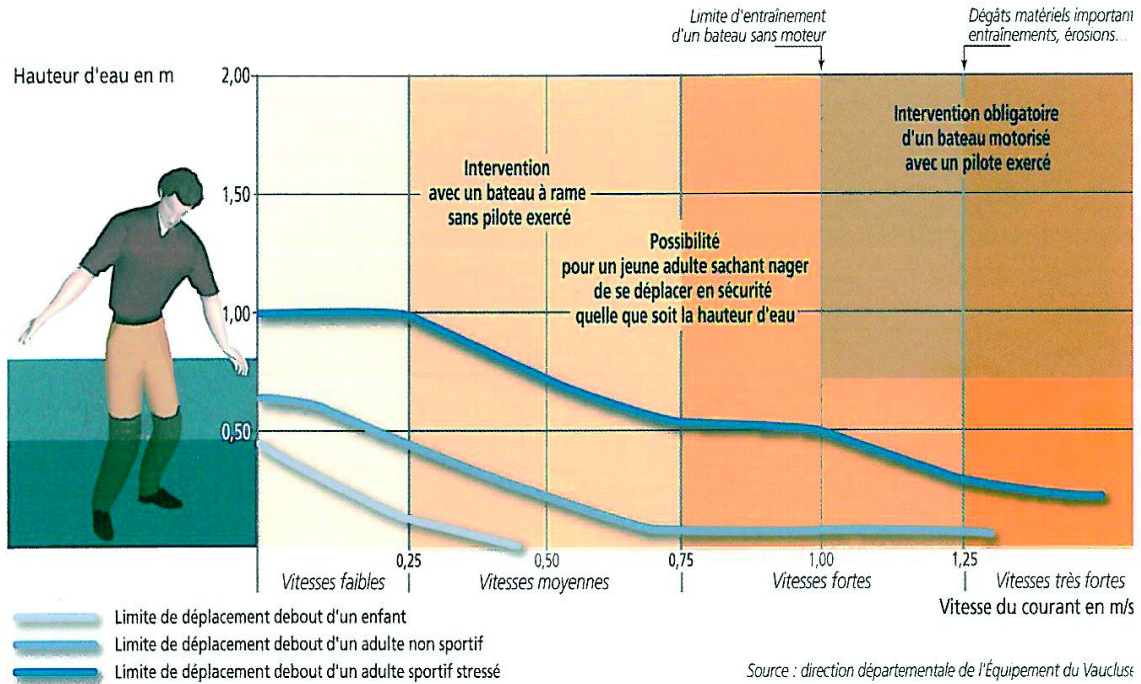


Fig.8 - Possibilités de déplacement des personnes en fonction de la hauteur d'eau et de la vitesse d'écoulement

Illustration 20: Croisement entre hauteur et vitesse (Source DDE Vaucluse)

Un raffinement doit cependant être apporté localement à cette grille dans la mesure où celle-ci n'intègre pas de notion de pente. Or dans les zones pentues, l'impact de la vitesse sera forcément plus fort et les risques de déstabilisation plus grand (érosion, arrachement d'obstacles, etc).

Ainsi, bien que n'existant pas dans la doctrine PPR, il peut être intéressant d'identifier les zones où les vitesses d'écoulement seraient supérieures à 1 m/s, dans une optique de gestion de crise notamment. Il peut en effet être intéressant de connaître ces secteurs où la circulation, même pour les véhicules des services de secours, pourrait être rendue dangereuse par la vitesse du courant. Par ailleurs des vitesses d'écoulement supérieures à 1 m/s peuvent engendrer des dégâts importants, par l'entraînement de véhicules stationnés par exemple. Encore une fois, l'identification de ces zones de fortes vitesses peut apporter un gain dans le cadre de la gestion de crise, en permettant de mettre l'accent sur les secteurs où limiter le stationnement en cas de survenue d'un orage violent.

Ainsi, même si cette classe pourra être rendu « transparente » dans les cartes de zonages réglementaires car il n'existe pas de distinction entre les zones d'aléa fort et très fort en termes de prescriptions, nous proposons d'en conserver le principe dans le présent document.

La grille d'aléa globale proposée dans le cadre du présent PPRi, et qui sera utilisée pour la cartographie des aléas, est la suivante :

| Grille d'aléa | | | | | |
|-----------------------|----------------------|-----------|-------------------|----------------|-----------|
| Hauteur de submersion | >1 m | Fort | Fort | Très Fort | Très Fort |
| | de 50 cm à 1 m | Moyen | Moyen | Fort | Très Fort |
| | de 20 cm à 50 cm | Faible | Moyen | Fort | Très Fort |
| | < 20 cm | Faible | Faible | Fort | Très Fort |
| | Vitesse d'écoulement | < 0.2 m/s | de 0.20 à 0.5 m/s | de 0.5 à 1 m/s | > 1 m/s |

Tableau 3: Grille d'aléa proposée

A titre de remarque, rappelons qu'une valeur de hauteur d'eau minimum sera définie par la suite afin de distinguer les zones qui relèvent réellement d'un risque d'inondation des zones où la hauteur d'eau ruisselé est négligeable.

