



DDTM de la Somme

ÉTUDE D'OPPORTUNITÉ POUR LA RÉALISATION D'UN PPRI DE LA VALLÉE DE L'AUTHIE PHASE 2 : ANALYSE ET CARACTÉRISATION DES ALÉAS

LIVRABLE L2.3 : DÉTERMINATION DES ALÉAS

Affaire n° : 19-454-01

Version	Date	Rédigé par	Vérifié par
0	29/04/2020	JUC	FAD
0.1	18/03/2021	JUC	FAD
0.2	02/09/2021	JUC	FAD

Remarques : v0.1 : ajout des parties « calage » des modèles ; v0.2 : ajout des parties sur l'aléa de référence

PROLOG

INGÉNIERIE

3-5 rue de Metz – 75010 PARIS
Téléphone 01.45.23.49.77 – Télécopie 01.42.46.82.03
prolog@prolog-ingenierie.fr

SOMMAIRE

1. Présentation et synthèse.....	4
1.1. Contexte et objet de l'étude.....	4
1.2. Objectifs.....	4
1.3. Contenu du livrable.....	5
1.4. Synthèses-conclusions.....	5
2. Données sources utilisées pour l'étude et hypothèses de travail.....	8
2.1. Études antérieures.....	8
2.2. Données cartographiques.....	8
2.3. Version des logiciels utilisés.....	8
3. Analyse hydrologique.....	9
3.1. Données disponibles.....	9
3.1.1. Données pluviométriques.....	9
3.1.2. Données hydrométriques et limnimétriques.....	15
3.2. Analyse des événements pluvieux.....	15
3.2.1. Analyse des principaux événements et principaux enseignements hydrologiques.....	15
3.2.2. Événements retenus pour le calage des modèles hydrauliques.....	32
3.3. Analyse des données.....	32
3.3.1. Comparaison données RADAR et postes pluviométriques terrestres.....	32
3.3.2. Analyse statistique des débits à la station de Dompierre-sur-Authie.....	38
3.3.2.1. Présentation de la méthode retenue.....	38
3.3.2.2. Chronique de débits disponibles et échantillonnage des données.....	38
3.3.2.3. Ajustement de Gumbel et méthode du Gradex esthétique.....	40
3.3.2.4. <i>Analogie de bassin versant avec la Canche et estimation du débit centennal de référence</i>	43
4. Modélisation de l'aléa débordement de cours d'eau.....	44
4.1. Approche pluie-débit à l'échelle du bassin versant.....	44
4.1.1. Mise en œuvre de la modélisation pluie-débit.....	44
4.1.1.1. Les principes théoriques de l'approche.....	44
4.1.1.2. Découpage du territoire en sous-bassins versants.....	45
4.1.1.3. Choix de la fonction de production.....	47
4.1.1.4. Choix de la fonction de transfert.....	47
4.1.2. Mise en œuvre opérationnelle de l'approche pluie-débit.....	48
4.1.2.1. Exploitation des données pluviométriques.....	48
4.1.2.2. Génération des hydrogrammes.....	48
4.2. Modélisation des écoulements de l'Authie et de ses affluents.....	48
4.2.1. Principe général de la modélisation 1D/2D.....	49
4.2.2. Modélisation 1D / 2D des écoulements.....	51
4.2.3. Conditions aux limites.....	53
4.2.4. Prise en compte des interactions avec la nappe.....	53
4.3. Le calage du modèle hydraulique de débordement.....	53
4.3.1. Généralités.....	53
4.3.2. Principe et valeurs retenues.....	54
4.3.3. Événements de calage.....	56
4.3.3.1. Calage de la crue de mai 2016 pour le modèle « Authie amont ».....	57
4.3.3.2. Calage de la crue de juin 2016 pour le modèle « Authie amont ».....	62
4.3.3.3. Calage de la crue de 2001 pour le modèle « Authie aval ».....	68
4.4. Modélisation de l'aléa débordement de référence.....	74
4.4.1. Sélection de l'évènement de référence pour le risque inondation par débordement de cours d'eau.....	74
4.4.1.1. Définition des pluies de projet testées.....	75
4.4.1.2. Résultats des modélisations et évènement retenu.....	77
4.4.2. Test de sensibilité sur la condition limite aval.....	78
4.4.3. Analyse de la crue de référence.....	81
5. Modélisation de l'aléa ruissellement.....	82
5.1. Spécificité du ruissellement et territoire d'étude.....	82
5.1.1. Différence entre débordement et ruissellement.....	82
5.1.2. Limite du territoire d'étude.....	82

