



DDTM du Pas-de-Calais

DÉTERMINATION DES ALÉAS INONDATIONS DU TERRITOIRE DE LA SOUCHEZ PHASE 2 : MÉTHODE DE DÉTERMINATION DES ALÉAS

LIVRABLE L3 : MÉTHODE DE DÉTERMINATION DES ALÉAS INONDATION PAR DÉBORDEMENT ET PAR RUISSELLEMENT

Affaire n° : 19-391-04			
Version	Date	Rédigé par	Vérifié par
0	04/09/20	CA	CA, OS
0.1	04/09/20	CA	CA, OS
Remarques :			

SOMMAIRE

1. Présentation et synthèse.....	3
1.1. Contexte et objet de l'étude.....	3
1.2. Objectifs.....	5
1.3. Contenu du livrable.....	5
1.4. Synthèses-conclusions.....	6
2. Données sources utilisées pour l'étude.....	8
2.1. Études antérieures.....	8
2.2. Données cartographiques.....	11
2.3. Version des logiciels utilisés.....	11
3. Analyse hydrologique.....	12
3.1. Données pluviométriques disponibles.....	12
3.2. Analyse des événements historiques.....	16
3.2.1. Analyse des données radar.....	16
3.2.2. Analyse des principaux événements et principaux enseignements hydrologiques.....	21
3.2.3. Événements retenus pour le calage des modèles hydrauliques.....	30
3.2.4. Sélection des événements de référence.....	31
4. Périmètre de la modélisation.....	32
4.1. Communes retenues.....	32
4.2. Découpage du territoire d'étude entre Prolog Ingénierie et DHE.....	33
5. Modélisation de l'aléa débordement de cours d'eau.....	35
5.1. Approche pluie-débit à l'échelle du bassin versant.....	35
5.1.1. Les principes théoriques de l'approche.....	36
5.1.2. Découpage du territoire en sous-bassins versants.....	36
5.1.3. Choix de la fonction de production.....	37
5.1.4. Choix de la fonction de transfert.....	38
5.1.5. Choix de la fonction de propagation.....	38
5.2. Modélisation de l'aléa débordement.....	39
5.2.1. Périmètre de la modélisation 1D-2D.....	39
5.2.2. Principe général de la modélisation 1D-2D.....	39
5.2.3. Modélisation des écoulements de la Souchez et de ses affluents.....	41
5.2.3.1. Modélisation 1D / 2D des écoulements.....	41
5.2.3.2. Conditions aux limites.....	45
5.2.4. Prise en compte des interactions avec la nappe.....	45
5.2.5. Le calage du modèle hydraulique.....	48
6. Modélisation de l'aléa ruissellement.....	49
6.1. Spécificité du ruissellement et territoire d'étude.....	49
6.2. Transformation pluie-ruissellement.....	49
6.3. Modélisation de l'aléa ruissellement.....	50
6.3.1. Modèle 2D.....	50
6.3.2. Calage du modèle hydraulique « ruissellement ».....	51
7. Exploitation des résultats et restitution cartographique.....	52
7.1. Définition des aléas.....	52
7.2. Méthodologie d'élaboration des cartes.....	54
7.2.1. Création des contours de hauteurs et vitesses.....	54
7.2.2. Zones de recouvrement entre aléa débordement de cours d'eau et aléa ruissellement.....	55
7.2.3. Format des rendus et exemples.....	55



1. PRÉSENTATION ET SYNTHÈSE

1.1. CONTEXTE ET OBJET DE L'ÉTUDE

La Souchez est une rivière d'une quinzaine de kilomètres dont le bassin versant possède une superficie d'environ 117 km² et appartient au bassin versant de la Haute-Deule. La Souchez (qui devient le canal de Lens en sortie de la commune de Lens) conflue avec le canal de la Deule au droit de la commune de Courrières.

Le bassin versant de la Souchez constitue le secteur amont du Territoire à Risque important d'Inondations (TRI) de Lens. Il est essentiellement concerné par les risques de ruissellements et coulées de boues, de débordement de cours d'eau et de remontée de nappe. Les événements pluvieux marquants les plus récents et à l'origine d'inondations importantes sont les orages du 30-31 mai 2016 et du 7 juin 2016.

Dans le cadre de l'élaboration de la stratégie locale de gestion du risque inondation (SLGRI), la DDTM du Pas-de-Calais a réalisé en 2016-2017 une étude d'amélioration de la connaissance du risque inondation par ruissellement sur le bassin versant de la Haute-Deule pour mieux prévenir le risque et accompagner les collectivités.

Dans la continuité de cette dernière, la présente étude a pour objectif de déterminer plus finement les aléas inondation par débordement de cours d'eau et ruissellement sur 31 communes du bassin versant de la Souchez (sur les sous-bassins versants de la Souchez, d'Avion et de Lens et de son agglomération).

La figure suivante illustre le territoire d'étude.

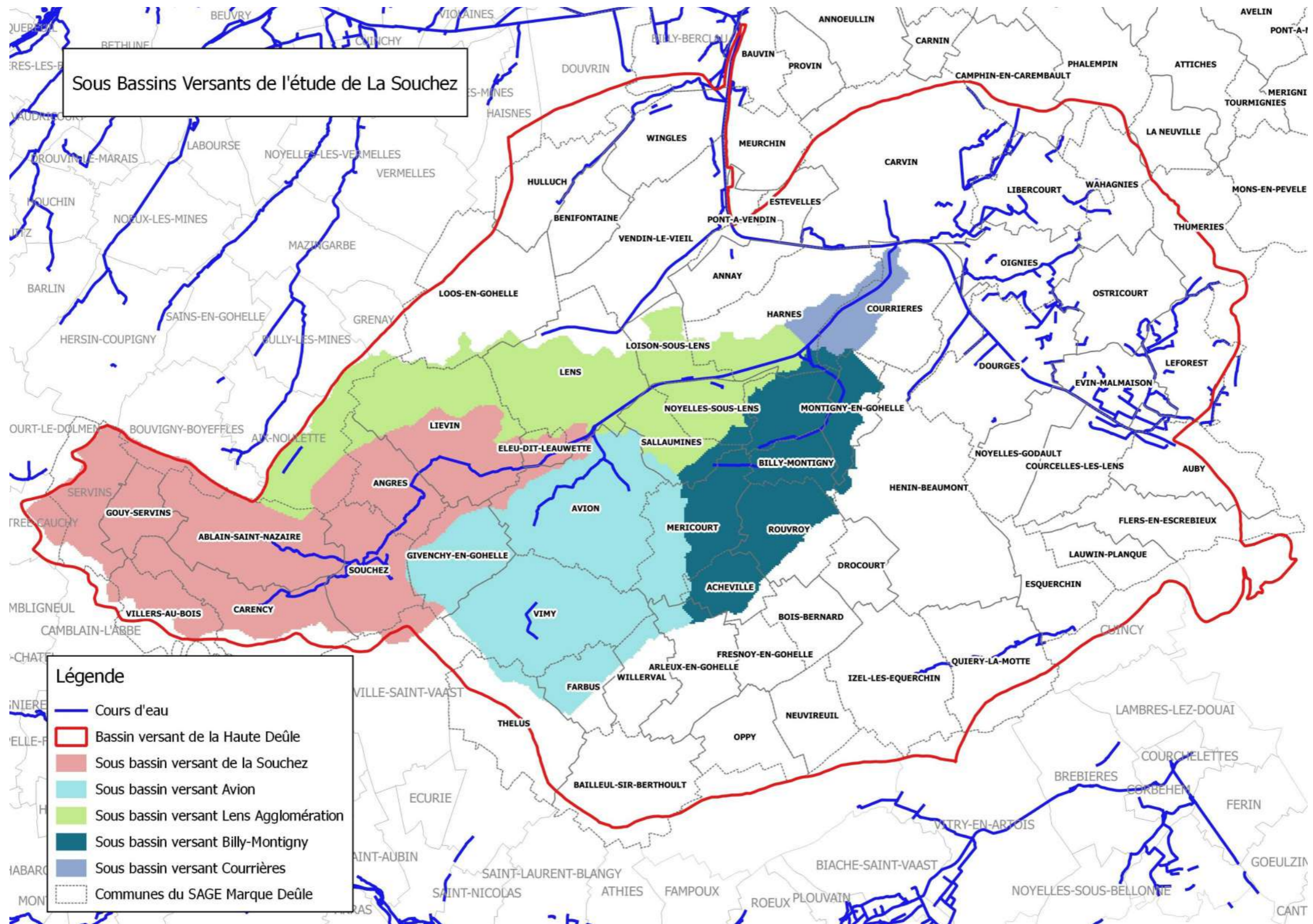


Figure 1: Illustration du territoire d'étude (source : CCTP)

1.2. OBJECTIFS

La présente étude s'inscrit dans le cadre d'une procédure administrative qui doit permettre de déterminer finement les aléas inondation par débordement de cours d'eau et par ruissellement sur le bassin versant de la Souchez (et mettre en évidence les zones sensibles à la remontée de nappe). Les résultats de cette étude doivent permettre d'orienter l'État quant à la prescription ou non d'un Plan de Prévention des Risques d'Inondation (PPRi) sur tout ou partie du territoire.

L'étude hydraulique est décomposée selon quatre phases :

- Phase 1 : Analyse des données disponibles et nécessaires à l'étude,
- Phase 2 : Méthode de détermination des aléas,
- Phase 3 : Qualification des phénomènes,
- Phase 4 : Note d'opportunité.

Le présent livrable L3 est dédié à la Phase 2 de l'étude « Méthode de détermination des aléas ».

A partir des éléments recueillis dans le cadre de la Phase 1, l'objectif de la Phase 2 consiste à définir la méthode de détermination des aléas inondation par débordement et par ruissellement (en incluant l'influence de la remontée de nappe). Cette étape doit permettre de définir et d'affiner la méthodologie proposée dans le cadre du mémoire technique.

L'objectif du présent livrable est double. Il s'agit d'une part de réaliser une première analyse hydrologique du secteur d'étude et, d'autre part, de définir la méthodologie qui sera mise en œuvre au cours de la Phase 3 « Qualification des phénomènes » pour caractériser l'aléa de référence. L'enjeu consiste à disposer d'une méthode permettant de caractériser l'ensemble des phénomènes et de les cartographier de manière homogène.

1.3. CONTENU DU LIVRABLE

Le présent rapport est structuré de la manière suivante :

- La première partie rappelle le contexte et les objectifs de l'étude et propose une synthèse des principaux résultats de la Phase 2 qui fait l'objet du présent rapport,
- La deuxième partie présente les données d'entrée utilisées dans le cadre de l'étude,
- La troisième partie est consacrée à l'analyse hydrologique dont l'objectif est de caractériser le régime des pluies sur le territoire d'étude ainsi que les principaux événements historiques de référence,
- La quatrième partie renseigne sur le périmètre retenu pour la modélisation,
- La cinquième partie présente la méthodologie envisagée pour caractériser l'aléa débordement de cours d'eau sur le bassin versant de la Souchez,



- La sixième partie présente quant à elle la méthodologie envisagée pour caractériser l'aléa ruissellement sur le bassin versant de la Souchez,
- La septième et dernière partie est consacrée à l'exploitation des résultats de la modélisation ainsi qu'à leur restitution cartographique.

1.4. SYNTHÈSES-CONCLUSIONS

Les événements pluviométriques suivants ont été analysés (cumuls de l'événement, conditions antécédentes, etc.) sur la base des données collectées :

- 13 août 2015 ;
- 30-31 mai 2016 ;
- 7 juin 2016.

L'aléa de référence s'appuiera de préférence sur un événement historique connu s'il s'avère que ce dernier est d'occurrence au moins centennale (par exemple l'événement du 7 juin 2016). Dans tous les cas, l'information historique sera exploitée de manière à produire un aléa représentatif des phénomènes susceptibles de se produire sur le bassin versant de la Souchez.

Le débordement de cours d'eau sera modélisé sur l'ensemble du linéaire de la Souchez et ses affluents principaux selon un modèle pluie-débit pour la partie hydrologique et selon une modélisation 1D/2D pour la partie hydraulique. Au regard des données historiques récoltées et des données pluviométriques disponibles, les événements d'août 2015, de mai 2016 et de juin 2016 seront retenus pour le calage du modèle « débordement ». Une fois calé et validé, ce dernier sera exploité pour simuler l'aléa de référence.

Afin de cartographier de manière homogène les aléas débordement et ruissellement, l'aléa ruissellement sera caractérisé à l'aide d'une modélisation 2D. Cette méthodologie présente l'avantage d'éviter les raccordements brusques entre deux méthodes trop différentes. La modélisation de l'aléa ruissellement sera réalisée sur l'ensemble du bassin versant de la Souchez, y compris sur les communes qui ne sont pas étudiées, de manière à représenter correctement l'ensemble des apports par ruissellement. De même que pour l'aléa débordement, le modèle sera calé sur les événements historiques d'août 2015, de mai 2016 et de juin 2016.

Les résultats bruts de modélisation seront traités à l'aide du logiciel SIG GrassGIS pour obtenir les couches SIG de classes de hauteurs et de vitesses maximales. Les traitements cartographiques réalisés intègrent à la fois les résultats hydrauliques sur la partie 2D du modèle (maillage) et sur la partie 1D (profils en travers du cours d'eau) de manière à cartographier l'intégralité de l'emprise inondable. Un travail de nettoyage et de lissage des couches SIG produites sera réalisé pour restreindre le poids des fichiers produits et ne conserver que les informations pertinentes portées par ces derniers.

Les cartographies suivantes seront produites (pour les phénomènes de débordement de cours d'eau et de ruissellement sachant que pour les communes soumises aux deux phénomènes, une seule et même carte de synthèse sera produite) :

PROLOG INGÉNIERIE

Détermination des aléas inondations sur le territoire de la Souchez – Phase 2
- Livrable L3 : Méthode de détermination des aléas -

R19-391-04_L3_v0.1.odt

10/2020



-
- cartographie des hauteurs d'eau maximales ;
 - cartographie des vitesses maximales d'écoulement ;
 - cartographie de l'aléa de référence.



2. DONNÉES SOURCES UTILISÉES POUR L'ÉTUDE

2.1. ÉTUDES ANTÉRIEURES

La liste des études antérieures collectés et utilisés dans le cadre de la présente étude est présentée dans le tableau ci-après, par ordre chronologique de collecte.

Référence	Format	Secteur concerné	Nom de l'entrée	Titre de l'entrée	Maître d'ouvrage	Auteur	Type	Date	Transmis par
DOC 1	pdf, dwg	Souchez	20190724_04006_ptop_a	Profils en travers de la Souchez et coupes des ouvrages (campagne n°1)	DDTM 62	GEOSOLUTIONS	Levés topo	07/10/2019	DDTM 62
DOC 2	pdf	BV Haute Deule	-	Amélioration de la connaissance du risque inondation par ruissellement et orientations	DDTM 62	DHE	Rapport d'étude	2016, 2017, 2018	Web
DOC 3	pdf	Loison-sous-Lens	2007 04 09 - Loison - note de presentation	Note de présentation du PPRI sur la commune de Loison-sous-Lens	DDTM 62	DDTM 62	PPRI	06/2007	Web
DOC 4	pdf	Loison-sous-Lens	2007 04 09 - Loison - reglement	Règlement du PPRI sur la commune de Loison-sous-Lens	DDTM 62	DDTM 62	PPRI	06/2007	Web
DOC 5	pdf	Lens, Douai, Valenciennes	note_historique_crues_inondations_lens_douai_valenciennes	Note historique sur les crues et inondations à Lens, Douai et Valenciennes - Rapport 2	DREAL NPDC	ACTHYS	Rapport d'étude	04/06/2013	Web
DOC 6	pdf	Lens-Liévin Hénin-Carvin	synthese_RVB3	Etude hydraulique détaillée de surface des zones protégées par les stations de relevage des eaux du bassin minier Nord - Pas de Calais	Mission Bassin Minier	Egis Eau, Geolys	Rapport d'étude	04/2012	Web
DOC 7	pdf	Lille	Statistiques Lille	Statistiques à la station de Lille-Lesquin pour des épisodes pluvieux de durée comprises entre 15 min et 2j	-	Météo France	Données pluvio	Transmis dans le cadre d'une étude antérieure	DDTM 62
DOC 8	pdf	Lillers	LILLERS	Statistiques à la station de Lillers pour des épisodes pluvieux de durée comprises entre 30 min et 1j	-	Météo France	Données pluvio	Transmis dans le cadre d'une étude antérieure	DDTM 62
DOC 9	pdf	BV Souchez	CR-[nom_commune]	Comptes-rendus des réunions techniques réalisées avec les communes dans le cadre des diagnostics de vulnérabilité	CALL	SYMSAGEL	CR	14/01/2020	CALL
DOC 10	pdf	BV Souchez	outputV2_[nom_commune]	Cartes de synthèse communales réalisées avec les communes dans le cadre des diagnostics de vulnérabilité	CALL	SYMSAGEL	Cartes	14/01/2020	CALL
DOC 11	jpeg	BV Souchez amont	CALL_Ouvrages hydrauliques	Cartes des aménagements de gestion des eaux pluviales	CALL	SYMSAGEL	Carte	14/01/2020	CALL
DOC 12	pdf	BV Souchez	synthese_DVC_[nom_commune]	Synthèse du diagnostic de vulnérabilité	CALL	CALL	Synthèse	14/01/2020	CALL
DOC 13	xls	Périmètre CALL	pluvio_DHE	Données pluviométriques enregistrées aux pluviomètres de la CALL pour les événements d'août 2015, mai 2016 et juin 2016	CALL	Veolia	Données pluvio	16/01/2020	CALL
DOC 14	pdf	TRI de Lille, Lens, Douai et Valenciennes	Phase[n°Phase]	Analyse hydrologique sur les TRI de Lille, Lens, Douai et Valenciennes dans le cadre de la Directive Cadre Inondation	DREAL NPDC	DHE	Rapport d'étude	17/01/2020	DHE
DOC 15	pdf	BV Souchez	1962008_004_PHASE_1_Definition_SBV_prioritairesVD	Expertise et modélisation du ruissellement et de l'érosion des sols sur le bassin versant amont de la	SYMSAGEL	LIOSE	Rapport d'étude	23/01/2020	SYMSAGEL

PROLOG INGÉNIERIE

Détermination des aléas inondations sur le territoire de la Souchez - Phase 2
- Livrable L3 : Méthode de détermination des aléas -

R19-391-04_L3_v0.1.odt

10/2020

Référence	Format	Secteur concerné	Nom de l'entrée	Titre de l'entrée	Maître d'ouvrage	Auteur	Type	Date	Transmis par
		amont		Souchez - Phase 1					
DOC 16	pdf	BV Souchez amont	1962008_004_Rapport	Expertise et modélisation du ruissellement et de l'érosion des sols sur le bassin versant amont de la Souchez - Phase 2	SYMSAGEL	LIOSE	Rapport d'étude	23/01/2020	SYMSAGEL
DOC 17	xls	Lens	FRNOR.RR20051418491267986.PPDQ.KEYudu3OdDvd922fD7v0d2u	Cumuls journaliers à Lens pour l'événement du 15/08/2015	PROLOG	Météo France	Données pluvio	14/05/2020	Météo France
DOC 18	tiff	Périmètre radar Abbeville	panthere_france_20150813	Pluviométrie radar panthère pour l'événement du 13/08/2015	DDTM 62	Météo France	Données pluvio	12/06/2020	DDTM 62
DOC 19	tiff	Périmètre radar Abbeville	panthere_france_20160530	Pluviométrie radar panthère pour l'événement du 30-31/05/2016	DDTM 62	Météo France	Données pluvio	12/06/2020	DDTM 62
DOC 20	tiff	Périmètre radar Abbeville	panthere_france_20160607	Pluviométrie radar panthère pour l'événement du 07/06/2016	DDTM 62	Météo France	Données pluvio	Transmis dans le cadre d'une étude antérieure	DDTM 62
DOC 21	pdf, dwg	Souchez	20200515_04351_profils	Profils en travers de la Souchez et coupes des ouvrages (campagne n°2)	DDTM 62	GEOSOLUTIONS	Levés topo	22/06/2020	DDTM 62
DOC 22	pdf, dwg	BV Souchez	reperes_de_crue	Levés topographiques des repères de crues identifiés dans le cadre de la Phase 1	DDTM 62	GEOSOLUTIONS	Levés topo	23/06/2020	DDTM 62

Tableau 1: Études antérieures utilisées dans le cadre de la présente étude



2.2. VERSION DES LOGICIELS UTILISÉS

Les cartographies ont été réalisées à l'aide du logiciel QGIS dans sa version 3.4.