La carte d'aléa sera accompagnée d'une carte décrivant le fonctionnement du bassin versant, en distinguant les trois types de zones décrites précédemment :

- zones de production ;
- zones d'écoulement ou de transfert ;
- zones d'accumulation.

Ces zones seront définies comme précisé précédemment, à partir de la topographie et des résultats de simulation.

A ce stade, ces éléments sont évidemment susceptibles d'être ajustés et la méthodologie affinée en fonction des premiers résultats de modélisation, en concertation totale avec le maître d'ouvrage.

ANNEXE 1 : Fiche produit EVE'M



Echange, Validation et Exploitation des mesures

Un seul logiciel pour fédérer, valider et exploiter les données de l'autosurveillance et du diagnostic permanent des réseaux d'assainissement.

LE NOYAU EVE'm

Configuration du référentiel (manuel ou automatique à partir d'un tableur Excel, gestion des profils des utilisateurs)

Alimentation de la base de mesures

Consultation des données (tableaux et graphiques)

Gestion de l'historique de mesure et des périodes d'indisponibilité

Nombreux formats de fichiers supportés (CR2M, CSV, Météo France, CRM/ALNAEE...).

Validation des données : recalage, recalcul, règles de validation automatique

Calcul des variables élaborées : cumul, échantillonnage, combinaison linéaire, produit, règles de calcul automatique

Sauvegarde et restauration, archivage glissant

Gestion d'un référentiel documentaire

Module HYDROMETRIE

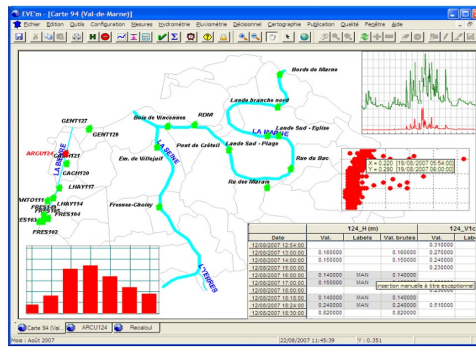
Configuration des sections et des courbes de tarages

Calcul des débits : hauteur/vitesse, Manning-Strickler, courbes de tarage, temps de fonctionnement des pompes

Calcul des moyennes horaires et volumes journaliers

Analyse des données par temps sec et par temps de pluie

Export des données aux formats Canoë et InfoWorks



Source CG94 - DSEA

Conçu pour gérer des mesures de diverses natures, ce progiciel est orienté vers l'analyse, la validation, l'archivage et l'exploitation des données. Le recueil est :

- soit automatique,
 - par liaison avec un système de supervision et de télétransmission ou,
 - par liaison avec une ou plusieurs bases de données,
- soit manuel par saisie ou importation d'enregistrements.

EVE'm permet de qualifier les événements de façon globale par la prise en compte des diverses mesures qui les caractérisent, constituant ainsi un outil de suivi, de prévision et de décision.

La base de mesures est à la fois :

- un outil déterminant pour le diagnostic, la gestion quotidienne et l'optimisation du fonctionnement des installations,
- nécessaire pour la maîtrise des coûts d'exploitation et la planification des évolutions,
- le cœur d'un système d'acquisition, de validation et d'exploitation de mesures, particulièrement adapté au domaine de l'hydrologie.

EVE'm propose des fonctions de représentation optimale des mesures et des outils puissants de génération automatique de rapports et de bilans détaillés.

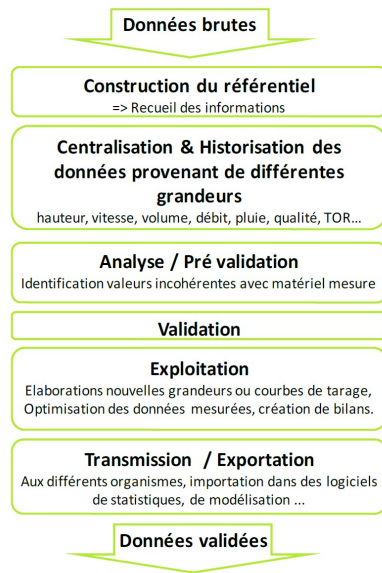
Les collectivités territoriales, les concessionnaires de services, les ingénieurs conseils et les acteurs de l'environnement œuvrent pour mieux maîtriser le cycle de l'eau.

Pour les aider dans la phase d'aménagement et de gestion des eaux, ils ont besoin d'outils d'exploitation et de création de bases de données environnementales.