5.2. Transformation pluie-ruissellement.....	83
5.2.1. Principes théoriques.....	83
5.2.2. Mise en œuvre de l'approche pluie-ruissellement.....	84
5.3. Modélisation du ruissellement – Modèle 2D.....	84
5.4. Le calage du modèle hydraulique de ruissellement.....	84
5.4.1. Principes de calage.....	84
5.4.2. Événements de calage.....	85
5.4.2.1. Calage de la crue de mai 2016.....	86
5.4.2.2. Calage de la crue de juin 2016.....	89
5.4.2.3. Calage des crues de fin mai 2018.....	99
5.5. Modélisation de l'aléa ruissellement de référence.....	110
5.5.1. Sélection de l'évènement de référence pour le risque inondation par ruissellement. 110	
5.5.1.1. Évènements de référence retenus.....	110
5.5.1.2. Résultats de modélisation et validation des hypothèses.....	112
5.5.2. Analyse de la crue de référence.....	112
6. Exploitation des résultats et rendu cartographique.....	114
6.1. Définition des aléas.....	114
6.2. Méthodologie d'élaboration des cartes.....	117
6.2.1. Création des contours de hauteurs et vitesses.....	117
6.2.2. Zones de recouvrement entre aléa débordement de cours d'eau et aléa ruissellement	
.....	118
6.2.3. Format des rendus et exemples.....	119

1. PRÉSENTATION ET SYNTHÈSE

1.1. CONTEXTE ET OBJET DE L'ÉTUDE

Le présent document s'inscrit dans le cadre de l'étude d'opportunité pour l'élaboration d'un Plan de Prévention des Risques d'Inondations (PPRI) de la vallée de l'Authie. Cette étude est scindée en trois phases :

- Phase 1 – Analyse du territoire et caractérisation des phénomènes naturels
- **Phase 2 – Analyse et caractérisation des aléas**
- Phase 3 – Élaboration de la cartographie des aléas

Le présent livrable L2.3 est dédié à la Phase 2 « Analyse et caractérisation des aléas ».

Le bassin versant de l'Authie est marqué par trois types d'inondation : par débordement de cours d'eau, par remontée de nappe et par ruissellement.

Un plan de prévention des risques naturels de la vallée de l'Authie a été prescrit le 13 août 2012 pour les communes de la Somme suivante : Nampont-Saint-Martin, Quend, Villers-sur-Authie et Vron. Les aléas pris en compte dans cet arrêté de prescription sont : inondation par ruissellement, remontée de nappe, débordement de cours d'eau et mouvement de terrain subséquents.

Pour une cohérence des mesures et des études, il est apparu nécessaire d'inclure les communes limitrophes du Pas-de-Calais et de mener une réflexion globale à l'échelle du bassin versant de l'Authie.

1.2. OBJECTIFS

L'objectif principal de la phase 2 est la détermination d'un aléa de référence fiable et partagé par tous. Il s'agit notamment à partir de la connaissance acquise au cours de la phase 1 :

- de bâtir les méthodes de définition de l'aléa centennal ou supérieur pour les phénomènes de ruissellement d'une part, de débordement d'autre part ;
- de déterminer un aléa de référence synthèse de l'aléa ruissellement et de l'aléa débordement.