3. ANALYSE HYDROLOGIQUE

L'objectif principal de l'analyse hydrologique est d'étudier le régime hydrométrique et pluviométrique du bassin versant de la Souchez afin d'identifier un ou deux événements hydrologiques de référence pour caractériser les inondations par débordement de cours d'eau et par ruissellement. L'analyse hydrologique doit permettre par la suite de définir les conditions limites amont et aval de la modélisation pour la caractérisation de l'aléa de référence.

Cet (ou ces) événement(s) de référence doivent être a minima de période de retour 100 ans. **Un événement centennal est un événement qui a une chance sur 100 de se produire chaque année.** Il s'agit d'un événement qui se déroule en moyenne tous les 100 ans : en moyenne seulement, car la probabilité réelle d'observer un événement centennal sur une période de 100 ans est de 2/3. Il s'agit donc d'une crue ou d'une pluie d'une telle intensité qu'elles sont très rarement voire jamais observées à l'échelle d'une vie humaine. Deux cas de figure peuvent dès lors se produire :

- l'analyse historique conduite en Phase 1 a permis d'identifier un épisode pluvieux bien documenté dont la période de retour estimée est supérieure ou égale à 100 ans : cette pluie pourra alors être retenue comme événement de référence ;
- aucun épisode pluvieux historique n'est compatible avec les critères d'un événement de référence : une pluie de projet de période de retour 100 ans sera construite sur la base des statistiques pluviométriques locales.

Cette analyse hydrologique doit également permettre de définir une méthodologie adaptée pour le calcul des apports qui seront ensuite injectés au modèle hydraulique.

Les études hydrauliques antérieures, les entretiens réalisés avec les communes dans le cadre de la Phase 1 et les repères de crues identifiés (également dans le cadre de la Phase 1) ont permis d'identifier les principaux événements récents à l'origine d'inondations importantes (débordements et phénomènes de ruissellement importants) sur le bassin versant de la Souchez. Il s'agit des épisodes pluvieux suivants :

- Pluie du 13/08/2015,
- Pluie du 30 et 31/05/2016,
- Pluie du 07/06/2016.

3.1. DONNÉES PLUVIOMÉTRIQUES DISPONIBLES

Les données pluviométriques disponibles pour l'analyse du comportement hydrologique du bassin versant de la Souchez et à la détermination des événements de référence sont de nature et d'origine diverses :

- les données pluviométriques des stations de Météo-France sur le bassin versant de la Souchez et aux alentours,

- les données pluviométriques de la CALL sur son réseau de stations pluviométriques,
- Les données pluviométriques des stations de la DREAL à proximité du bassin versant de la Souchez,
- les données RADAR (lame d'eau « PANTHÈRE » et « ANTILOPE ») de Météo-France sur l'ensemble du territoire d'étude.

N.B. : La Souchez n'est pas un cours d'eau surveillé par les services de l'État, il n'existe pas de station hydrométrique sur cette dernière.

➤ **Les stations pluviométriques terrestres**

Les stations pluviométriques de Météo France présentes sur le bassin versant de la Souchez et à proximité immédiate de ce dernier sont celles de Lens et d'Aubigny. Ces dernières sont de type 4, la pluviométrie est mesurée au pas de temps journalier uniquement (aucune donnée disponible au pas de temps horaire ou inférieur). Au regard des cumuls parfois très importants observés sur des temps très courts lors des événements pluvieux marquants récents à l'origine d'inondations importantes (orages du 30 mai 2016 et du 6-7 juin 2016), les précipitations journalières ne sont pas suffisamment précises pour les étudier. Les cumuls journaliers ont toutefois été récupérés aux stations de Lens et Aubigny pour étudier la pluviométrie sur les semaines et mois précédant les événements étudiés (conditions antérieures de pluviométrie ayant une influence sur la saturation des sols lors de l'événement). La pluviométrie journalière à Bajus et les moyennes mensuelles à Douai et Arras ont également été récupérées dans le cadre de l'analyse des conditions antérieures de pluviométrie.

Prolog Ingénierie dispose par ailleurs des statistiques des précipitations à la stations Météo-France de Lillers pour les périodes de retour 30 min, 1 h, 2 h, 6 h, 12 h et 1 j acquises dans le cadre des études menées sur le bassin versant de la Lawe menées pour le compte de la DDTM du Pas-de-Calais. Ces statistiques seront utilisées dans la suite du rapport pour caractériser la période de retour des événements hydrologiques étudiés. Elles sont présentées dans les tableaux suivants (hauteurs en mm).

LILLERS	Durée de la pluie							
	Période de retour	30 min	1 h	2 h	3 h	6 h	12 h	24 h
5 ans		21.8	23.9	28.9	31.9	37.9	47.9	57.7
10 ans		26.2	27.9	34.2	38.2	47.4	57.3	67
20 ans		31	32.1	40.1	45.5	59.5	67.8	76.4
30 ans		34.1	34.7	43.9	50.3	68.2	74.6	81.9
50 ans		38.2	38.1	49	56.9	81.1	83.8	89
75 ans		41.7	40.9	53.3	62.7	93.2	91.7	94.6
100 ans		44.3	42.9	56.5	67	103	97.6	98.6

Tableau 2: Statistiques à la station de Lillers sur la période 2003-2014 (source : Météo-France)

PROLOG INGÉNIERIE

Détermination des aléas inondations sur le territoire de la Souchez – Phase 2
- Livrable L3 : Méthode de détermination des aléas -

R19-391-04_L3_v0.1.odt

10/2020



N.B. : Pour les périodes de retour 50, 75 et 100 ans, les lames d'eau précipitées n'augmentent pas (comme on pourrait s'y attendre) entre un épisode de durée 30 minutes et un épisode de durée 1h. D'après Météo France, cela provient des "queues de distribution des ajustements statistiques en présence d'échantillons trop faibles".

Le tableau ci-après présente les stations Météo France étudiées et utilisées dans le cadre de la présente analyse hydrologique.

Localisation station	Id station	Type station / État	Type données
LENS	62498001	4 Ouvert	Journalière
AUBIGNY	62045002	4 Ouvert	Infra-horaire
BAJUS	62077001	4 Ouvert	Infra-horaire
LILLE-LESQUIN	59343001	1 Ouvert	Infra-horaire
LILLERS	62516002	1 Ouvert	Infra-horaire
ARRAS	62873001	1 Ouvert	Infra-horaire
DOUAI	59178001	1 Ouvert	Infra-horaire

Tableau 3: Stations pluviométriques Météo-France présentes sur le bassin versant de la Souchez et à proximité de ce dernier

les données pluviométriques de la CALL issues de son réseau de pluviomètres ont également été récupérées dans le cadre de la présente étude pour les 3 épisodes pluvieux historiques suivants :

- Du 13/08/2015 à 0h au 14/08/2015 à 0h (heure locale),
- Du 29/05/2016 à 0h au 02/06/2016 à 0h (heure locale),
- Du 06/06/2016 à 0h au 09/06/2016 à 0h (heure locale).

Prolog Ingénierie dispose également des données pluviométriques horaires pour les mois de mai et juin 2016 aux stations de la DREAL d'Ourton et de Bruay-la-Buissière situées à l'Ouest du bassin versant de la Souchez. Ces données ont également été acquises dans le cadre des études menées sur le bassin versant de la Lawe pour le compte de la DDTM.

La figure suivante illustre l'emplacement des stations pluviométriques de Météo France, de la DREAL et de la CALL par rapport au bassin versant de la Souchez.

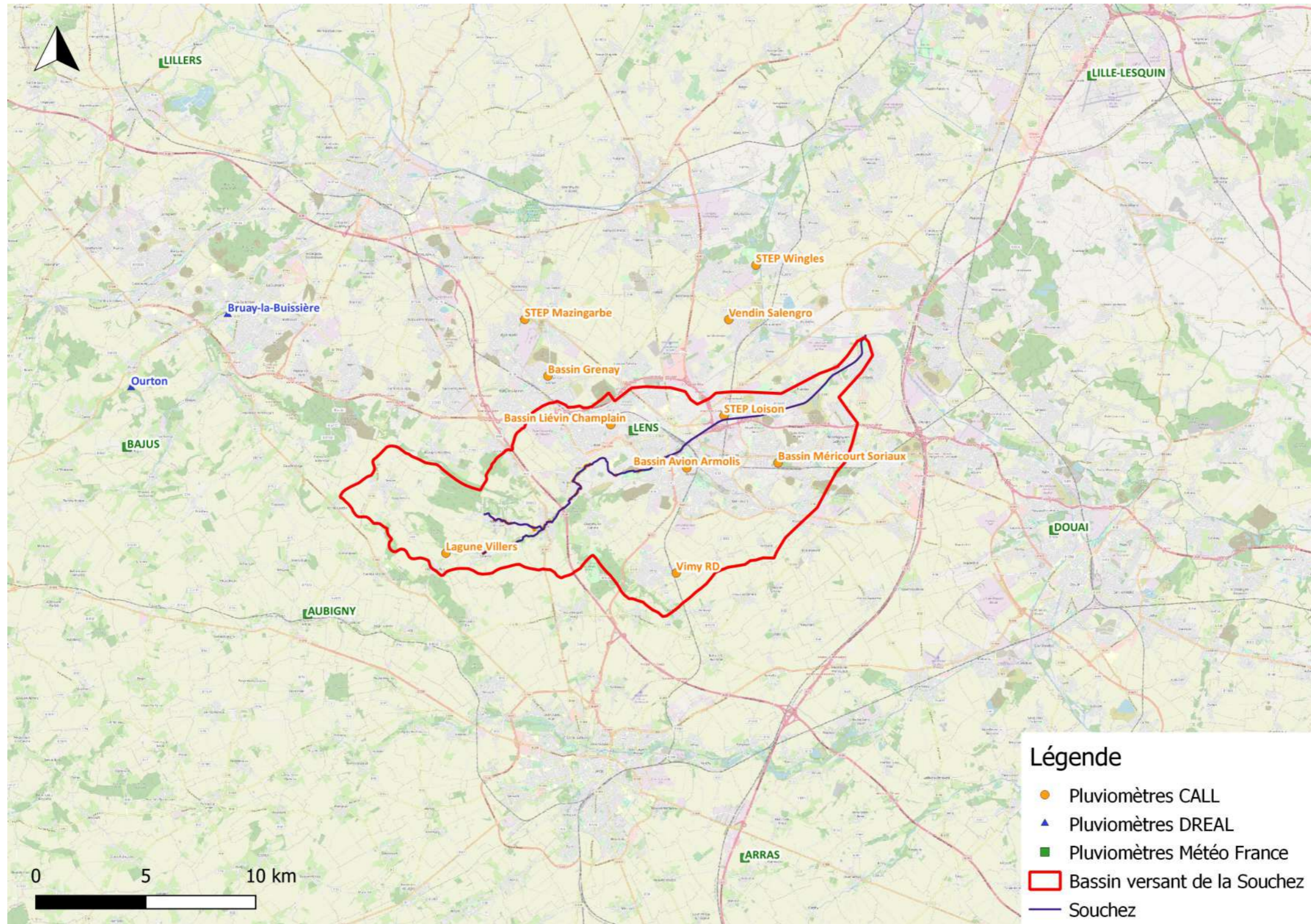


Figure 2: Localisation des stations pluviométriques sur et à proximité du bassin versant de l'Authie

➤ **Les données RADAR**

Deux formats d'image RADAR (Météo-France) peuvent être mobilisés afin de reconstituer les profils temporel et spatial des pluies :

- les lames d'eau ANTILOPE, disponibles depuis mai 2005, produites à partir d'un recalage des mesures RADAR brutes sur la base des pluviomètres terrestres avec une donnée par pixel (1 km²) et au pas de temps horaire ;
- les lames d'eau PANTHERE, disponibles depuis mai 2005, également basées sur les données RADAR brutes assorties d'une calibration (a priori à l'aide des pluviomètres) sensiblement moins précise que celle des lames d'eau ANTILOPE, avec une donnée par pixel (1 km²) et au pas de temps 5 min.

Dans la mesure où les données RADAR vont être exploitées pour modéliser des épisodes de forts ruissellements, associés en majorité à des épisodes pluvieux relativement courts et très intenses, il est nécessaire de disposer des lames d'eau PANTHERE au pas de temps 5 min au format grib ou tiff.

En effet, les données RADAR PANTHERE sont particulièrement adaptées à la modélisation d'événement pluvieux générateur de phénomènes de ruissellement importants dans la mesure où il s'agit d'événement de type orageux, présentant des durées totales et intenses généralement courtes, respectivement de quelques heures et quelques dizaines de minutes.

Les lames d'Eau ANTILOPE, bien qu'elles disposent d'une calibration meilleure, n'ont pas été retenues en raison de leur discrétisation temporelle trop faible.

Prolog Ingénierie dispose déjà de la lame d'eau PANTHERE pour l'épisode pluvieux du 7 juin 2016 du 07/06/2016 0h au 08/06/2016 0h (UTC) acquise dans le cadre des études sur le bassin versant de la Lawe menées pour le compte de la DDTM du Pas-de-Calais.

Les lames d'eau PANTHERE suivantes ont également être acquises auprès de Météo France dans le cadre de la présente étude :

- Le 13/08/2015 de 14h à 17h (UTC),
- Du 30/05/2016 à 8h au 31/05/2016 à 6h (UTC).

3.2. ANALYSE DES ÉVÈNEMENTS HISTORIQUES

3.2.1. Analyse des données radar

Les données RADAR Météo France « PANTHERE » ont été comparées à celles des postes pluviométriques disponibles sur le territoire d'étude pour les épisodes pluvieux d'août 2015, mai 2016 et juin 2016.

➤ **Pluie du 13 août 2015**

Pour l'événement d'août 2015 (de durée environ 1h), les écarts entre le RADAR Météo France et les pluviomètres terrestres sont faibles (< 10%) aux pluviomètres de Loison-sous-Lens (CALL), Vimy (CALL) et Lens (MF) mais sont significativement plus importants (entre 37 % et 43%) aux pluviomètres de Liévin, Avion et Villers-au-Bois (CALL). Par ailleurs le RADAR est par endroit supérieur aux cumuls mesurés par les pluviomètres terrestres et par endroit inférieur, il n'y a pas de surestimation ou de sous-estimation généralisée à l'échelle du bassin versant de la Souchez qui aurait éventuellement permis un recalage de l'ensemble de la donnée RADAR.

Les données sont globalement cohérentes entre le RADAR et les pluviomètres terrestres même si l'on note des écarts significatifs sur certains secteurs. Le RADAR de Météo France sera utilisé pour la modélisation de cet événement. Une attention particulière sera toutefois portée lors du calage du modèle hydraulique sur les secteurs présentant des écarts importants avec le RADAR. Le cas échéant, les pluviomètres terrestres pourront être supposés représentatifs de l'orage sur certains secteurs si nécessaire.

Le tableau suivant illustre la comparaison entre le RADAR et les pluviomètres terrestres pour la pluie du 13 août 2015 et la figure suivante illustre les cumuls de pluie mesurés par le RADAR.

	CUMUL EVENEMENT (mm) sur 1h		ECART (%)
	RADAR PANTHERE	PLUVIO	
PLUVIO LIEVIN	23.3	36.70	37%
PLUVIO AVION	36.4	25.60	42%
PLUVIO LOISON	32.4	31.20	4%
PLUVIO VILLERS AU BOIS	24.8	43.19	43%
PLUVIO VIMY	21.0	19.20	9%
PLUVIO LENS MF	26.5	28.80	8%

Tableau 4: Comparaison entre le RADAR et les pluviomètres terrestres pour la pluie du 13 août 2015

N.B. : Le pluviomètre de Méricourt a été écarté de l'analyse en raison d'une mesure a priori incohérente.