C'est ce que propose EVE'm.

Le fonctionnement de EVE'm s'appuie sur une base de données relationnelle de type Oracle ou MS SQL, qui peut être installée en local (architecture monoposte) ou sur un serveur.

Le progiciel est ouvert et permet la mise en œuvre d'architectures clients/serveur, de liens avec un PC de supervision ou avec un système de publication de documents, comme un site WEB.





EVE'm

Echange, Validation et Exploitation des mesures

Un seul logiciel pour fédérer, valider et exploiter les données de l'autosurveillance et du diagnostic permanent des réseaux d'assainissement.

Module PLUVIOMETRIE

Configuration des régions pluviométriques

Recherche et analyse des événements pluvieux

Calcul et représentation des hyétogrammes

Cartographie des pluies

Catalogue de pluies

Module QUALITE

Calcul des déversements et des flux de pollution

Bilans d'autosurveillance

Cartes de mise en charge/d'inondation

Export au format SANDRE v1.5 et v2.0

Module DECISIONNEL

Rapports BusinessObjects®

Module CARTOGRAPHIE

Affichage cartographique du réseau de mesure

Visualisation géographique des pluies : cartes de lame, de durée, animation des isohyètes

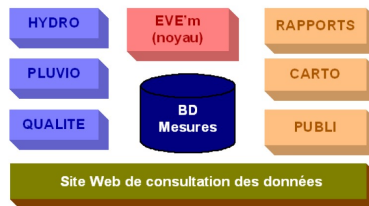
Module PUBLICATION

Mise à jour automatique des rapports

Publication automatique de documents sur un site Web

Diffusion automatique de données

Modularité de l'offre



Les modules sont indépendants : plusieurs modules sont requis pour certaines fonctions (CARTO et PLUVIO pour les cartes de pluie).

Préconisations

Environnement préconisé :

- Windows XP ou 2003 serveur,
- Oracle serveur version 8i ou supérieure
- Ou MS SQL v2000, v2005 ou supérieure.

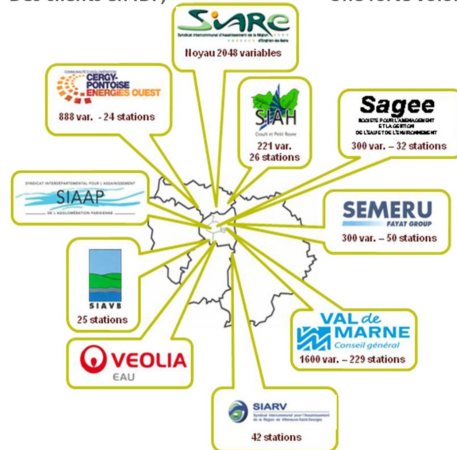
Configuration mini recommandée : Intel Core 2 Duo, 2Go RAM, écran 17" 1280 x1024, 4Go d'espace disque libre.

L'espace disque du serveur nécessaire est fonction du volume des mesures à gérer (min. 15 Go recommandé).

Nos références

Des clients en IDF,

Une forte volonté de développement en France,



SIGT, c'est aussi une société de développement informatique dans les domaines de l'Environnement et des Transports.

Nos références ENVIRONNEMENT :

SIAAP, CG92, CG93, CG94, SIARV (77), Veolia EAU(94) , SIAVB (91), SIAH du Croult et du Petit Rosne (95), C.U.Strasbourg (67), SEMERU (Groupe Fayat), C.A.Cergy-Pontoise (95), S.I.A. Région d'Enghien-les-Bains (95), SEDIF, METEO France, Sagee, PROLOG INGENIERIE, Mairie de Paris, Reims Métropole, SIARC et Hainaut Maintenance....

Nos références TRANSPORT :

VEOLIA Transport, STIF, ST2N (Nice), Transdev Portugal, TCar, Keolis, TPG (Genève), DK'Bus Marine (Dunkerque)...

NOS VALEURS

SIGT est une société indépendante fondée en 1989 par l'actuel gérant Roberto BERTIOTTI, docteur ingénieur de l'Ecole Polytechnique de Milan. Notre stratégie est orientée vers un partenariat durable avec nos clients. Nous accordons une attention particulière aux qualités des relations humaines. Nos offres sont conçues sur mesure par un ingénieur chargé d'affaires qui sait s'adapter aux problèmes posés.

NOS PRESTATIONS

- Etude
- Conseil
- Edition
- Pilotage
- Assistance
- Formation
- Conception
- Maintenance

Sigt
Systèmes Informatiques pour la Gestion Technique
3-5 rue de Metz
75010 PARIS
Tel. : 01 48 01 92 00
Fax : 01 48 22 96 22
info@sigt.fr
www.sigt.fr