L'objectif du présent livrable est de présenter les étapes de réflexion, d'analyse et de construction qui ont conduit à l'élaboration des modèles hydrologiques et hydrauliques destinés à caractériser l'aléa de référence débordement de cours d'eau et l'aléa de référence ruissellement sur le bassin versant de l'Authie.

1.3. CONTENU DU LIVRABLE

Le présent rapport est structuré de la manière suivante :

- la première partie définit le contexte et les objectifs de l'étude avant d'en faire la synthèse ;
- la deuxième partie rappelle les données source utilisées pour l'étude et les hypothèses de travail ;
- la troisième partie est consacrée à l'analyse hydrologique dont le but est de définir les régimes des pluies et des crues sur le territoire d'étude ;
- la quatrième partie s'attache à la modélisation des écoulements sur le bassin versant de l'Authie dans le cas du débordement de cours d'eau. Sont alors détaillés le modèle hydrologique réalisé ainsi que la construction du modèle hydraulique de représentation des lits mineur et majeur ;
- la cinquième partie s'attache à la modélisation du ruissellement sur le territoire d'étude ;
- enfin, le dernier chapitre est consacré à l'exploitation et aux méthodes de restitution cartographique des résultats des modélisations. La grille d'aléa, permettant de définir le niveau d'aléa en fonction du croisement entre hauteurs d'eau et dynamiques de crue, y est alors présentée.

1.4. SYNTHÈSES-CONCLUSIONS

Les événements suivants ont été analysés du point de vue du contexte pluviométrique (cumuls de l'événement, conditions antécédentes, ...) et du contexte hydrométrique / limnimétrique (débits dans les cours d'eau) sur la base des données ayant pu être collectées :

- 24 au 28 décembre 1999 ;
- décembre 2000 à avril 2001, plus particulièrement l'évènement du 18 au 21 mars 2001 ;
- 30 mai 2016 ;
- 7 juin 2016 ;
- fin mai 2018.

Une analyse statistique des débits à la station de Dompierre-sur-Authie a été réalisée. C'est la seule station hydrométrique du bassin versant qui présente une chronique suffisamment longue de données. Cette analyse a permis d'estimer les débits de référence de l'Authie pour différentes périodes de retour. Le débit centennal de référence à viser pour l'aléa de référence est estimé à 53 m³/s à Doullens et entre 40 et 80 m³/s à Dompierre-sur-Authie.

Le débordement de cours d'eau a été modélisé sur l'ensemble du linéaire de l'Authie et ses affluents principaux selon un modèle pluie-débit pour la partie hydrologique et selon une modélisation 1D/2D pour la partie hydraulique. Au vu des données historiques récoltées et des données pluviométriques, hydrométriques et limnimétriques disponibles, les événements de mars 2001, mai et juin 2016 ont été retenus pour le calage du modèle « débordement ». Une fois calé et validé, ce modèle a été exploité pour simuler l'aléa de référence.

L'évènement de référence retenu pour la modélisation de l'aléa débordement est une pluie hivernale théorique de cumul type décembre 1999. Cette pluie permet d'engendrer une crue centennale sur l'Authie (atteinte du débit centennal de référence estimé lors de l'analyse statistique). Ce choix a été fait dans un souci de cohérence et d'uniformité entre des territoires voisins d'une part et, d'autre part, car l'historique des crues sur l'Authie montre que d'importantes crues de l'Authie ont eu lieu à la suite de pluies longues (en décembre 1999 par exemple).

Des tests de sensibilité sur la condition limite aval (niveau de la marée à l'embouchure de l'Authie) ont été réalisés et une marée dite forte a été retenue pour la modélisation de l'aléa débordement (marée de coefficient 100 environ avec une surcote de 20 cm). D'après le PAPI Bresle Somme Authie, ce niveau correspond à un niveau marin de période de retour 1 an, susceptible donc de se produire en même temps qu'une crue de l'Authie.