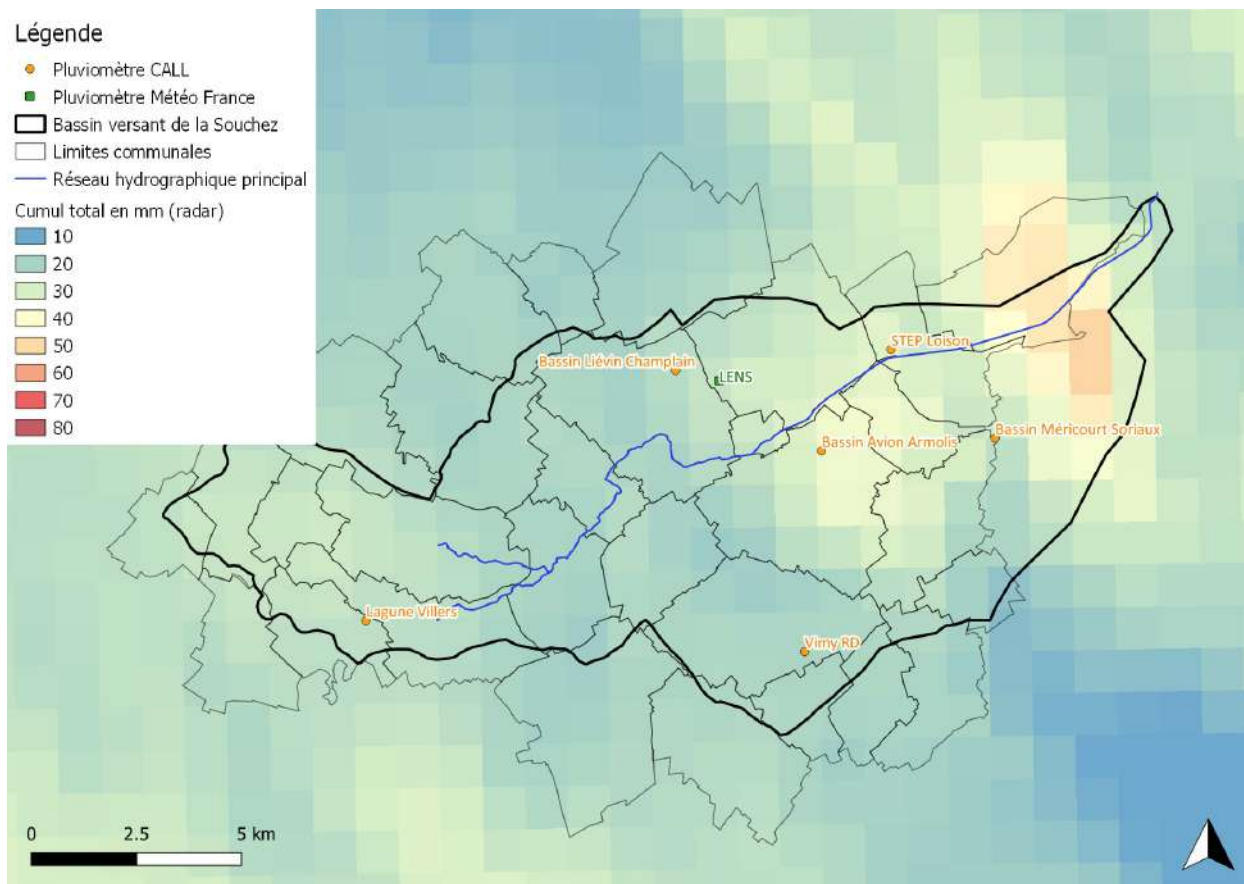


Figure 3: Cumuls de pluie mesurés par le RADAR lors de l'épisode du 13 août 2015

➤ **Pluie du 30-31 mai 2016**

Pour l'événement du 30-31 mai 2016 (de durée environ 21h), l'écart entre le RADAR Météo France et les pluviomètres terrestres est faible (< 10%) au pluviomètre de Lens (MF) et reste limité (< 20 %) à Vimy (CALL) mais il est relativement élevé (entre 29% et 39%) aux pluviomètres de Méricourt, Liévin, Avion et Loison-sous-Lens (CALL). On note que le RADAR est systématiquement inférieur aux cumuls mesurés aux pluviomètres terrestres, il est donc possible que le RADAR sous-estime légèrement les précipitations pour cet événement.

Les données sont globalement cohérentes entre le RADAR et les pluviomètres terrestres même si l'on note des écarts significatifs sur certains secteurs. Le RADAR de Météo France sera utilisé pour la modélisation de cet événement. Une attention particulière sera toutefois portée lors du calage du modèle hydraulique sur les secteurs présentant des écarts importants avec le RADAR. Le cas échéant, les pluviomètres terrestres pourront être supposés représentatifs de l'orage sur certains secteurs si nécessaire.

Le tableau suivant illustre la comparaison entre le RADAR et les pluviomètres terrestres pour la pluie du 30-31 mai 2016 et la figure suivante illustre les cumuls de pluie mesurés par le radar.

	CUMUL EVENEMENT (mm) sur 21h		ECART (%)
	RADAR PANTHERE	PLUVIO	
PLUVIO MERICOURT	46.73	66.40	30%
PLUVIO LIEVIN	55.43	90.20	39%
PLUVIO AVION	49.59	69.60	29%
PLUVIO LOISON	52.06	74.60	30%
PLUVIO VIMY	48.37	58.20	17%
PLUVIO LENS MF	53.18	58.40	9%

Tableau 5: Comparaison entre le RADAR et les pluviomètres terrestres pour la pluie du 30-31 mai 2016

N.B. : Le pluviomètre de Villers-au-Bois a été écarté de l'analyse en raison d'une mesure a priori incohérente.

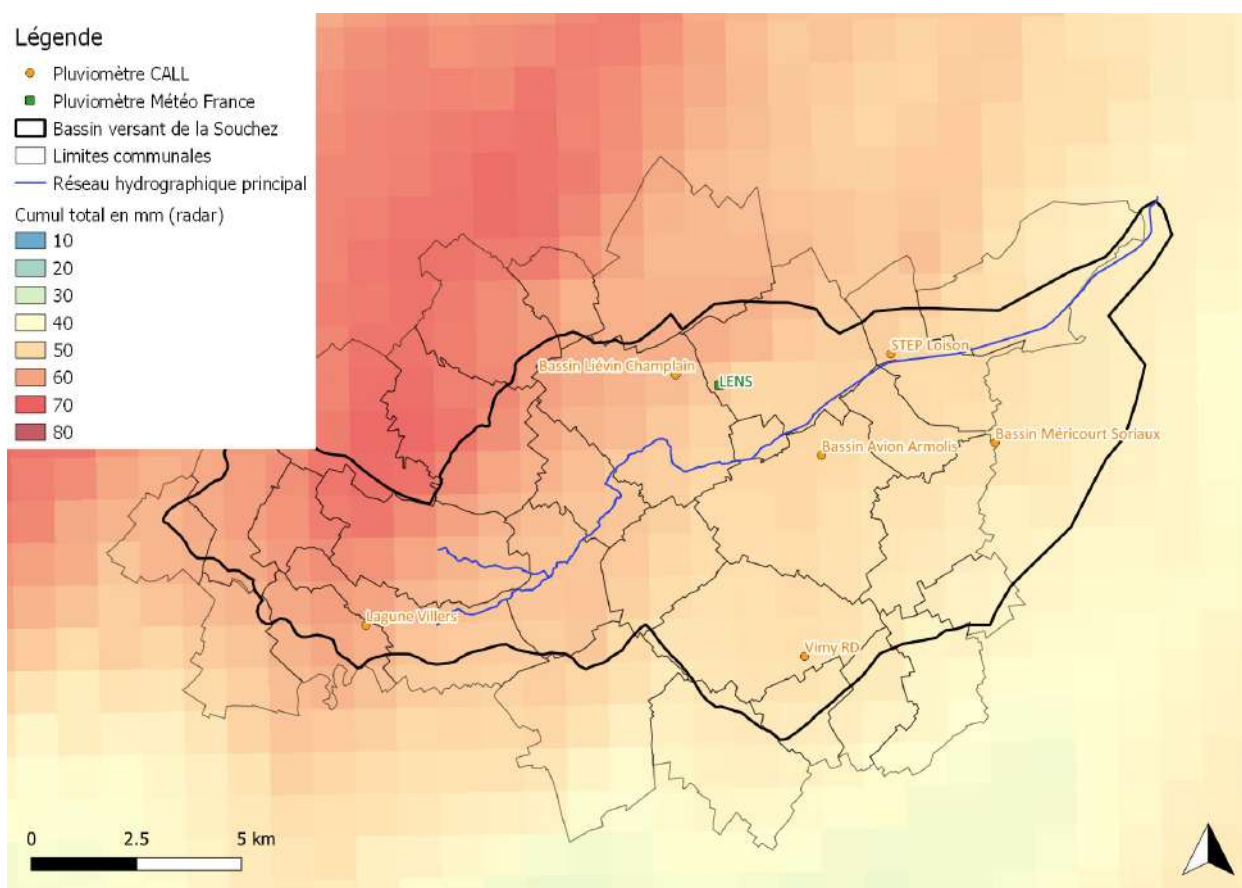


Figure 4: Cumuls de pluie mesurés par le RADAR lors de l'épisode du 30-31 mai 2016

➤ **Pluie du 7 juin 2016**

Pour l'événement du 7 juin 2016 (de durée environ 5h), l'écart entre le RADAR Météo France et les pluviomètres terrestres est faible (< 10%) au pluviomètre de Lens (MF) et reste limité (< 20 %) à Liévin (CALL). Il est cependant plus élevé (entre 21% et 37%) aux pluviomètres de Méricourt, Avion et Loison-sous-Lens (CALL).

La pluviométrie présente une importante hétérogénéité au sein même du bassin versant de la Souchez. On observe des variations très importantes (par endroit du simple au double) dans les cumuls de précipitation d'un pixel à l'autre du RADAR Météo France. Cette forte hétérogénéité peut expliquer les écarts par endroit un peu plus élevés entre le RADAR Météo France et les pluviomètres terrestres. En effet, les cumuls étant moyennés au sein de chacun des pixels de 1 km², il est probable que les différences de cumuls soient par endroit importantes au sein même d'un pixel.

On note que le RADAR est par endroit supérieur aux cumuls mesurés par les pluviomètres terrestres et par endroit inférieur, il n'y a pas de surestimation ou de sous-estimation généralisée à l'échelle du bassin versant de la Souchez qui aurait éventuellement permis un recalage de l'ensemble de la donnée RADAR.

Au regard de la forte hétérogénéité des précipitations à l'échelle du bassin versant de la Souchez, les données RADAR et celles des pluviomètres terrestres sont jugées globalement cohérentes. Le RADAR de Météo France sera utilisé pour la modélisation de cet événement. Une attention particulière sera toutefois portée lors du calage du modèle hydraulique sur les secteurs présentant des écarts un peu plus importants avec le RADAR. Le cas échéant, les pluviomètres terrestres pourront être supposés représentatifs de l'orage sur certains secteurs si nécessaire.

Le tableau suivant illustre la comparaison entre le RADAR et les pluviomètres terrestres pour la pluie du 7 juin 2016 et la figure suivante illustre les cumuls de pluie mesurés par le radar.

	CUMUL EVENEMENT (mm) sur 5h		ECART (%)
	RADAR PANTHERE	PLUVIO	
PLUVIO MERICOURT	58.6	42.60	37%
PLUVIO LIEVIN	39.6	34.30	16%
PLUVIO AVION	51.0	41.20	24%
PLUVIO LOISON	36.2	45.60	21%
PLUVIO LENS MF	34.2	36.00	5%

Tableau 6: Comparaison entre le RADAR et les pluviomètres terrestres pour la pluie du 7 juin 2016

N.B. : Les pluviomètres de Villers-au-Bois et Vimy ont été écartés de l'analyse en raison d'une mesure a priori incohérente.

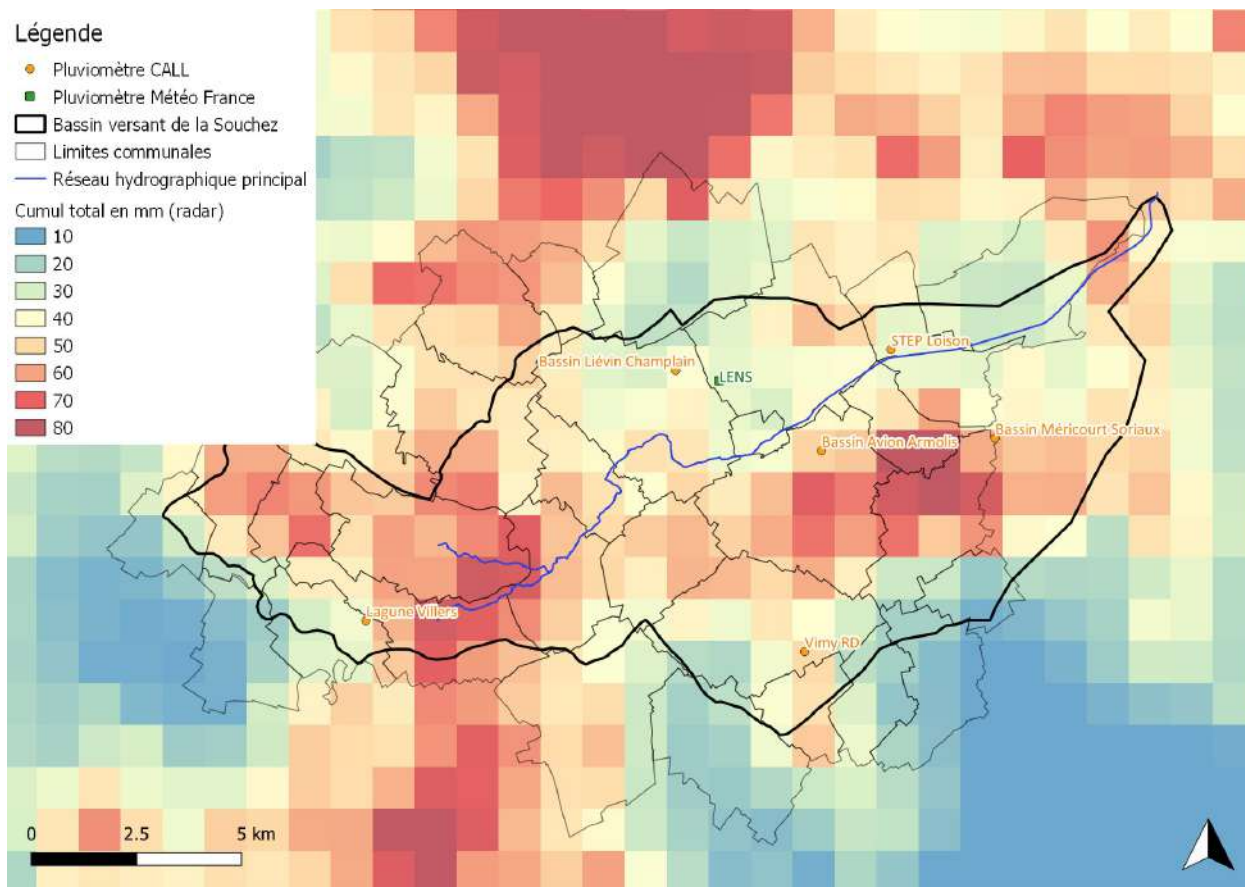


Figure 5: Cumuls de pluie mesurés par le RADAR lors de l'épisode du 7 juin 2016

3.2.2. Analyse des principaux évènements et principaux enseignements hydrologiques

Comme évoqué précédemment, les principaux événements récents à l'origine d'inondations importantes (débordements et phénomènes de ruissellement importants) sur le bassin versant de la Souchez. Il s'agit des épisodes pluvieux suivants :

- Pluie du 13/08/2015,
- Pluie du 30 et 31/05/2016,
- Pluie du 07/06/2016.

Ces événements sont étudiés et caractérisés du point de vue pluviométrique (cumuls, conditions antécédentes de pluviométrie, etc.) sur la base des données collectées dans les paragraphes suivants.

➤ **Pluie du 13/08/2015**

Des averses se développent et circulent dans un flux de sud à sud-ouest instable sur l'est du département. Les cellules orageuses s'évacuent rapidement mais sont de très fortes

intensités. Elles débutent en fin d'après-midi le 13/08/2015 et se poursuivent jusqu'en première partie de soirée. 2 communes ont ainsi fait l'objet d'un arrêté CATNAT sur le bassin versant de la Souchez : Ablain-Saint-Nazaire et Harnes.

18 repères de crue ont été identifiés pour cet épisode pluvieux dans le cadre des entretiens réalisés avec les commune lors de la Phase 1.

La figure suivante illustre le hyétogramme de l'épisode pluvieux sur la commune de Villers-au-Bois. Ce dernier a eu lieu sur environ 1h entre 16h30 et 17h30 (heure locale) avec une période intense sur environ 30 min entre 16h45 et 17h15 (heure locale). Aux pluviomètres de la CALL, les cumuls enregistrés ont atteint environ 42 mm à Villers-au-Bois sur toute la durée de l'événement (et 36 mm sur la période intense de 30 min).

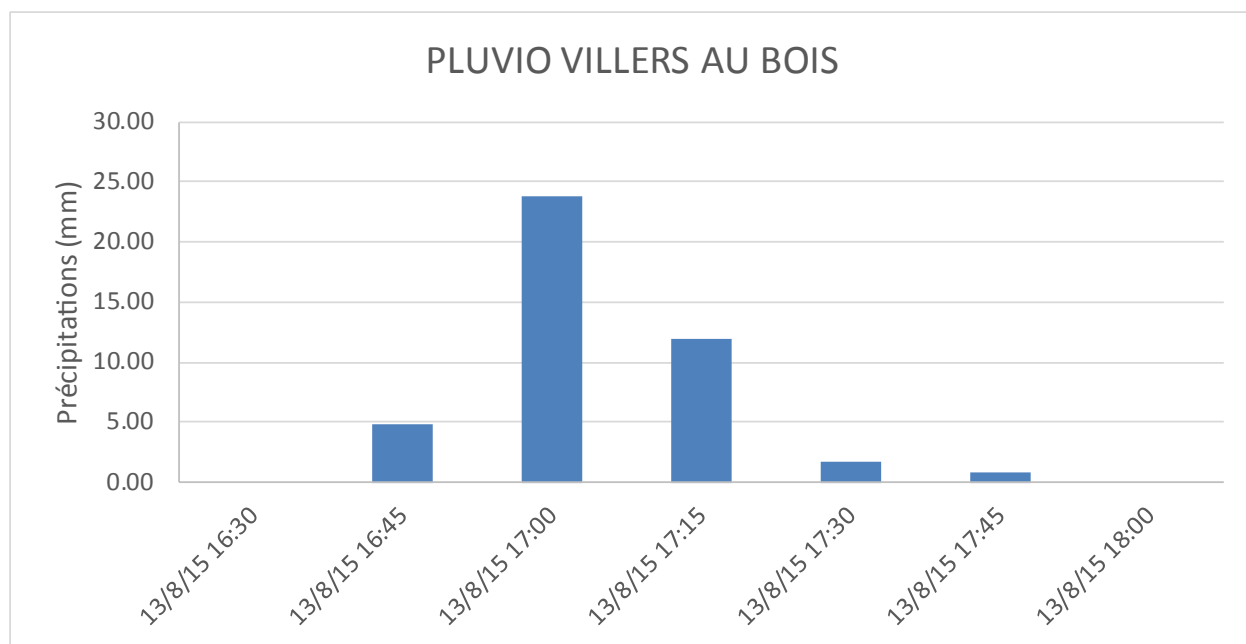


Figure 6: Hyétogramme de l'épisode pluvieux du 13/08/15 sur la commune de Villers-au-Bois

Le tableau suivant illustre les périodes de retour de l'épisode pluvieux du 13/08/2015 estimées à partir des données statistiques à Lille-Lesquin pour l'ensemble des pluviomètres de la CALL positionnés sur le bassin versant versant de la Souchez. Les périodes de retour sont évaluées pour des durées de pluie de 30 min (durée de la période intense) et 1h (durée de l'événement).

Poste	Cumul max sur 30 min (mm)	Période de retour (Lillers)
PLUVIO MERICOURT	11.40	< 5 ans
PLUVIO LIEVIN	34.80	30 ans
PLUVIO AVION	24.00	5 - 10 ans
PLUVIO LOISON	27.00	10 ans
PLUVIO VILLERS AU BOIS	35.82	30 - 50 ans
PLUVIO VIMY	18.00	< 5 ans

Tableau 7: Période de retour estimée de l'épisode pluvieux du 13/08/15 sur 30 min pour l'ensemble des pluviomètres de la CALL (source : Météo-France)

Poste	Cumul max sur 1h (mm)	Période de retour (Lillers)
PLUVIO MERICOURT	12.20	< 5 ans
PLUVIO LIEVIN	36.40	30 - 50 ans
PLUVIO AVION	25.20	5 - 10 ans
PLUVIO LOISON	30.60	10 - 20 ans
PLUVIO VILLERS AU BOIS	42.43	100 ans
PLUVIO VIMY	19.20	< 5 ans

Tableau 8: Période de retour estimée de l'épisode pluvieux du 13/08/15 sur 1 h pour l'ensemble des pluviomètres de la CALL (source : Météo-France)

Parmi les pluviomètres de la CALL, les cumuls les plus importants sur 30 min ont été enregistrés à Villers-au-Bois (environ 36 mm). La période de retour sur 30 min de l'épisode pluvieux à Villers-au-Bois est de l'ordre de 30-50 ans. Toujours sur 30 min, les périodes de retour aux autres différents pluviomètres de la CALL sont supérieures à 5-10 ans (excepté à Vimy et Méricourt sur la partie Sud et Est du bassin versant de la Souchez).