Afin de pouvoir cartographier de manière homogène les aléas débordement et ruissellement, l'aléa ruissellement a été caractérisé grâce à une modélisation bi-dimensionnelle. Cette méthodologie présente l'avantage d'éviter les raccordements brusques entre deux méthodes trop éloignées, par exemple entre une zone traitée en modélisation et une zone traitée en hydrogéomorphologie. La modélisation de l'aléa ruissellement a été réalisée sur l'ensemble du bassin versant de l'Authie, à l'exception des bassins versants du Fliers et des canaux de Marquenterre, Briquebeau et des Bas Champs. Le littoral n'est en effet pas soumis au risque ruissellement du fait l'absence de relief. Au sein de cette modélisation bi-dimensionnelle, 16 secteurs à enjeux ont été traités de manière plus détaillée. Le modèle a été calé à partir des informations récoltées pour les événements historiques de mai et juin 2016 et de mai 2018. Une fois calé et validé, ce modèle a été exploité pour simuler l'aléa de référence.

L'aléa de référence s'appuie sur un événement historique connu s'il s'avère que ce dernier est d'occurrence au moins centennale, c'est le cas pour l'évènement du 7 juin 2016 sur le secteur de la Quilienne et de la Grouche amont. Sur le reste de l'ensemble du territoire du bassin versant de l'Authie, l'évènement de référence retenu est une pluie de type juin 2016 mise à l'échelle centennale sur 2 h. Cette pluie permet de faire ressortir les axes de ruissellement (en termes de hauteurs et surtout de vitesses) sur l'intégralité du territoire d'étude.

Les résultats bruts de modélisation ont ensuite été traités à l'aide des logiciels SIG GrassGIS, QGIS et ArcGIS afin d'obtenir les couches SIG de classes de hauteurs et de vitesses maximales. Un travail de nettoyage et de lissage des couches SIG produites a été réalisé, afin de restreindre le poids des fichiers géomatiques produits en sortie et de conserver uniquement les informations pertinentes portées par les couches SIG.

L'aléa de référence a été obtenu en réalisant un croisement entre les hauteurs d'eau et la dynamique de crue selon une grille compatible avec celle de l'arrêté du 5 juillet 2019. La dynamique de crue a été obtenue en croisant la vitesse d'écoulement et la vitesse de montée des eaux. Au vu des résultats obtenus sur l'Authie, la vitesse de montée des eaux a été qualifiée de lente.

Un aléa de référence synthèse des phénomènes étudiés (débordement et ruissellement) a été déterminé grâce à la fusion des résultats de modélisation des différents modèles. En cas de superposition des résultats, l'aléa le plus pénalisant entre débordement et ruissellement a été retenu.

Les cartographies suivantes ont été produites :

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

2. DONNÉES SOURCES UTILISÉES POUR L'ÉTUDE ET HYPOTHÈSES DE TRAVAIL

2.1. ÉTUDES ANTÉRIEURES

La liste des études antérieures collectées et utilisées dans le cadre de la présente étude est présentée dans le livrable L1.1.

2.2. DONNÉES CARTOGRAPHIQUES

Les données SIG (Système d'Information Géographique) utilisées pour les besoins de l'étude sont détaillées dans le livrable L1.4.

2.3. VERSION DES LOGICIELS UTILISÉS

Les cartographies ont été réalisées à l'aide du logiciel QGIS dans sa version 2.18.

3. ANALYSE HYDROLOGIQUE

L'objectif principal de l'analyse hydrologique est d'étudier le régime hydrométrique et pluviométrique du bassin versant de la vallée de l'Authie afin d'identifier un ou deux événements de référence qui seront retenus pour caractériser les inondations par débordement de cours d'eau et par ruissellement.