Toujours parmi les pluviomètres de la CALL, les cumuls les plus importants sur 1 h ont également été enregistrés à Villers-au-Bois (environ 42 mm). La période de retour sur 1 h de l'épisode pluvieux à Villers-au-Bois est de l'ordre de 100 ans. Toujours sur 1 h, les périodes de retour aux autres pluviomètres de la CALL sont également supérieures à 5-10 ans (excepté à Vimy et Méricourt sur la partie Sud et Est du bassin versant de la Souchez).

Le RADAR illustre le fait que la pluviométrie a été plus importante sur la partie aval du bassin versant (ce qui ne ressort pas de l'analyse des pluviomètres terrestres de la CALL). A titre de comparaison, sur le bassin versant de la Souchez, le RADAR indique des cumuls maximum de l'ordre de 46 mm sur la commune de Harnes (période de retour supérieure à 100 ans sur 1h).

Par ailleurs, dans le cadre de son rapport météorologique des pluies du 13 août 2015, Météo France avait évalué les cumuls sur 1h sur les communes d'Ablain-Saint-Nazaire, Harnes et Lens situées sur le bassin versant de la Souchez :



- Ablain-Saint-Nazaire : 39mm en 1h,
- Harnes : 63mm en 1h,
- Lens : 46mm en 1h.

Au regard des statistiques disponibles à la station de Lillers, ces cumuls correspondent aux périodes de retour suivantes :

- Ablain-Saint-Nazaire : environ 50 ans,
- Harnes : supérieure à 100 ans,
- Lens : supérieure à 100 ans.

Notre analyse est globalement cohérente avec les estimations de Météo France, l'événement du 13 août 2015 est localement de période de retour 100 ans ou plus sur 1h, notamment sur la partie aval du bassin versant de la Souchez.

Le tableau ci-après présente la pluviométrie enregistrée à la station Météo France de Lens avant l'événement du 13/08/2015. La pluviométrie journalière à Lens a été récupérée sur les 2 mois précédant l'épisode pluvieux du 13/08/2015. A titre de comparaison les moyennes mensuelles pour le mois d'août ont également été récupérées aux stations Météo France de Douai et Arras ainsi qu'aux stations DREAL d'Ourton et Bruay-la-Buissière.

Station pluviométrique	Lens
Pluviométrie les 2 mois précédant l'événement (mm)	82.9
Pluviométrie le mois précédant l'événement (mm)	45.7
Pluviométrie les 15 jours précédant l'événement (mm)	5.1
Pluviométrie les 5 jours précédant l'événement (mm)	0.0
Moyenne mensuelle août Douai (mm)	62.4
Moyenne mensuelle août Arras (mm)	62.9
Moyenne mensuelle août Ourton (mm)	67.7
Moyenne mensuelle août Bruay-la-Buissière (mm)	67

Tableau 9: Pluviométrie enregistrée à la station Météo France de Lens avant l'événement du 13/08/2015

Il a globalement très peu plu avant l'épisode du 13/08/2015, 0 mm dans les 5 jours qui ont précédé l'événement, 5.1 mm dans les 15 jours précédents (soit moins d'1/10e de la pluviométrie moyenne mensuelle en août aux stations Météo France et DREAL situées à proximité immédiate du territoire d'étude) et 45.7 mm dans le mois précédent (soit environ 2/3 de la pluviométrie moyenne mensuelle pour le mois d'août). **Les sols sont globalement secs au début de l'épisode pluvieux du 13 août 2015.**

➤ **Pluie du 30 au 31 mai 2016**

Cet événement a été marqué par une pluie globalement continue entre 11h le 30/05/16 et 8h le 31/05/16 (heures locales) avec des intensités peu marquées mais des cumuls importants. Aux pluviomètres de la CALL, les cumuls enregistrés ont atteint environ 91 mm à Liévin sur toute la durée de l'événement (soit environ 21h). Les communes d'Ablain-Saint-Nazaire, Aix-Noulette, Angres, Bouvigny-Boyeffles, Bully-les-Mines, Carency, Servins, Souchez, Avion, Grenay et Neuville-Saint-Vaast ont fait l'objet d'un arrêté CATNAT pour les inondations et coulées de boue du 29 mai 2016 au 8 juin 2016. Le secteur le plus touché est la partie amont du bassin versant de la Souchez.

15 repères de crue ont été identifiés pour cette épisode pluvieux dans le cadre des entretiens réalisés avec les communes lors de la Phase 1.

La figure suivante illustre le hétérogramme de l'épisode pluvieux sur la commune de Liévin.

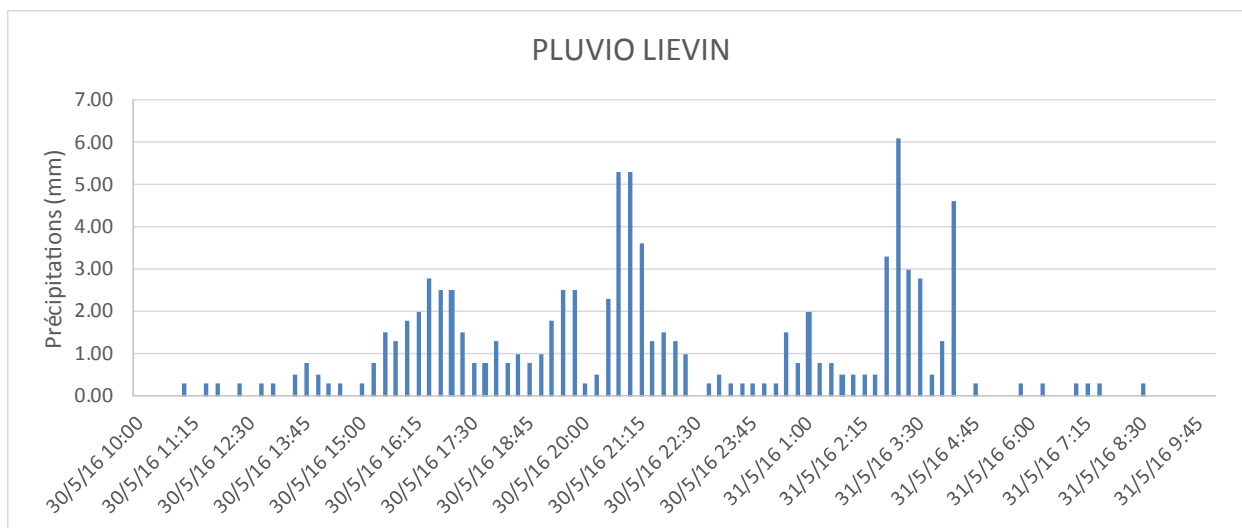


Figure 7: Hyétoqramme de l'épisode pluvieux des 30 et 31/05/16 sur la commune de Liévin

Le tableau suivant illustre les périodes de retour de l'épisode pluvieux des 30 et 31/05/2016 estimées à partir des données statistiques à Lille-Lesquin pour l'ensemble des pluviomètres de la CALL positionnés sur le bassin versant versant de la Souchez. Les périodes de retour sont évaluées pour des durées de pluie de 24h (environ la durée de l'événement).



Poste	Cumul max sur 24h (mm)	Période de retour (Lillers)
PLUVIO MERICOURT	66.40	10 ans
PLUVIO LIEVIN	90.80	50 ans
PLUVIO AVION	69.60	10 - 20 ans
PLUVIO LOISON	74.80	20 ans
PLUVIO VIMY	58.40	5 ans
PLUVIO LENS MF	58.40	5 ans

Tableau 10: Période de retour estimée de l'épisode pluvieux des 30 et 31/05/16 sur 24 h pour l'ensemble des pluviomètres de la CALL (source : Météo-France)

Le RADAR illustre le fait que la pluviométrie a été plus importante sur la moitié amont du bassin versant (en amont de Liévin).

Parmi les pluviomètres de la CALL, les cumuls les plus importants sur 24 h ont été enregistrés à Liévin (environ 91 mm). La période de retour sur 24 h de l'épisode pluvieux à Liévin est de l'ordre de 50 ans. Toujours sur 24 h, les périodes de retour aux autres pluviomètres de la CALL sont toutes supérieures à 10 ans (excepté à Vimy et Lens en partie Sud et Nord du bassin versant de la Souchez où la période de retour est inférieure).

Ainsi la période de retour de la pluie du 30-31 mai 2016 est localement de l'ordre de 50 ans sur 24h, notamment sur la partie amont du bassin versant de la Souchez.

Le tableau ci-après présente la pluviométrie enregistrée aux stations Météo France de Lens, Aubigny et Bajus avant l'événement du 30 et 31/05/2016. La pluviométrie journalière à Lens, Aubigny et Bajus sur les 2 mois précédant l'épisode pluvieux est issues des études menées sur le bassin versant de la Lawe pour le compte de la DDTM 62. A titre de comparaison les moyennes mensuelles pour le mois de mai ont également été récupérées aux stations Météo France de Douai et Arras ainsi qu'aux stations DREAL d'Ourton et Bruay-la-Buissière.



Station pluviométrique	Lens	Aubigny	Bajus
Pluviométrie les 2 mois précédant l'événement (mm)	119.6	137.5	149.7
Pluviométrie le mois précédant l'événement (mm)	75.9	80.6	89.4
Pluviométrie les 15 jours précédant l'événement (mm)	48.3	55.4	55.8
Pluviométrie les 5 jours précédant l'événement (mm)	5.9	15.5	13.8
Moyenne mensuelle mai Douai (mm)		57.5	
Moyenne mensuelle mai Arras (mm)		59.6	
Moyenne mensuelle mai Ourton (mm)		64.9	
Moyenne mensuelle mai Bruay-la-Buissière (mm)		58.0	

Tableau 11: Pluviométrie enregistrée à la station Météo France de Lens avant l'événement du 30 et 31/05/2016

Il a plu avant l'épisode du 30 et 31/05/2016, environ 6 mm à Lens dans les 5 jours qui ont précédé l'événement, près de 50 mm dans les 15 jours précédents (soit environ 80 % de la pluviométrie moyenne mensuelle en mai aux stations Météo France et DREAL situées à proximité immédiate du territoire d'étude) et environ 76 mm dans le mois précédent (soit environ 1.3 fois la pluviométrie moyenne mensuelle pour le mois de mai). **Les sols sont légèrement saturés au début de l'épisode pluvieux du 30-31 mai 2016.**

➤ **Pluie du 7 juin 2016**

Des pluies diluviennes se sont abattues dans le Pas-de-Calais, essentiellement sur un axe central entre Montreuil-sur-mer et le bassin minier ainsi que sur l'Arrageois. Les orages ont parfois été accompagnés de vent. Des rafales à 90km/h ont notamment été mesurées à Lesquin. L'épisode a eu lieu globalement entre 15h et 20h (heures locales) le 07/07/2016 avec des intensités ponctuellement et localement très importantes.

Au pluviomètres de la CALL, les cumuls enregistrés ont atteint environ 46 mm à Loison-sous-Lens sur toute la durée de l'événement (soit 5h) et 30 mm sur une période intense d'environ 1h entre 15h30 et 16h30 (heures locales). Les communes d'Ablain-Saint-Nazaire, Aix-Noulette, Angres, Bouvigny-Boyeffles, Bully-les-Mines, Carency, Servins, Souchez, Avion, Grenay et Neuville-Saint-Vaast ont fait l'objet d'un arrêté CATNAT pour les inondations et coulées de boue du 29 mai 2016 au 8 juin 2016.

103 repères de crue ont été identifiés pour cette épisode pluvieux dans le cadre des entretiens réalisés avec les communes lors de la Phase 1.

La figure suivante illustre le hyétogramme de l'épisode pluvieux sur la commune de Loison-sous-Lens.

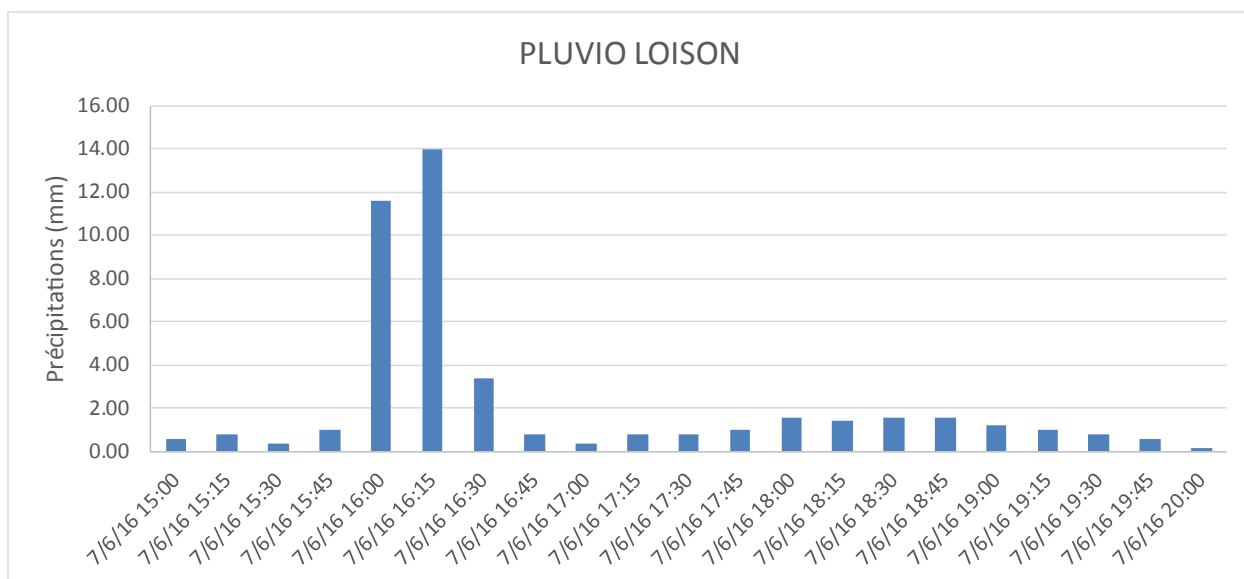


Figure 8: Hyetogramme de l'épisode pluvieux du 07/06/16 sur la commune de Loison-sous-Lens

Le tableau suivant illustre les périodes de retour de l'épisode pluvieux du 07/06/2016 estimées à partir des données statistiques à Lille-Lesquin pour l'ensemble des pluviomètres de la CALL positionnés sur le bassin versant de la Souchez. Les périodes de retour sont évaluées pour des durées de pluie de 1h (durée de la période intense) et 6h (approximativement la durée de l'événement).

Poste	Cumul max sur 1h (mm)	Période de retour (Lille)
PLUVIO MERICOURT	20.20	< 5ans
PLUVIO LIEVIN	18.80	< 5ans
PLUVIO AVION	21.20	< 5ans
PLUVIO LOISON	30.00	10-20 ans
PLUVIO VIMY	18.20	< 5ans

Tableau 12: Période de retour estimée de l'épisode pluvieux du 07/06/16 sur 1 h pour l'ensemble des pluviomètres de la CALL (source : Météo-France)

Poste	Cumul max sur 6h (mm)	Période de retour (Lille)
PLUVIO MERICOURT	42.60	5 - 10 ans
PLUVIO LIEVIN	34.30	< 5ans
PLUVIO AVION	41.20	5 - 10 ans
PLUVIO LOISON	45.60	10 ans
PLUVIO VIMY	24.00	< 5ans

Tableau 13: Période de retour estimée de l'épisode pluvieux du 07/06/16 sur 6 h pour l'ensemble des pluviomètres de la CALL (source : Météo-France)



Parmi les pluviomètres de la CALL, les cumuls les plus importants sur 1 h (durée de la période intense) ont été enregistrés à Loison-sous-Lens (environ 30 mm). La période de retour sur 1 h de l'épisode pluvieux à Loison-sous-Lens est de l'ordre de 10-20 ans. Toujours sur 1 h, les périodes de retour aux autres pluviomètres de la CALL sur le bassin versant de la Souchez sont inférieures à 5 ans.

Toujours parmi les pluviomètres de la CALL, les cumuls les plus importants sur 6 h (durée approximative de l'événement) ont également été enregistrés au pluviomètre de Loison-sous-Lens (environ 46 mm). La période de retour sur 6 h de l'épisode pluvieux à Loison-sous-Lens est de l'ordre de 10 ans. Toujours sur 6 h, les périodes de retour aux autres pluviomètres de la CALL sont comprises entre 5 et 10 ans.

Le RADAR illustre le fait que la pluviométrie a été très hétérogène sur le bassin versant de la Souchez lors de cet événement. Les cumuls varient par endroit du simple au double entre 2 pixels voisins du RADAR. D'après les informations recueillies dans le cadre de la Phase 1, les communes de Souchez et Ablain-Saint-Nazaire ont été particulièrement touchées lors de cet épisode. D'après le RADAR il a plu ponctuellement jusqu'à 77 mm sur la durée de l'événement (68 mm en 1 heure) sur la commune d'Ablain-Saint-Nazaire. Ces cumuls à Ablain-Saint-Nazaire sont de période de retour largement supérieure à 100 ans.

Ainsi, même si les cumuls mesurés aux pluviomètres de la CALL ne sont pas très importants, la période de retour de la pluie du 7 juin 2016 est localement largement supérieure à 100 ans sur 1h, notamment à l'amont du bassin versant sur les communes de Souchez et Ablain-Saint-Nazaire et à l'aval sur les communes de Méricourt et Sallaumines.

La figure suivante illustre un hyétogramme de la pluie issu du RADAR Météo France sur un pixel de la commune d'Ablain-Saint-Nazaire.

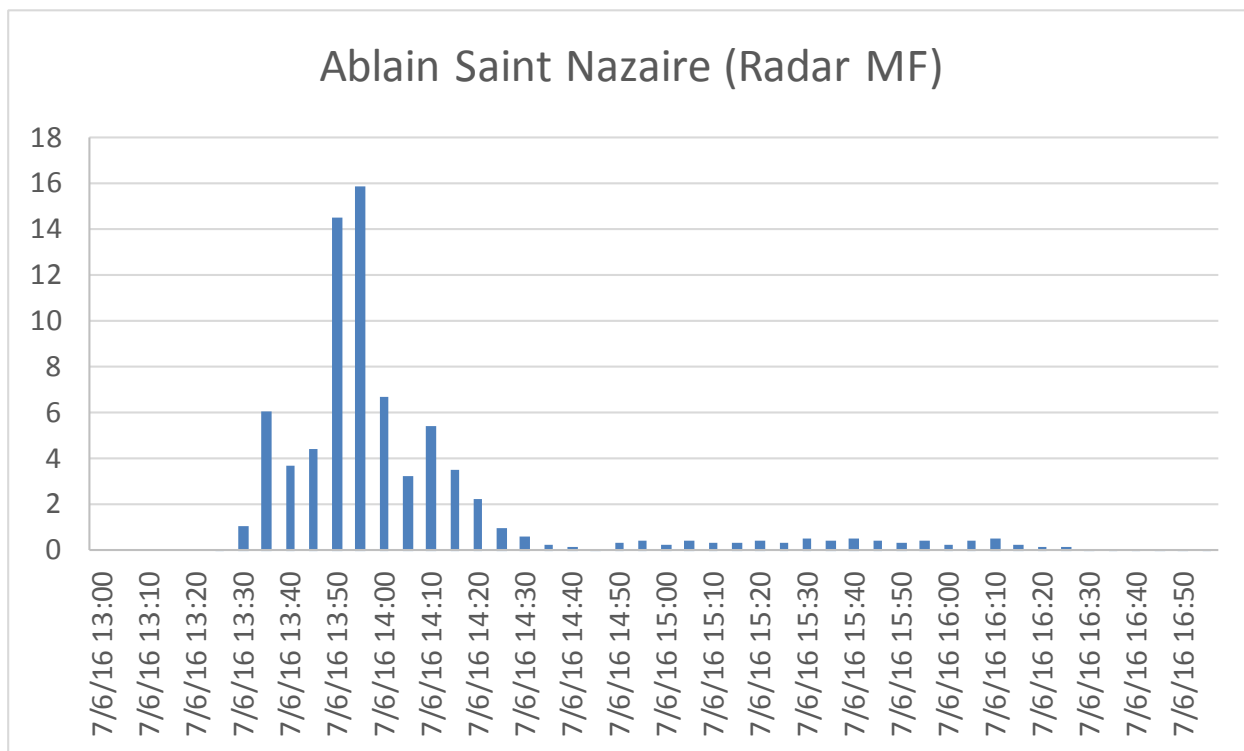


Figure 9: Hyetogramme de l'épisode pluvieux du 07/06/16 issu du RADAR Météo France sur la commune d' Ablain-Saint-Nazaire

Le tableau ci-après présente la pluviométrie enregistrée aux stations Météo France de Lens, Aubigny et Bajus avant l'événement du 07/06/2016. La pluviométrie journalière à Lens, Aubigny et Bajus sur les 2 mois précédant l'épisode pluvieux est issues des études menées sur le bassin versant de la Lawe pour le compte de la DDTM 62. A titre de comparaison les moyennes mensuelles pour le mois de mai ont également été récupérées aux stations Météo France de Douai et Arras ainsi qu'aux stations DREAL d'Ourton et Bruay-la-Buissière.

Station pluviométrique	Lens	Aubigny	Bajus
Pluviométrie les 3 mois précédant l'événement (mm)	223.4	258.9	289.0
Pluviométrie les 2 mois précédant l'événement (mm)	188.3	210.8	243.6
Pluviométrie le mois précédant l'événement (mm)	151.2	168.7	197.7
Pluviométrie les 15 jours précédant l'événement (mm)	82.1	104.4	123.2
Pluviométrie les 5 jours précédant l'événement (mm)	14.0	5.9	14.6
Moyenne mensuelle juin Douai (mm)		64.6	
Moyenne mensuelle juin Arras (mm)		62.5	
Moyenne mensuelle juin Ourton (mm)		64.2	
Moyenne mensuelle juin Bruay-la-Buissière (mm)		58.1	

Tableau 14: Pluviométrie enregistrée à la station Météo France de Lens avant l'événement du 07/06/2016

Il a beaucoup plu avant l'épisode du 07/06/2016, en raison de l'épisode pluvieux exceptionnel des 30 et 31 mai 2016 (cf. ci-dessus). En effet, il est tombé environ 14 mm à Lens dans les 5 jours qui ont précédé l'événement, 82 mm dans les 15 jours précédents (soit environ 1.3 fois la pluviométrie moyenne mensuelle en juin aux stations Météo France et DREAL situées à proximité immédiate du territoire d'étude) et environ 151 mm dans le mois précédent (soit près de 2.5 fois la pluviométrie moyenne mensuelle pour le mois de juin). **Les sols sont largement saturés au début de l'épisode pluvieux du 7 juin 2016.**

En conclusion, les données de pluie retenues pour la modélisation des événements de calage sont les lames d'eau RADAR PANTHERE et cela même s'il existe des écarts avec certains pluviomètres selon les événements. Dans le cas d'une modélisation hydrologique de type pluie-débit ou pluie-ruissellement, les données RADAR présentent l'avantage de caractériser la répartition spatiale de l'événement pluvieux. Cette caractérisation de la répartition spatiale d'une pluie est en effet plus difficile voire impossible avec des données terrestres uniquement.

N.B. : Par acquis de conscience, les lames d'eau RADAR ANTILOPE ont également été étudiées dans le cadre de l'analyse ci-dessus. Il s'avère que les écarts avec les pluviomètres terrestres ne sont pas moins importants que dans le cas des lames d'eau PANTHERE.

3.2.3. Événements retenus pour le calage des modèles hydrauliques

Au regard du caractère très récent et bien documenté (nombreux repères de crue identifiés lors des enquêtes de terrain et levés par le géomètre) des épisodes pluvieux de fin mai et



début juin 2016 et de celui de mi-août 2015, il est proposé de les retenir pour caler le modèle hydraulique :

- 7 juin 2016 pour le calage du modèle sur l'ensemble du bassin versant ;
- 30-31 mai 2016 pour le calage du modèle sur la partie amont du bassin versant ;
- 13 août 2015 pour le calage du modèle sur la partie aval du bassin versant.

En effet, 103 repères de crue ont été identifiés et levés pour l'événement du 7 juin 2016, 15 pour l'événement des 30 et 31 mai 2016 et 18 pour l'événement du 13 août 2015.

3.2.4. Sélection des événements de référence

L'aléa de référence s'appuie de préférence sur un événement historique connu s'il s'avère que ce dernier est d'occurrence au moins centennale. Dans tous les cas, l'information historique est exploitée afin de produire un aléa représentatif des phénomènes susceptibles de se produire sur le bassin versant de la Souchez.

L'épisode orageux du 07/06/2016 est dans toutes les mémoires sur le bassin de la Souchez. Par ailleurs, comme évoqué ci-dessus, il s'agit d'un événement bien documenté (de nombreux repères de crue ont été levés pour ce dernier à l'issue de la Phase 1 de l'étude).

Au regard de l'analyse hydrologique réalisée précédemment, la période de retour de la pluie estimée pour cet épisode est très largement supérieure à 100 ans en plusieurs points du bassin versant de la Souchez, en particulier à Souchez, Ablain-Saint-Nazaire en partie amont du bassin versant mais également à Sallaumines, Méricourt en partie aval. Les précipitations à Ablain-Saint-Nazaire sur 1 h sont près de deux fois supérieures aux cumuls de période de retour 100 ans sur 1h à Lillers.

De plus, la pluie du 07/06/2016 s'est produite sur un sol largement saturé. En effet, un autre épisode pluvieux exceptionnel s'est produit une semaine avant cette dernière (la pluie des 30 et 31/05/2016 dont la période de retour sur 24 h est estimée à environ 50 ans à Liévin).

Pour les raisons évoquées ci-dessus, l'épisode orageux du 07/06/2016 est retenu pour caractériser l'aléa de référence (scénario « moyen ») sur le territoire d'étude.

4. PÉRIMÈTRE DE LA MODÉLISATION

4.1. COMMUNES RETENUES

Conformément au CCTP, la présente étude porte sur 31 communes du bassin versant de la Souchez : Ablain-Saint-Nazaire, Acheville, Aix-Noulette, Angres, Arleux-en-Gohelle, Avion, Bouvigny-Boyeffles, Bully-les-Mines, Carency, Eleu-dit-Leauwette, Estree-Cauchy, Farbus, Givenchy-en-Gohelle, Gouy-Servins, Grenay, Lens, Lievin, Loison-sous-Lens, Loos-en-Gohelle, Mericourt, Neuville-Saint-Vaast, Noyelles-sous-Lens, Sallaumines, Servins, Souchez, Thelus, Villers-au-Bois, Vimy, Willerval, Harnes et Camblain l'Abbe.

Certaines communes ne sont pas intégralement situées à l'intérieur du bassin versant de la Souchez. Le tableau suivant illustre la proportion de chaque commune située à l'intérieur du bassin versant de la Souchez.

Commune	% à l'intérieur du BV
Ablain-Saint-Nazaire	100%
Acheville	84%
Aix-Noulette	49%
Angres	100%
Arleux-en-Gohelle	15%
Avion	100%
Bouvigny-Boyeffles	16%
Bully-les-Mines	9%
Camblain-L'Abbe	3%
Carency	71%
Eleu-dit-Leauwette	100%
Estrée-Cauchy	24%
Farbus	66%
Givenchy-en-Gohelle	99%
Gouy-Servins	100%
Grenay	4%
Harnes	42%
Lens	82%
Lievin	100%
Loison-sous-Lens	57%
Loos-en-Gohelle	7%
Mericourt	100%
Neuville-Saint-Vaast	7%
Noyelles-sous-Lens	100%
Sallaumines	100%
Servins	72%
Souchez	99%
Thélus	7%
Villers-au-Bois	60%
Vimy	98%
Willerval	16%

Tableau 15: Proportion de chaque commune à l'intérieur du bassin versant de la Souchez



Les communes de Arleux-en-Gohelle, Bouvigny-Boyeffles, Bully-les-Mines, Camblain-L'Abbé, Estrée-Cauchy, Grenay, Loos-en-Gohelle, Neuville-Saint-Vaast, Thélus et Willerval possèdent notamment moins de 25 % de leur territoire à l'intérieur du bassin versant de la Souchez. D'après les enquêtes de terrain, il s'avère par ailleurs que ces communes situées en limite de bassin versant ne sont pas particulièrement soumises au risque d'inondation par débordement de cours d'eau et ruissellement. Pour les raisons évoquées ci-avant, il est proposé d'écarter les communes dont moins de 25 % de la superficie se situe à l'intérieur du bassin versant de la Souchez.

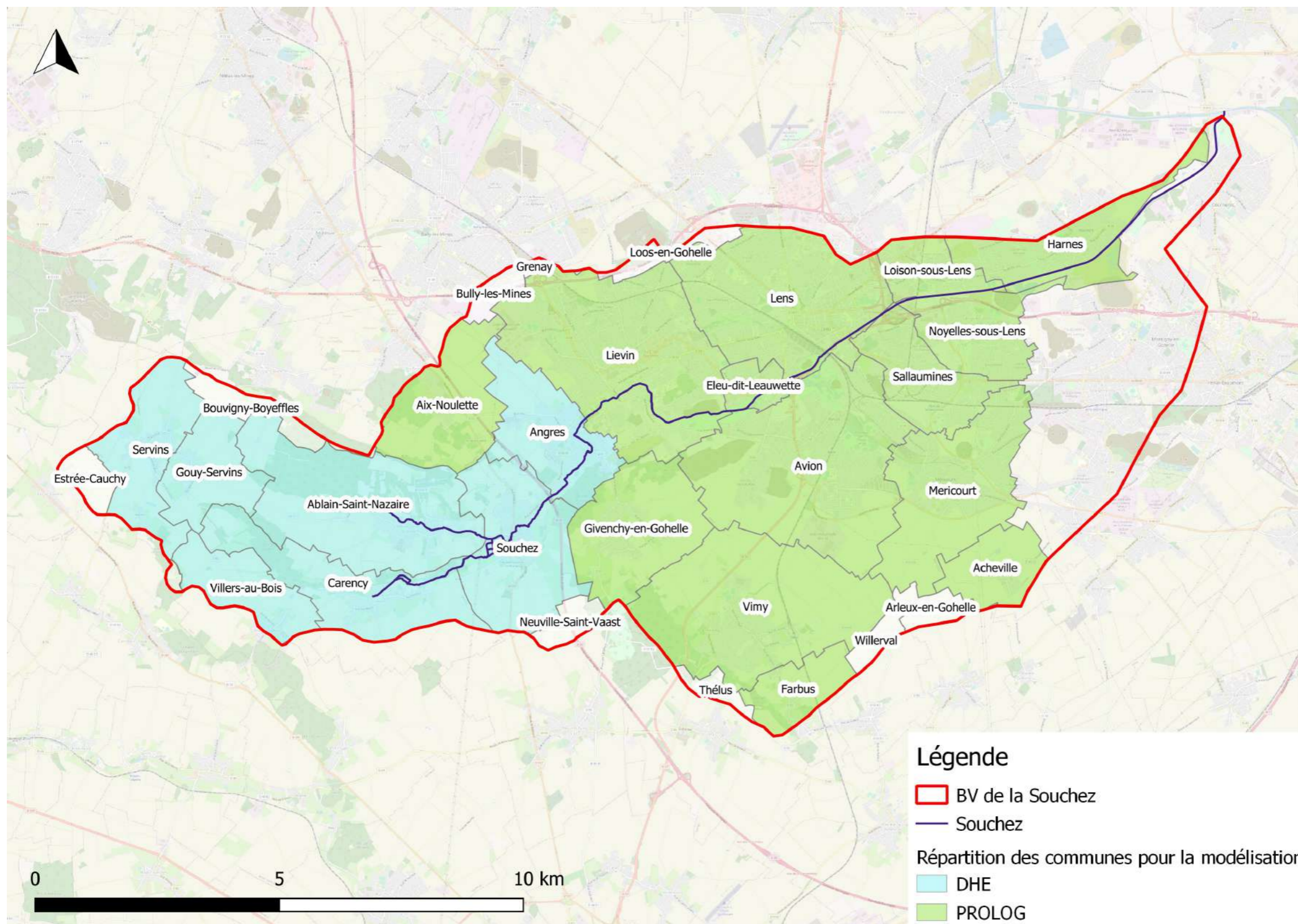
Les communes de Loison-sous-Lens, Noyelles-sous-Lens et Harnes situées sur la partie aval du bassin versant de la Souchez (en amont de la confluence entre le canal de Lens avec le canal de dérivation de la Scarpe en provenance de Douai) ne semblent pas soumises au risque de débordement de cours d'eau d'après les entretiens avec les communes. D'après les cartes du TRI de Lens, elles sont toutefois inondables par débordement du canal de Lens pour le scénario extrême de période de retour environ 1000 ans. Elles feront donc l'objet d'une caractérisation de l'aléa débordement de cours d'eau pour chacun des scénarios fréquent, moyen et extrême.

L'ensemble des communes dont plus de 25 % de la superficie se situe à l'intérieur du bassin versant de la Souchez feront l'objet d'une caractérisation de l'aléa débordement de cours et ruissellement.

4.2. DÉCOUPAGE DU TERRITOIRE D'ÉTUDE ENTRE PROLOG INGÉNIERIE ET DHE

Prolog Ingénierie et DHE se sont réparties les communes pour la caractérisation de l'aléa débordement de cours d'eau et ruissellement. La figure suivante illustre la répartition des communes entre Prolog Ingénierie et DHE pour la caractérisation des aléas débordement de cours d'eau et ruissellement (modélisation hydraulique).

Figure 10: Décomposition du territoire d'étude entre Prolog Ingénierie et DHE pour la caractérisation de l'aléa débordement et ruissellement



5. MODÉLISATION DE L'ALÉA DÉBORDEMENT DE COURS D'EAU

Ce chapitre s'attache à décrire la méthode proposée pour représenter les débordements de Souchez et de ses principaux affluents en période de crue.

Les logiciels de modélisation utilisés pour la caractérisation de l'aléa débordement de cours d'eau sont les logiciels HEC-HMS 4.3 (modélisation hydrologique) et HEC-RAS 5.0.7 (modélisation hydraulique). Ce dernier résout les équations de Barré-de-Saint-Venant en régime transitoire dans leurs versions unidimensionnelle et bidimensionnelle.

5.1. APPROCHE PLUIE-DÉBIT À L'ÉCHELLE DU BASSIN VERSANT

Afin de caractériser les apports hydrologiques contribuant à la génération des crues de la Souchez, l'approche numérique retenue consiste à modéliser, à l'aide du logiciel HEC-HMS, la transformation de la pluie en débit sur l'ensemble du bassin versant topographique (modélisation hydrologique), y compris sur les communes qui ne sont pas étudiées dans le cadre de la présente étude. Cette méthode est privilégiée en raison de l'absence de station hydrométriques sur la Souchez.

Par ailleurs l'approche pluie-débit possède une plus-value importante par rapport à la méthode probabiliste (lois statistiques) qui exploite les mesures hydrométriques :

- elle permet de représenter les hétérogénéités et variations de l'occupation des sols à l'échelle du bassin versant,
- elle permet d'estimer la réponse de chaque sous bassin versant à la pluie,
- elle permet de rendre compte des décalages entre les différentes contributions du bassin versant, et par conséquent des mécanismes de propagation des crues au sein du réseau hydrographique principal.

La mise en œuvre de cette méthode repose sur l'exploitation des données pluviométriques et des caractéristiques de chaque sous-bassins versants (plus long chemin hydraulique, pente, superficie, etc.) pour générer des hydrogrammes sur chacun de ces derniers.

Cependant l'approche pluie-débit seule ne permet pas de qualifier l'occurrence des crues simulées. En effet, une pluie d'occurrence donnée ne conduit pas nécessairement à une crue de même occurrence. Malheureusement l'absence de données hydrométriques sur la Souchez ne permet pas de caractériser les débits de crue et leur occurrence.

Prolog Ingénierie possédant une bonne connaissance du fonctionnement hydraulique de certains bassins versants voisins et très similaires à celui de la Souchez (notamment de bassin versant de la Lawe), les débits de crue de la Souchez pourront être estimés par analogie et serviront de points de comparaison et d'ajustement dans le cadre du calage du modèle.

Le modèle pluie-débit (modèle hydrologique) constitue ensuite la donnée d'entrée du modèle hydraulique présenté au chapitre 5.2 ci-après et permettant quant à lui de propager

l'onde de crue (estimation des hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement au sein du réseau hydrographique modélisé) et de cartographier les débordements, et donc l'aléa, générés par les apports hydrologiques.

5.1.1. Les principes théoriques de l'approche

Globalement, la modélisation hydrologique de type pluie-débit permet de passer d'un hyétogramme représentant la pluie tombant sur un sous-bassin versant à un hydrogramme représentant le débit restitué à l'exutoire de ce sous-bassin versant. Elle permet donc d'estimer les apports des sous-bassins versants du territoire d'étude vers la Souchez et ses principaux affluents.

Traditionnellement, un modèle hydrologique HEC-HMS repose sur 4 composantes principales :

- une pluie réelle observée ou une pluie de projet qui est une représentation simplifiée du phénomène pluvieux à l'origine de la formation de la crue ;
- une fonction de production, qui permet de représenter le passage de la pluie brute à la pluie nette en évaluant les pertes (par infiltration notamment) ;
- une fonction de transfert, qui permet de représenter le passage de la pluie nette à l'hydrogramme de crue à l'exutoire de chaque sous-bassin versant ;
- une fonction de propagation, qui permet de propager les hydrogrammes de crue calculés le long du réseau hydrographique principal.

Le logiciel HEC-HMS permet la modélisation hydrologique d'un bassin versant à partir de diverses fonctions de production et de transfert. Il permet également la propagation des écoulements (onde cinématique, Muskingum, etc.) en régime permanent ou transitoire.

Les fonctions de production et de transfert dépendent de différents paramètres en fonction du modèle hydrologique choisi (l'occupation du sol, la perméabilité des sols du bassin versant, l'état de saturation du sol avant l'événement pluvieux, etc.).

5.1.2. Découpage du territoire en sous-bassins versants

La première étape dans la mise en œuvre de la méthode pluie-débit consiste à découper l'ensemble du bassin versant de la Souchez en sous-bassins versants. L'objectif du découpage en sous-bassins versants est de représenter finement la contribution propre à chaque sous-bassin au débit de la Souchez et de ses affluents. Le bassin versant de la Souchez sera découpé en sous-bassins versants sur la base du réseau hydrographique structurant et de la topographie.

Pour chacun des sous-bassins versants, les caractéristiques suivantes seront évaluées :

- Surface ;
- Plus long chemin hydraulique ;

- Pente ;
- Type de sol ;
- Occupation du sol.

La figure suivante illustre la modélisation des bassins versants à l'aide du logiciel HEC-HMS.

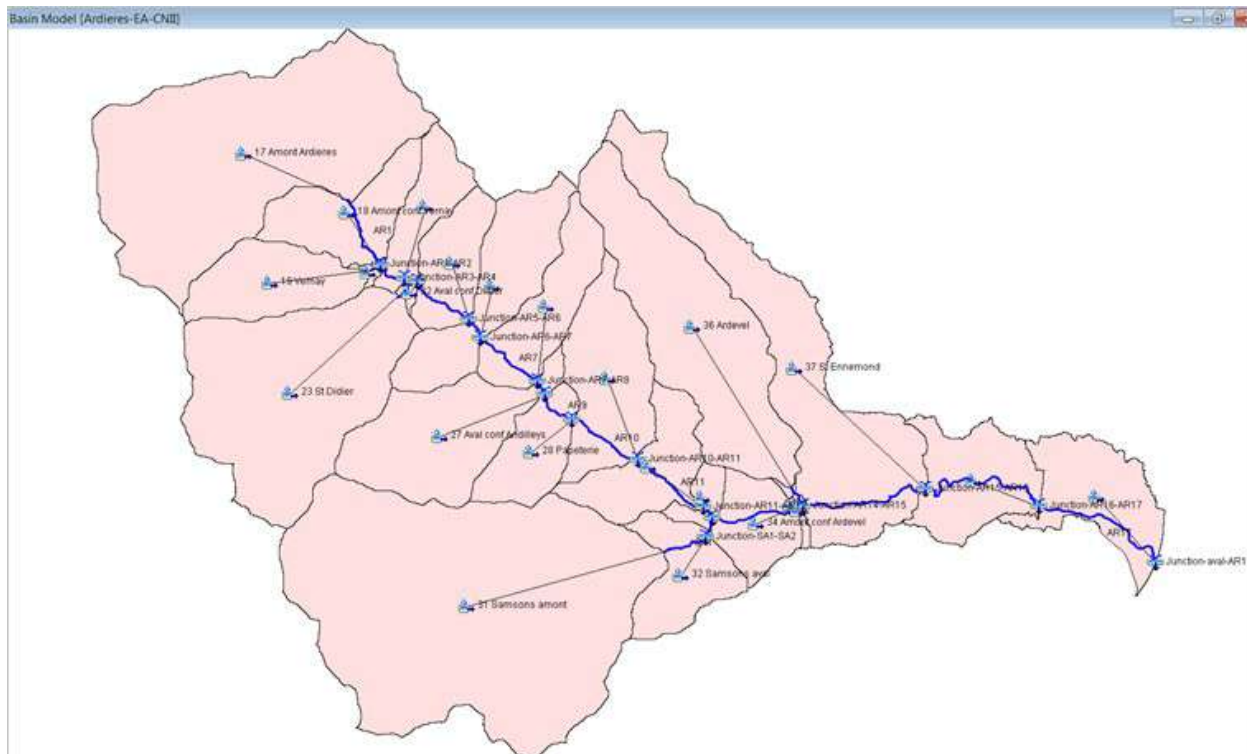


Figure 11: Illustration d'un modèle pluie-débit construit à l'aide du logiciel HEC-HMS (source : Prolog Ingénierie)

5.1.3. Choix de la fonction de production

La fonction de production du modèle hydrologique permet de transformer la pluie brute tombant sur le territoire d'étude en une pluie nette qui va réellement contribuer à la génération de la crue. La fonction de production associée à un sous-bassin versant dépend notamment de l'occupation des sols majoritaire sur ce dernier.

Au regard des caractéristiques du bassin versant de la Souchez (occupation des sols principalement rural) la fonction de production envisagée à ce stade est celle du modèle du NRCS (National Resources Conservation Service, ex-Soil Conservation Service) qui permet de rendre compte des pertes initiales au ruissellement et qui est particulièrement adaptée aux surfaces rurales peu imperméabilisées. Les sous-bassins versants sont alors caractérisés par :

- un coefficient CN (Curve Number) ;
- des pertes initiales.

Les coefficients CN et les pertes initiales de chaque sous-bassin versant sont évalués à partir du type de sol, de l'occupation des sols et des conditions antécédentes de saturation des sols. Les valeurs des coefficients CN et des pertes initiales seront ajustés lors du calage du modèle sur des épisodes de crues historiques. Cette fonction de production permet également de représenter des zones urbaines (notamment en partie aval du bassin versant de la Souchez) en introduisant un coefficient d'imperméabilisation.

La fonction de production présentée ci-avant est régulièrement utilisée pour ce type d'étude et de territoire. Toutefois, si les résultats du calage (sur des pluies réelles) s'avèrent peu concluants, d'autres fonctions de production pourront être envisagées.

5.1.4. Choix de la fonction de transfert

A chaque fonction de production est associée une fonction de transfert qui permet de calculer l'hydrogramme généré à l'exutoire du sous-bassin versant à partir de la pluie nette. La fonction de transfert envisagée à ce stade repose sur le modèle de l'hydrogramme unitaire de Clark. Elle permet de prendre en compte les phénomènes de translation et d'atténuation du débit de crue. Cette fonction repose essentiellement sur les deux paramètres ci-après :

- le temps de concentration qui illustre le phénomène de translation de la pluie nette le long du réseau hydrographique ;
- le coefficient de stockage qui représente le phénomène de stockage provisoire de la pluie nette dans le bassin versant.

Ces deux paramètres sont définis à partir des caractéristiques géométriques des sous-bassins versants (temps de concentration, etc.).

Les valeurs de ces deux paramètres seront ajustées lors du calage du modèle sur les épisodes de crues historiques. De même que précédemment, si les résultats du calage (sur des pluies réelles) s'avèrent peu concluants, d'autres fonctions de transfert pourront être envisagées.

5.1.5. Choix de la fonction de propagation

La fonction de propagation utilisée consiste à décaler dans le temps les hydrogrammes de crue calculés au fur et à mesure de leur propagation dans le réseau hydrographique principal. Cette fonction « lag » dans HEC-HMS repose sur un temps de propagation propre à chaque tronçon du réseau hydrographique. Ce temps de propagation est calculé en fonction de la longueur de chacun des tronçons et de la vitesse des écoulements. Il est ajusté lors du calage du modèle sur les épisodes de crues historiques.

La propagation des hydrogrammes générés par chaque sous-bassin versant à l'aide du logiciel HEC-HMS permet de s'assurer que l'on retrouve bien les débits de crue mesurés en différents points du réseau hydrographique de la Souchez. Comme évoqué précédemment, en l'absence de données hydrométriques (débits de crue de la Souchez notamment) pour caler le modèle hydrologique, ces derniers seront évalués sommairement par analogie avec

d'autres bassins versants voisins pour s'assurer que le modèle hydrologique permet de retrouver les bons ordres de grandeur de débits de crue sur la Souchez.

Une fois le modèle hydrologique calé, les hydrogrammes calculés à l'exutoire de chaque sous-bassin versant seront alors injectés en différents points du modèle hydraulique tout le long du linéaire de la Souchez et de ses affluents. C'est alors la structure du modèle hydraulique et les paramètres de rugosité des sols et du lit mineur des cours d'eau qui conditionne la propagation des débits vers l'aval (cf. chapitre ci-après).

5.2. MODÉLISATION DE L'ALÉA DÉBORDEMENT

5.2.1. Périmètre de la modélisation 1D-2D

Le débordement de cours d'eau sera modélisé sur l'ensemble du linéaire de la Souchez et de ses affluents principaux (le Saint-Nazaire et le Carency). Les linéaires de cours d'eau modélisés sont les suivants :

- sur le Saint-Nazaire : depuis la rue de Namur à Ablain-Saint-Nazaire jusqu'à la confluence avec le Carency,
- sur le Carency : depuis la rue Joliot-Curie à Carency jusqu'à la confluence avec le Saint-Nazaire,
- sur la Souchez : depuis la confluence entre le Saint-Nazaire et le Carency jusqu'à la confluence avec le canal de la Deûle.

Conformément au mémoire technique, l'aléa débordement est caractérisé à l'aide d'une modélisation hydraulique 1D/2D (cf. chapitre ci-après) à l'aide du logiciel HEC-RAS 5.0.7.

En l'absence de levé topographique précis de la partie enterrée de la Souchez (entre Eleudit-Leauwette et le canal de Lens), la section limitante (entre l'entrée et la sortie de la partie enterrée) sera supposée constante sur tout son linéaire.

Le linéaire de cours d'eau modélisé est ainsi de l'ordre de 27 km, y compris les parties enterrées de la Souchez.

5.2.2. Principe général de la modélisation 1D-2D

L'approche retenue pour représenter au mieux l'aléa débordement sur l'ensemble du linéaire de la Souchez et de ses principaux affluents consiste en une modélisation 1D-2D (couplage entre un modèle 1D représentant le lit mineur et un modèle 2D représentant le lit majeur) :

- La Souchez et ses principaux affluents sont représentés à l'aide d'un modèle unidimensionnelle (hypothèse d'un écoulement majoritairement perpendiculaire à la section du cours d'eau et d'une vitesse d'écoulement moyennée sur cette section). Les cours d'eau sont représentés sous la forme d'une succession de profils en travers, issus de levés topographiques ;

- Le lit majeur est quant à lui représenté à l'aide d'un modèle bidimensionnel. Dans le cas d'un modèle bidimensionnel, les écoulements peuvent se faire dans toutes les directions en fonction de la topographie et des obstacles aux écoulements présents (contrairement au modèle 1D). Le lit majeur est représenté à l'aide d'un ensemble de mailles de calcul, dont la taille (surface) est adaptée localement à l'échelle des éventuels obstacles aux écoulements et aux variations topographiques ;
- Les ouvrages (fixes, mobiles) ou obstacles ayant une influence sur les écoulements en lit mineur (ponts, seuils, etc.) et en le lit majeur (remblais, ouvrages hydraulique de décharge, etc.), sont intégrés à la modélisation (dans la mesure où les données topographiques associées sont disponibles) ;
- Les éléments 1D (lit mineur) et 2D (lit majeur) du modèle sont couplés de manière dynamique (au droit des hauts de berge) et tous les échanges entre les différents domaines connectés (lit mineur et lit majeur) peuvent se faire dans les deux sens (en remplissage, en vidange, en débordement, en ressuyage, etc.).

La figure suivante illustre les principes généraux de construction d'un modèle 1D-2D.

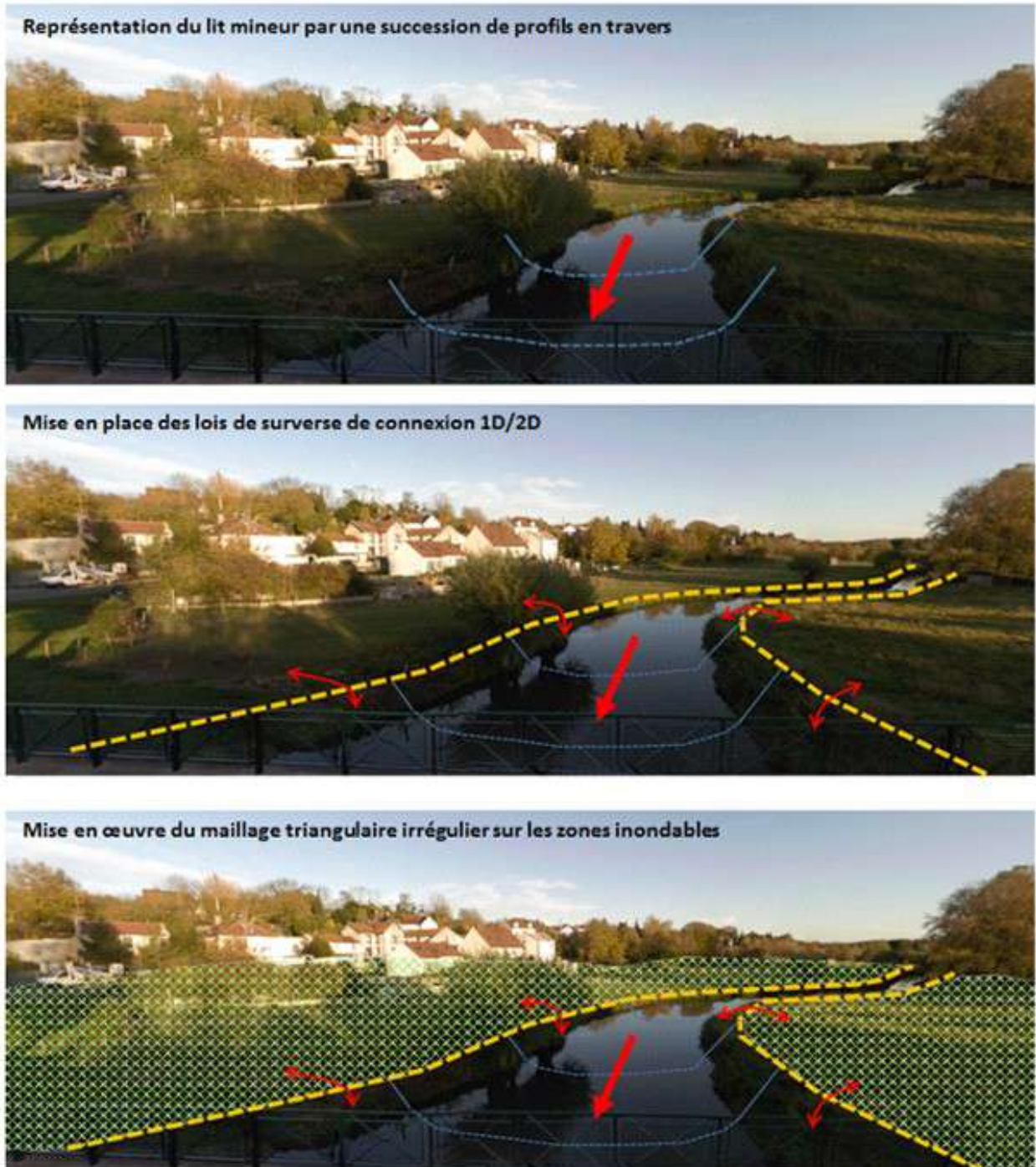


Figure 12: Principe de construction du modèle hydraulique 1D/2D



5.2.3. Modélisation des écoulements de la Souchez et de ses affluents

5.2.3.1. Modélisation 1D / 2D des écoulements

Représentation du lit mineur

Le lit mineur de la Souchez et de ces principaux affluents sont ainsi représentés par une succession de profils en travers dont la topographie a été levée par le cabinet de géomètre-expert GEO SOLUTIONS en 2019 et 2020 dans le cadre de deux campagnes de levés topographiques successives.

La première campagne a consisté à lever 31 ouvrages de franchissement sur la Souchez ainsi qu'un profil en travers immédiatement en amont et en aval de chacun d'eux. Les levés topographiques complémentaires objet de la deuxième campagne (59 profils en travers et 20 ouvrages) sont définis au sein du livrable L1 de la Phase 1 (ils concernent la Souchez et ses deux principaux affluents, le Carency et le Saint-Nazaire).

Les ponts, buses, dalots et seuils pour lesquels des données topographiques sont disponibles seront pris en compte dans le modèle.

Modélisation des débordements en lit majeur

Le lit majeur des cours d'eau est représenté par un modèle bidimensionnel, reposant sur un maillage de calcul 2D. Chaque maille constitue un élément de calcul représentant la topographie du lit majeur et tenant compte la rugosité du sol. Les données d'entrée nécessaires à la construction du maillage sont ainsi les suivantes :

- la topographie, qui caractérise le relief, les pentes et les obstacles au écoulements ;
- l'occupation des sols, qui définit la rugosité des mailles du modèle.

Dans le cadre de la présente étude, nous disposons d'un levé topographique LIDAR (RGE ALTI de l'IGN) datant de février 2020 (taille de cellule de 1 m et précision altimétrique moyenne de l'ordre de 20 cm) couvrant la totalité du territoire d'étude.

La géométrie du maillage tiendra compte des axes d'écoulement préférentiels en milieu urbain (voiries) et des obstacles à l'écoulement présents en lit majeur (remblais d'infrastructures, ouvrages, bâtiments, etc.).

Il n'est pas prévu de tenir compte des réseaux et ouvrages de gestion des eaux pluviales (bassins, etc.) en lit majeur.

La figure ci-après illustre un maillage 2D réalisé à l'aide du logiciel HEC-RAS. Le tableau ci-après illustre quant à lui la méthodologie de construction du maillage.

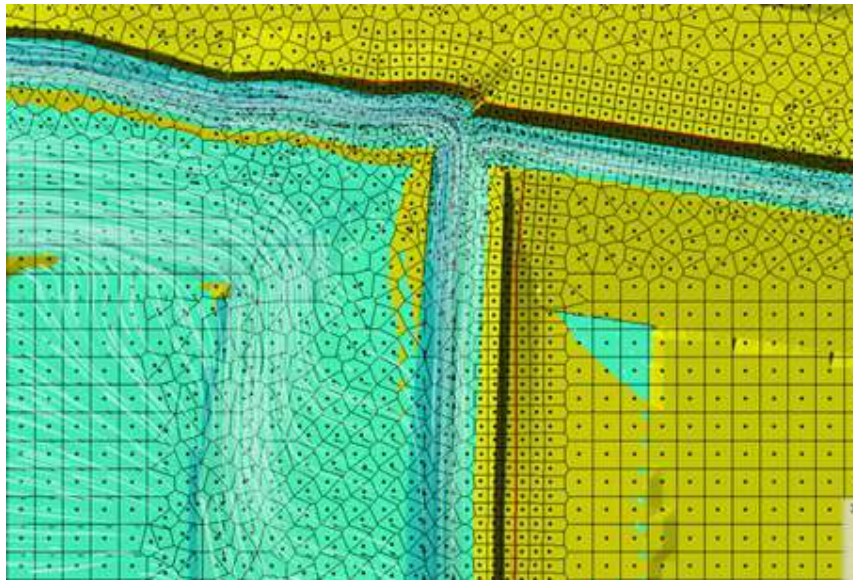


Figure 13: Illustration d'un maillage 2D construit à l'aide du logiciel HEC-RAS (source : DHE)

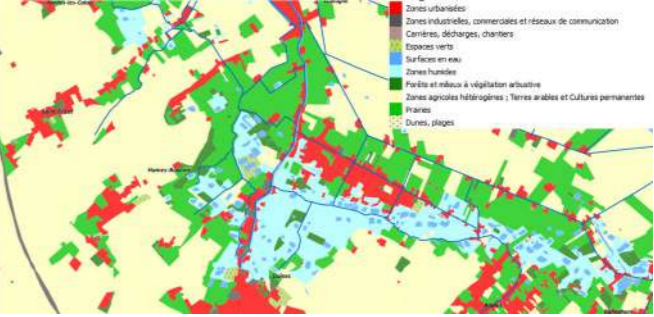
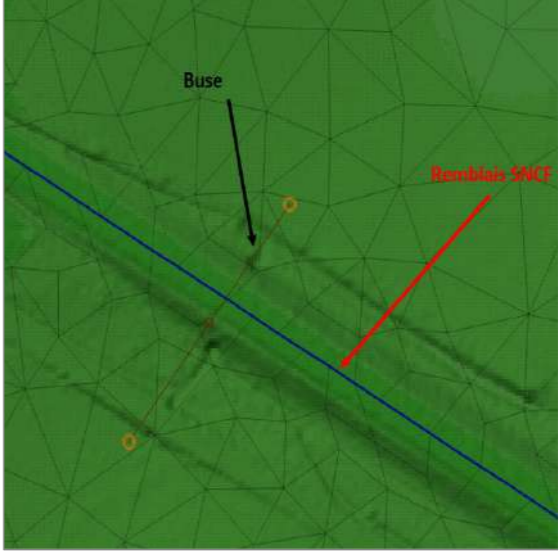
Étape	Objectifs	Détail et commentaires	Illustrations (tirées du PPRI des pieds de coteaux)
1	Prise en compte des variations de la rugosité liée aux différentes occupations des sols	Le périmètre d'étude sera décomposé en différentes zones d'écoulement dont les coefficients de rugosité seront adaptés à l'occupation des sols. En effet, la dynamique d'écoulement sur une parcelle agricole, dans une zone de forêt ou sur une voirie est différente, les phénomènes de frottement n'étant pas les mêmes. Ce découpage sera réalisé à partir de la base de données CORINE LAND COVER (ou de toute autre base de données disponible sur le territoire d'étude) et du cadastre et chaque zone se verra affecter un coefficient de rugosité (coefficient de Strickler) correspondant à l'occupation des sols majoritaire sur cette dernière. Cette méthode permet également de tenir compte de l'effet d'obstacle induit par le bâti.	
2	Adaptation du maillage aux variations topographiques du terrain naturel et identification des surverses	<p>Le maillage numérique 2D sera affiné au droit des zones de variations topographiques importantes pour que la cote du terrain naturel affectée à chaque maille soit la plus représentative possible. Des « lignes de forçage » seront insérées en pied et en crête de remblai pour adapter la taille de maille et affiner la représentation topographique de ce dernier.</p> <p>Des lois de seuils seront également intégrées au modèle au droit des ouvrages (digues, remblais, etc.) susceptibles de voir se produire des phénomènes de surverse.</p>	
3	Prise en compte des ouvrages de décharge au sein des remblais	Pour ne pas surestimer les effets de stockage / rétention en amont des remblais (en particulier les infrastructures ferroviaires ou certains axes routiers), les ouvrages de franchissement et de décharge (trémie, etc.) seront également intégrés dans le modèle.	

Tableau 16: Étapes de construction du maillage de calcul 2D

5.2.3.2. Conditions aux limites

Les conditions aux limites amont du modèle hydraulique pour la modélisation de l'aléa de référence seront constituées des hydrogrammes issus de la modélisation hydrologique pour la pluie historique et/ou éventuellement la pluie de projet théorique.

Le débit calculé à l'aval du modèle « Souchez amont amont » réalisé par DHE sera repris et injecté en amont du modèle « Souchez aval » réalisé par Prolog Ingénierie.

La condition aux limites aval sera vraisemblablement constituée d'un limnigramme (ou a minima un niveau constant) au droit de la confluence entre la Souchez (canal de Lens) et le canal de la Deûle. La gestion du canal de la Deûle en période de crue à une incidence sur les niveaux d'eau dans le canal de Lens (partie aval de la Souchez). Des hypothèses seront faites pour fixer la condition limite aval du modèle sur la base des données hydrométriques (relevés des niveaux d'eau des canaux) et des éléments de gestion hydraulique des canaux transmis par VNF.

Les enveloppes des zones inondées pour les événements fréquent, moyen et extrême au droit de la confluence du canal de Lens avec le canal de la Deûle pourront être croisées avec le levé topographique LIDAR pour estimer le niveau maximum atteint par l'inondation pour chaque événement.

Dans tous les cas une analyse de la sensibilité du modèle aux variations de la condition aux limites aval sera réalisée pour s'assurer que l'on peut s'affranchir ou non des incertitudes qui pèsent sur cette dernière.

5.2.4. Prise en compte des interactions avec la nappe

La zone d'étude est concernée par 3 aquifères, la nappe de la Craie (la plus profonde), la nappe des alluvions (la nappe de la Craie et celle des alluvions sont interconnectées) et les nappes superficielles (nappes perchées et déconnectées de la nappe de la Craie).

La nappe de la Craie peut se mettre en charge sous les alluvions et déborder aux endroits où la couverture limoneuse est absente ou moins épaisse, entraînant l'inondation des sous-sols d'habitations des zones basses.

On retrouve cette configuration sur les zones basses situées le long du canal de Lens, où la Craie est directement recouverte des alluvions modernes (Fz) fines, limoneuses et argileuses. Pour mémoire le caractère perché du canal de Lens favorise l'inondation des zones basses le long de ce dernier

Les repères de crues identifiés et relevés lors de la Phase 1 illustrent pour certains ces phénomènes. En effet, une partie des repères de crues sont liés aux phénomènes de remontée de nappes, notamment en partie aval du bassin versant et plus particulièrement sur les communes de Noyelles-sous-Lens, Harnes et Loison-sous-Lens.

Le PPRi (par remontée de nappes) sur la commune de Loison-sous-Lens (approuvé par arrêté préfectoral du 4 septembre 2007) nous renseigne sur la localisation des zones inondées et sur l'origine des inondations.

Ces dernières sont principalement liées à la remontée de la nappe de la Craie ainsi qu'au ruissellement lors de fortes pluies.

Les inondations par remontées de nappe se produisent par débordement en surface d'eau circulant dans des massifs calcaires via une multitude de fissures. Des pluies abondantes et prolongées peuvent recharger la nappe phréatique au point de la faire déborder dans tous les points bas de son secteur.

La lenteur de la propagation de l'eau dans le sous-sol conduit parfois à un décalage temporel important entre la pluie et l'inondation (quelques jours à quelques mois) ainsi qu'à une durée conséquente de l'inondation (quelques semaines, voire quelques mois).

La figure suivante illustre les principales zones inondées par remontée de nappes sur la commune de Loison-sous-Lens (source : PPRi).

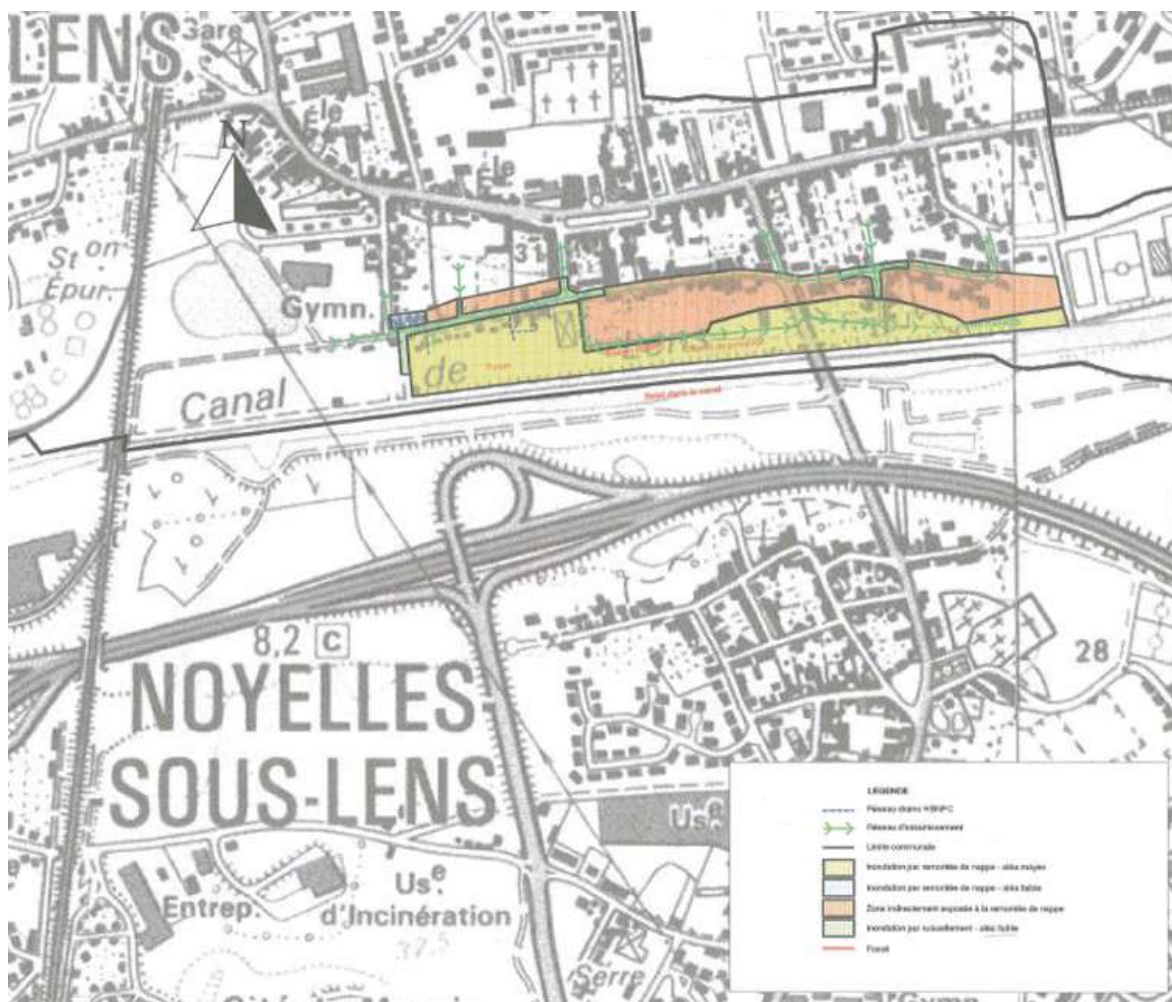


Figure 14: Principales zones inondées par remontée de nappes sur la commune de Loison-sous-Lens (source : PPRi)

Par ailleurs, plusieurs stations de Relevage des Eaux « pluviales » (SRE) ont été installées au droit des zones basses le long du canal de Lens sur les communes de Noyelles-sous-Lens et Loison-sous-Lens afin de relever les eaux de ruissellement par temps de pluie vers leurs exutoires (accumulation des eaux de ruissellement au niveau de ces points bas) et pour assécher les zones soumises aux phénomènes de remontées des nappes (risque de mise en charge de la nappe de la craie/de la nappe alluviale).

La figure suivante illustre les zones basses (« cuvettes ») le long du canal de Lens sur les commune de Noyelles-sous-Lens et Loison-sous-Lens.

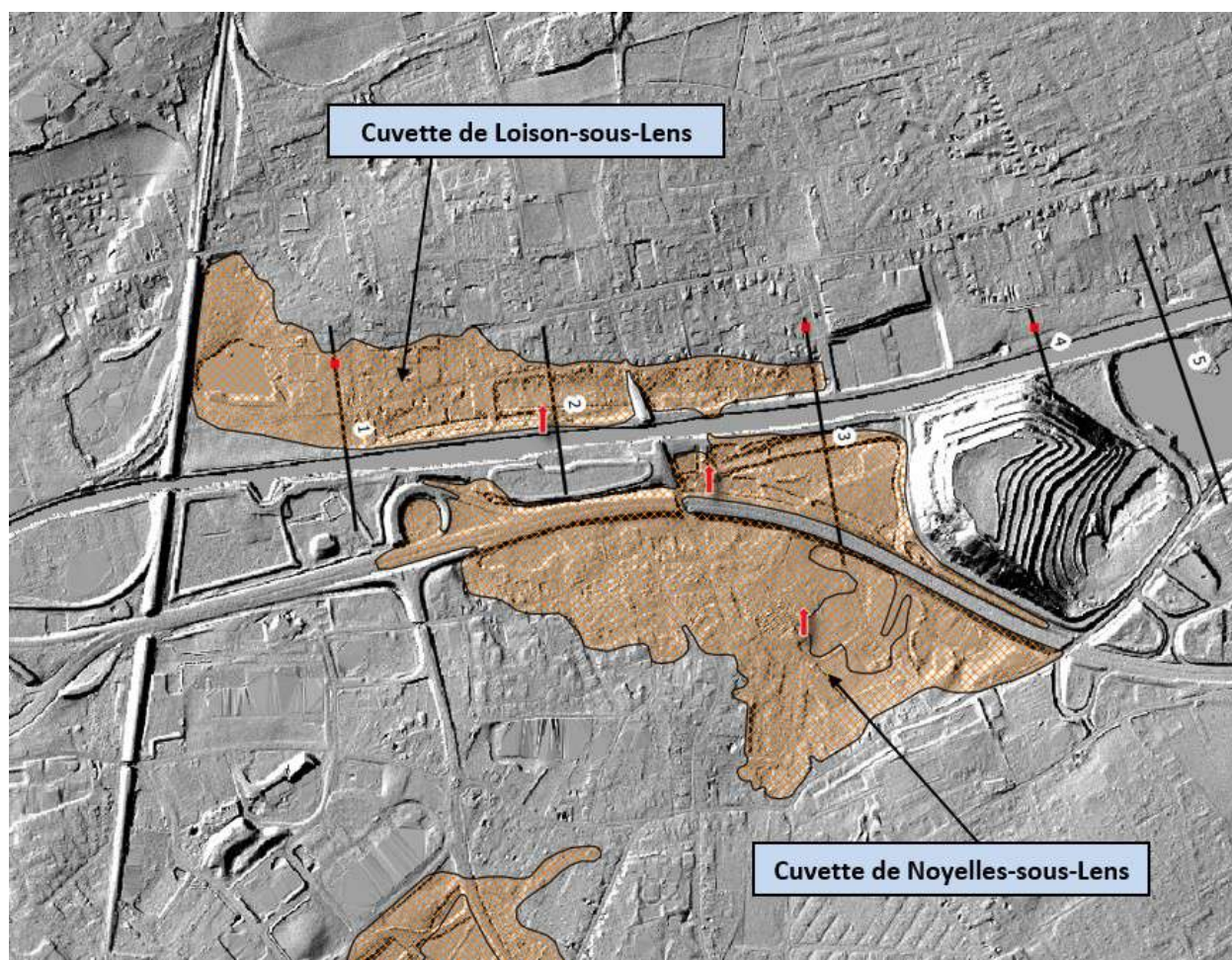


Figure 15: Zones basses le long du canal de Lens sur les commune de Noyelles-sous-Lens et Loison-sous-Lens

D'après les cartes des zones inondables du TRI de Lens, le canal de Lens ne déborde pas avant une crue de période de retour 1 000 ans. La prise en compte des phénomènes de remontées de nappe (interactions entre la nappe et la Souchez) dans la modélisation hydraulique en tant que phénomène aggravant sous la forme d'un débit de base imposé dans le lit mineur de la Souchez et de ses principaux affluents n'apparaît ici pas pertinente. **Les enveloppes des zones inondées par remontée de nappe seront toutefois cartographiées sur les cartes d'aléa par débordement de cours d'eau et**

ruissellement. La cartographie des zones inondées par remontée de nappes se fera à l'aide des informations collectées dans le cadre de la Phase 1 (repères de crue, PPRI, témoignages recueillis lors des rencontres avec les communes, etc.).

5.2.5. [Le calage du modèle hydraulique](#)

Une fois le modèle hydraulique construit, il sera nécessaire de procéder à sa validation en analysant sa réponse à des événements pluvieux réels ayant touché le bassin versant et en la confrontant d'une part aux données historiques (repères de crues et témoignages) et quantitatives (mesures de débit et niveaux aux stations hydrométriques disponibles). Pour mémoire il n'existe pas de station hydrométrique sur le bassin versant de la Souchez.

On distingue deux types de témoignages historiques :

- les témoignages non quantifiés ponctuels ou surfaciques (voirie ou lotissement inondé) qui permettent de localiser (plus ou moins précisément) l'inondation sans évaluation de la hauteur de submersion ou sans y adjoindre une photographie qui permettrait de reconstituer cette hauteur ;
- les témoignages quantifiés ou « repères de crue » (là encore avec une fiabilité plus ou moins bonne).

Le calage du modèle hydraulique « débordement » reposera donc sur la comparaison entre les niveaux d'eau calculés par le modèle et les niveaux d'eau reconstituées lors de l'analyse historique (repères de crue). Les témoignages non quantifiés serviront de validation qualitative et comportementale.

Au regard des repères de crue récoltés et des données pluviométriques disponibles, il est proposé de retenir deux événements hydrologiques pour le calage du modèle hydraulique « débordement » (deux événements pour le calage du modèle « amont » et deux événements pour le calage du modèle « aval ») :

- 7 juin 2016 pour le calage du modèle sur l'ensemble du bassin versant ;
- 30-31 mai 2016 pour le calage du modèle sur la « Souchez amont » ;
- 13 août 2015 pour le calage du modèle sur la « Souchez aval ».

De nombreux repères de crue ont été identifiés et de nombreux témoignages ont été récoltés pour les événements d'août 2015 et de mai-juin 2016 dans le cadre des entretiens avec les communes menés lors de la Phase 1. Ces informations rassemblées au sein d'une base de données seront ainsi exploitées dans le cadre du calage du modèle hydraulique.

Une fois calé et validé, le modèle hydraulique sera ensuite exploité pour caractériser l'aléa de référence.

6. MODÉLISATION DE L'ALÉA RUISSELLEMENT

Ce chapitre s'attache à décrire la méthode proposée pour représenter les phénomènes de ruissellement sur le bassin versant de la Souchez. De même que pour la caractérisation de l'aléa débordement, il s'agit bien de méthodes proposées dans la mesure où les tests qui seront menés dans le cadre de la Phase 3 sont susceptibles de conduire à une évolution de ces méthodes.

Afin de cartographier de manière homogène les aléas débordement et ruissellement, l'aléa ruissellement sera caractérisé sur l'ensemble des communes du périmètre de modélisation à l'aide d'une modélisation bidimensionnelle (2D). Cette méthodologie présente l'avantage de se prémunir des difficultés de raccordement entre 2 méthodes trop éloignées. Au regard des données topographiques LIDAR finalement disponibles sur l'ensemble du bassin versant de la Souchez, l'approche hydrogéomorphologique a été écartée.

De même que pour l'aléa débordement, le logiciel utilisé pour la caractérisation de l'aléa ruissellement sera le logiciel HEC-RAS 5.0.7. Il résout les équations de Barré-de-Saint-Venant en régime transitoire dans leurs versions unidimensionnelle et bidimensionnelle.

6.1. SPÉCIFICITÉ DU RUISSELLEMENT ET TERRITOIRE D'ÉTUDE

Alors que l'objectif de la simulation de l'aléa débordement de cours d'eau est de caractériser les zones inondables liées aux débordements de la Souchez et de ses affluents, l'objectif de la simulation de l'aléa ruissellement est de mettre en évidence les axes d'écoulement (hors réseau hydrographique principal) et les principales zones d'accumulation.

Les phénomènes de ruissellement se forment par concentration des eaux de pluie tombant sur des surfaces plus ou moins perméables. Les eaux de ruissellement évoluent ensuite en fonction de la topographie pour former des axes d'écoulement (présentant des vitesses importantes) et/ou des zones d'accumulation dans les points bas topographiques.

Les phénomènes de ruissellement peuvent se produire en tout point d'un bassin versant et sont difficilement quantifiables, contrairement aux crues d'un cours d'eau dont le débit peut être mesuré en un point précis du bassin versant.

L'ensemble du bassin versant topographique de la Souchez sera considéré pour la modélisation de l'aléa débordement mais ce dernier ne sera caractérisé et cartographié que sur les communes situées à l'intérieur du périmètre de la modélisation (cf. chapitre 4).

6.2. TRANSFORMATION PLUIE-RUISSELLEMENT

Tout comme pour la caractérisation de l'aléa débordement, la première étape dans la caractérisation de l'aléa ruissellement consiste à représenter fidèlement la transformation de la pluie tombée (pluie brute) en une pluie nette qui va réellement contribuer aux phénomènes de ruissellement. L'objectif de cette transformation est donc d'évaluer correctement les pertes (infiltration, etc.) c'est à dire le volume d'eau qui ne participera pas au ruissellement.

L'approche retenue dans le cadre de la modélisation des phénomènes de débordement de cours d'eau pour caractériser les apports hydrologiques consiste à transformer la pluie en débit à l'échelle de chaque sous-bassin versant du territoire. L'approche proposée pour la modélisation des phénomènes de ruissellement consiste quant à elle à appliquer la pluie nette directement sur un maillage de calcul bi-dimensionnel.

Le modèle de transformation pluie-ruissellement retenu consiste à transformer la pluie brute en pluie nette par le biais du modèle NRCS dont les paramètres auront été calés au cours du calage hydrologique du modèle débordement (à l'aide du logiciel HEC-HMS). La figure ci-dessous synthétise les grands principes de la méthodologie proposée (transformation pluie-ruissellement).

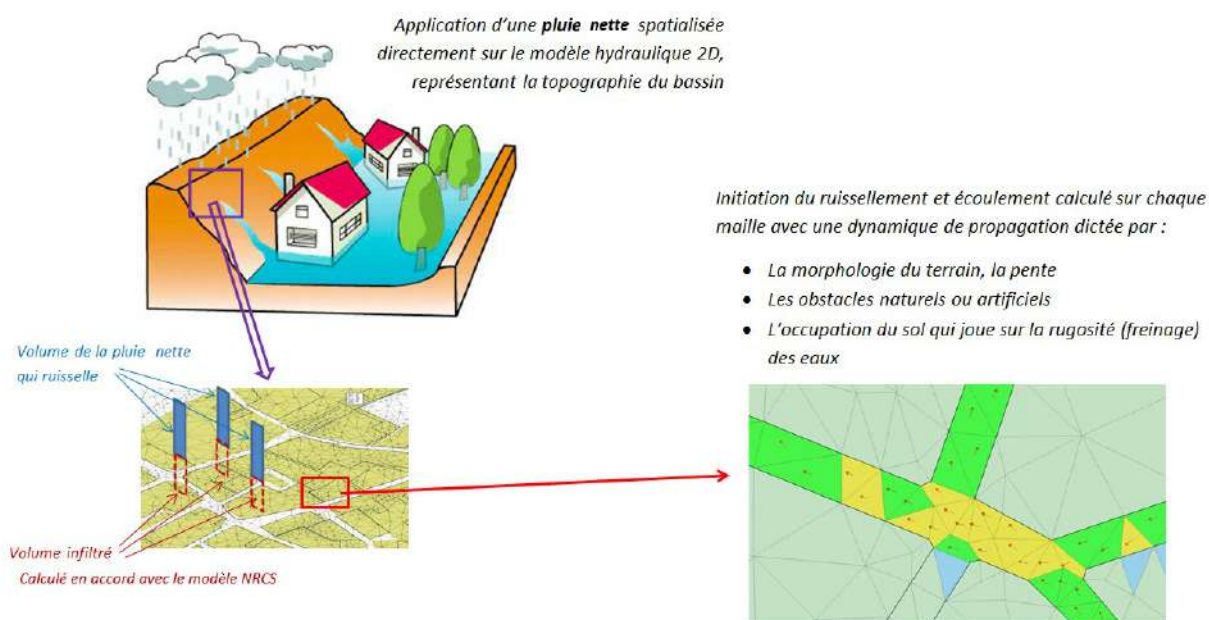


Figure 16: Fonctionnement global de la transformation pluie-ruissellement

6.3. MODÉLISATION DE L'ALÉA RUISSELLEMENT

6.3.1. Modèle 2D

Le modèle hydraulique bi-dimensionnel (2D) construit couvrira l'ensemble du bassin versant de la Souchez (y compris les communes situées en dehors du périmètre de l'étude, cf. chapitre 4). Le maillage bidimensionnel sera construit de la même manière que celui construit dans le cadre de la caractérisation de l'aléa débordement (cf. chapitre 5.2.3.1).

Il n'est pas prévu de tenir compte des réseaux et ouvrages de gestion des eaux pluviales (bassins, etc.) en lit majeur. **Les réseaux et ouvrages de gestion des eaux pluviales ont une influence significative sur le ruissellement jusqu'à des événements de période de retour environ 10 ans (événement fréquent), notamment en milieu**

PROLOG INGÉNIERIE

Détermination des aléas inondations sur le territoire de la Souchez – Phase 2
- Livrable L3 : Méthode de détermination des aléas -

R19-391-04_L3_v0.1.odt

10/2020



urbain. En accord avec la Maîtrise d’Ouvrage, l’événement fréquent ne sera pas modélisé dans le cadre de la caractérisation de l’aléa ruissellement (ces réseaux et ouvrages de gestion des eaux pluviales deviennent ensuite négligeables pour des événements moyens et extrêmes). Sans réseau ni ouvrage de gestion des eaux pluviales, les résultats de la modélisation ne seraient pas représentatifs de la réalité des écoulements et inondations pour un événement fréquent.

6.3.2. Calage du modèle hydraulique « ruissellement »

Une fois le modèle « ruissellement » construit, il conviendra de le caler et de le valider, de même que pour le modèle « débordement », c’est-à-dire vérifier sa capacité à reproduire correctement les écoulements sur le bassin versant de la Souchez. La validation du modèle hydraulique « ruissellement » reposera sur une vérification de la cohérence globale de son fonctionnement et notamment sa faculté à reproduire sur la base des témoignages recueillis les zones inondées lors des événements historiques retenus. Il s'agit donc principalement d'une validation qualitative et comportementale qui ne peut que très rarement être quantitative dans le cas du ruissellement. En effet, même si la reconstitution de repères de crue est possible pour des événements de type ruissellement, les mesures du débit des principaux axes d’écoulement sont quant à elle généralement inexistantes.

La méthodologie globale de validation du modèle reposera sur deux étapes successives :

- une analyse de la corrélation géographique entre les témoignages d'inondation et les résultats du modèle. Concrètement, il s'agit de vérifier que les zones inondées d’après les témoignages recueillis sont bien également touchées sont bien touchées par les eaux dans les résultats de simulation ;
- une vérification de la cohérence entre le niveau d’eau moyen calculé par le modèle et les repères de crue (niveau d'eau historique) réputés fiables et utilisables.

Au regard des repères de crue récoltées et des données pluviométriques disponibles, il est proposé de retenir deux événements hydrologiques pour le calage du modèle hydraulique « débordement » (deux événements pour le calage du modèle « amont » et deux événements pour le calage du modèle « aval ») :

- 7 juin 2016 pour le calage du modèle sur l’ensemble du bassin versant ;
- 30-31 mai 2016 pour le calage du modèle sur la partie amont du bassin versant;
- 13 août 2015 pour le calage du modèle sur la partie aval du bassin versant.

7. EXPLOITATION DES RÉSULTATS ET RESTITUTION CARTOGRAPHIQUE

Ce chapitre s'attache à décrire les méthodes proposées pour cartographier les aléas débordement et ruissellement sur le bassin versant de la Souchez.

Le logiciel utilisé pour la cartographie des aléas sera le logiciel QGIS v3.4.

7.1. DÉFINITION DES ALÉAS

La modélisation de l'événement de référence pour les phénomènes de débordement de cours d'eau et de ruissellement permet d'accéder aux hauteurs d'eau maximales, aux vitesses maximales d'écoulement ainsi qu'aux vitesses de montée des eaux.

L'aléa de référence repose en premier lieu sur un croisement entre :

- les hauteurs d'eau, divisées en 4 classes :
 - inférieures à 50 cm, hauteurs d'eau faibles ;
 - comprises entre 50 cm et 1 m, hauteurs d'eau moyennes ;
 - comprises entre 1 m et 2 m, fortes hauteurs d'eau ;
 - supérieures à 2 m, très fortes hauteurs d'eau.
- la dynamique de crue, divisée en 3 classes :
 - lente ;
 - moyenne ;
 - rapide.

C'est bien le croisement entre ces deux paramètres qui conditionne le risque sur une zone donnée. En effet, un même niveau d'aléa peut être induit par de fortes hauteurs d'eau et une dynamique lente et par de faibles hauteurs d'eau mais une dynamique rapide.

La dynamique de crue résulte de la combinaison entre :

- les vitesses d'écoulements, divisées en 4 classes :
 - inférieures à 0.2 m/s, faibles vitesses d'écoulement ;
 - comprises entre 0.2 et 0.5 m/s, vitesses d'écoulement moyennes ;
 - comprises entre 0.5 et 1 m/s, fortes vitesses d'écoulement ;
 - supérieures à 1 m/s, très fortes vitesses d'écoulement.

- la vitesse de montée des eaux, divisées en 2 classes :
 - lente, supérieure à la journée ;
 - rapide, inférieure à la journée.

Une grille de dynamique de crue est proposée ci-dessous.

	Vitesse de montée des eaux lente (> 1 j)	Vitesse de montée des eaux rapide (< 1 j)
Vitesse d'écoulement < 0.2 m/s	Dynamique lente	Dynamique lente
0.2 < Vitesse d'écoulement < 0.5 m/s	Dynamique lente	Dynamique moyenne
0.5 < Vitesse d'écoulement < 1 m/s	Dynamique moyenne	Dynamique rapide
Vitesse d'écoulement > 1 m/s	Dynamique rapide	Dynamique rapide

Tableau 17: Grille de dynamique de crue envisagée

La figure ci-après illustre l'impact du croisement entre les paramètres hauteurs et vitesses d'écoulement sur les capacités de déplacement des personnes en fonction de leur âge.

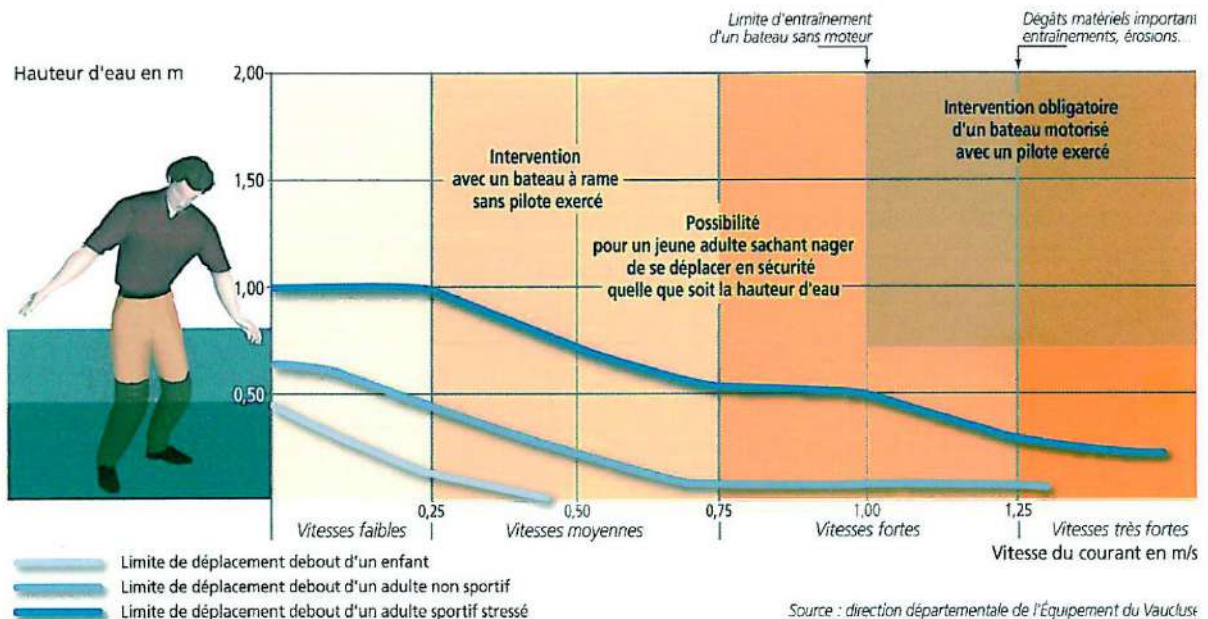


Figure 17: Capacités de déplacement des personnes en fonction de la hauteur d'eau et de la vitesse d'écoulement (source : DDT Vaucluse)

La grille d'aléa proposée est une grille d'aléa fonctionnel qui caractérise le risque en matière de fonctionnement hydraulique d'une part et de phénomènes rencontrés d'autre part, permettant ainsi de caractériser à la fois les phénomènes de débordement de cours d'eau et les phénomènes de ruissellement.

	Dynamique lente	Dynamique moyenne	Dynamique rapide
Hauteur d'eau < 0.5 m	Faible accumulation	Écoulement	Fort écoulement
0.5 < Hauteur d'eau < 1 m	Accumulation moyenne	Écoulement	Fort écoulement
1 < Hauteur d'eau < 2 m	Forte accumulation	Forte accumulation	Conditions extrêmes
Hauteur d'eau > 2 m	Conditions extrêmes	Conditions extrêmes	Conditions extrêmes

Tableau 18: Grille proposée pour la caractérisation de l'aléa

Cette grille d'aléa permet de caractériser le risque inondation en tout point du territoire et de le cartographier. Elle est compatible avec la grille d'aléa définie dans l'arrêté du 5 juillet 2019 relatif à la détermination, qualification et représentation cartographique de l'aléa de référence et de l'aléa à échéance 100 ans s'agissant de la submersion marine, dans le cadre de l'élaboration ou de la révision des plans de prévention des risques concernant les « aléas débordement de cours d'eau et submersion marine ».

Pour mémoire, cette grille est présentée ci-après.

	Dynamique lente	Dynamique moyenne	Dynamique rapide
Hauteur d'eau < 0.5 m	Faible	Modéré	Fort
0.5 < Hauteur d'eau < 1 m	Modéré	Modéré	Fort
1 < Hauteur d'eau < 2 m	Fort	Fort	Très fort
Hauteur d'eau > 2 m	Très fort	Très fort	Très fort

Tableau 19: Grille d'aléa définie dans l'arrêté du 5 juillet 2019

7.2. MÉTHODOLOGIE D'ÉLABORATION DES CARTES

7.2.1. Création des contours de hauteurs et vitesses

Les résultats bruts extraits de HEC-RAS seront traités à l'aide des logiciels SIG QGIS (version 3.4.15) et GrassGIS (version 7.2.0) afin d'obtenir les couches SIG de classes de hauteurs et de vitesses maximales. Les traitements cartographiques réalisés intègrent à la fois les résultats hydrauliques au droit de l'ensemble des mailles de calculs du modèle 2D

PROLOG INGÉNIERIE

Détermination des aléas inondations sur le territoire de la Souchez – Phase 2
- Livrable L3 : Méthode de détermination des aléas -

R19-391-04_L3_v0.1.odt

10/2020



mais également ceux calculés au droit de l'ensemble des profils en travers du modèle 1D. Cela permet de cartographier l'intégralité de l'emprise inondable.

Un travail de nettoyage et de lissage des couches SIG produites sera réalisé pour restreindre le poids des fichiers géomatiques produits et conserver uniquement les informations pertinentes au sein des couches SIG.

En particulier, dans le cadre de la caractérisation des phénomènes de ruissellement, la pluie est appliquée sur tout le territoire. D'un point de vue cartographique cela se manifeste par la création de multiples zones inondées de très petite taille (à l'intérieur des « cuvettes ») qui nuisent à la lecture globale de la carte et ne représentent pas réellement un risque à l'échelle du territoire. Cette problématique, rencontrée dans le cadre de l'élaboration de divers PPRi « ruissellement » dans la région des Hauts de France, a conduit à définir plusieurs critères de filtrage des résultats de la modélisation :

- un critère de hauteur d'eau minimum pour filtrer les zones inondées non significatives (un seuil de 1 à 3 cm de hauteur a été retenu dans le cadre des autres PPRi) ;
- un critère de surface inondée minimum pour filtrer les zones de connexion ou d'accumulation de petite taille, isolées et présentant de faibles hauteurs d'eau. Il est proposé ici de filtrer toutes les surfaces inondées de superficie inférieures à 300 m².

De même, dans le cadre de la caractérisation de l'aléa débordement, les petites surfaces inondées de superficie inférieures à 50 m² seront supprimées de la cartographie.

Enfin, un lissage des limites de polygones sera réalisé afin de supprimer l'effet de « crénelage » lié à l'interpolation des résultats bruts de modélisation hydraulique.

7.2.2. Zones de recouvrement entre aléa débordement de cours d'eau et aléa ruissellement

Selon les résultats obtenus à l'issue des modélisations de l'aléa débordement et de l'aléa ruissellement, il conviendra de définir une hiérarchie entre les différentes classes d'aléa modéré et fort afin d'identifier les plus pénalisantes en matière de risque. Il s'agira par exemple de déterminer qui de la zone d'« accumulation moyenne » ou de la zone d'« écoulement », est la plus pénalisante en cas de recouvrement entre aléa débordement et aléa ruissellement sur certains secteurs.

7.2.3. Format des rendus et exemples

Deux formats de rendu sont proposés pour l'ensemble des cartographies produites :

- au 1/5 000^e, à l'échelle communale, sur fond cadastral ;
- au 1/25 000^e, à l'échelle du bassin versant, sur fond SCAN25.

Les cartographies suivantes seront produites pour les phénomènes de débordement de cours d'eau et de ruissellement, sachant que pour les communes soumises aux deux phénomènes, ils seront représentés sur une seule et même carte) :



- la cartographie des hauteurs d'eau maximales ;
- la cartographie des vitesses maximales d'écoulement ;
- la cartographie de l'aléa de référence.