Cet (ou ces) événement(s) de référence devront être a minima centennaux. **Un événement de période de retour centennale 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. Deux cas de figure peuvent dès lors se produire :

- l'analyse historique conduite en phase 1 a permis de retrouver la trace d'un épisode pluvieux bien documenté dont la période de retour estimée est centennale ou supérieure : dans ce cas-là, cette pluie pourra être retenue comme événement de référence ;
- aucun épisode historique n'est compatible avec les critères d'un événement de référence et dans ce cas-là, une pluie de projet centennale sera construite sur la base des statistiques pluviométriques locales.

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

Remarque : L'estimation statistique de la période de retour d'un événement est réalisée sur la base de l'état des connaissances en 2020.

3.1. DONNÉES DISPONIBLES

Les données nécessaires à l'analyse du comportement hydrologique du bassin versant de l'Authie et à la détermination des événements de référence sont de trois ordres :

- des données pluviométriques, collectées auprès de Météo-France, sur les postes pluviométriques du bassin versant et aux alentours ;
- des données RADAR (PANTHERE), collectées auprès de Météo-France, consistant en des lames d'eau d'événements pluvieux importants sur l'ensemble du territoire d'étude ;
- des données hydrométriques et limnimétriques collectées auprès de la Banque Hydro.

3.1.1. Données pluviométriques

➤ **Les stations pluviométriques terrestres**

Les données récupérées auprès de Météo-France sont les suivantes :

Localisation station	Id station	Type station / État	Type données	Période des données			
				1999	2000-2001	2016	2018
SAULTY	62784001	1 Ouvert	Journalière	24/12/1999 au 31/12/1999	18/03/2001 au 24/03/2001	01/03/2016 au 08/06/2016	01/03/2018 au 31/05/2018
			Horaire	24/12/1999 au 27/12/1999	18/03/2001 au 23/03/2001	30/05/2016 au 31/05/2016 + 07/06/2016 au 08/06/2016	28/05/2018 au 31/05/2018
			Infra-horaire	X	X	30/05/2016 au 01/06/2016 + 07/06/2016 au 08/06/2016	28/05/2018 au 31/05/2018
BERNAVILLE	80086002	1 Ouvert	Journalière	24/12/1999 au 31/12/1999	18/03/2001 au 24/03/2001	30/05/2016 au 08/06/2016	28/05/2018 au 31/05/2018
			Horaire	24/12/1999 au 27/12/1999	18/03/2001 au 23/03/2001	30/05/2016 au 31/05/2016 + 07/06/2016 au 08/06/2016	28/05/2018 au 31/05/2018
			Infra-horaire	X	X	30/05/2016 au 01/06/2016 + 07/06/2016 au 08/06/2016	28/05/2018 au 31/05/2018
VRON	80815002	3 Fermé	Journalière	24/12/1999 au 31/12/1999	18/03/2001 au 24/03/2001	X	X
			Horaire	24/12/1999 au 27/12/1999	18/03/2001 au 23/03/2001	X	X
DOMPIERRE-SUR-AUTHIE	80248001	3 Ouvert	Journalière	01/10/1999 au 31/12/1999	01/11/2000 au 30/04/2001	01/03/2016 au 08/06/2016	01/03/2018 au 31/05/2018
DOULLENS	80253002	3 Ouvert	Journalière	01/10/1999 au 31/12/1999	01/11/2000 au 30/04/2001	01/03/2016 au 08/06/2016	01/03/2018 au 31/05/2018
MONDICOURT	62583001	4 Ouvert	Journalière	24/12/1999 au 31/12/1999	18/03/2001 au 24/03/2001	30/05/2016 au 08/06/2016	28/05/2018 au 31/05/2018
GUESCHART	80396001	4 Ouvert	Journalière	X	X	30/05/2016 au 08/06/2016	28/05/2018 au 31/05/2018
RANG-DU-FLIERS	62688001	4 Fermé	Journalière	01/10/1999 au 31/12/1999	01/11/2000 au 28/02/2001	X	X

Tableau 1: Données pluviométriques récoltées auprès de Météo-France

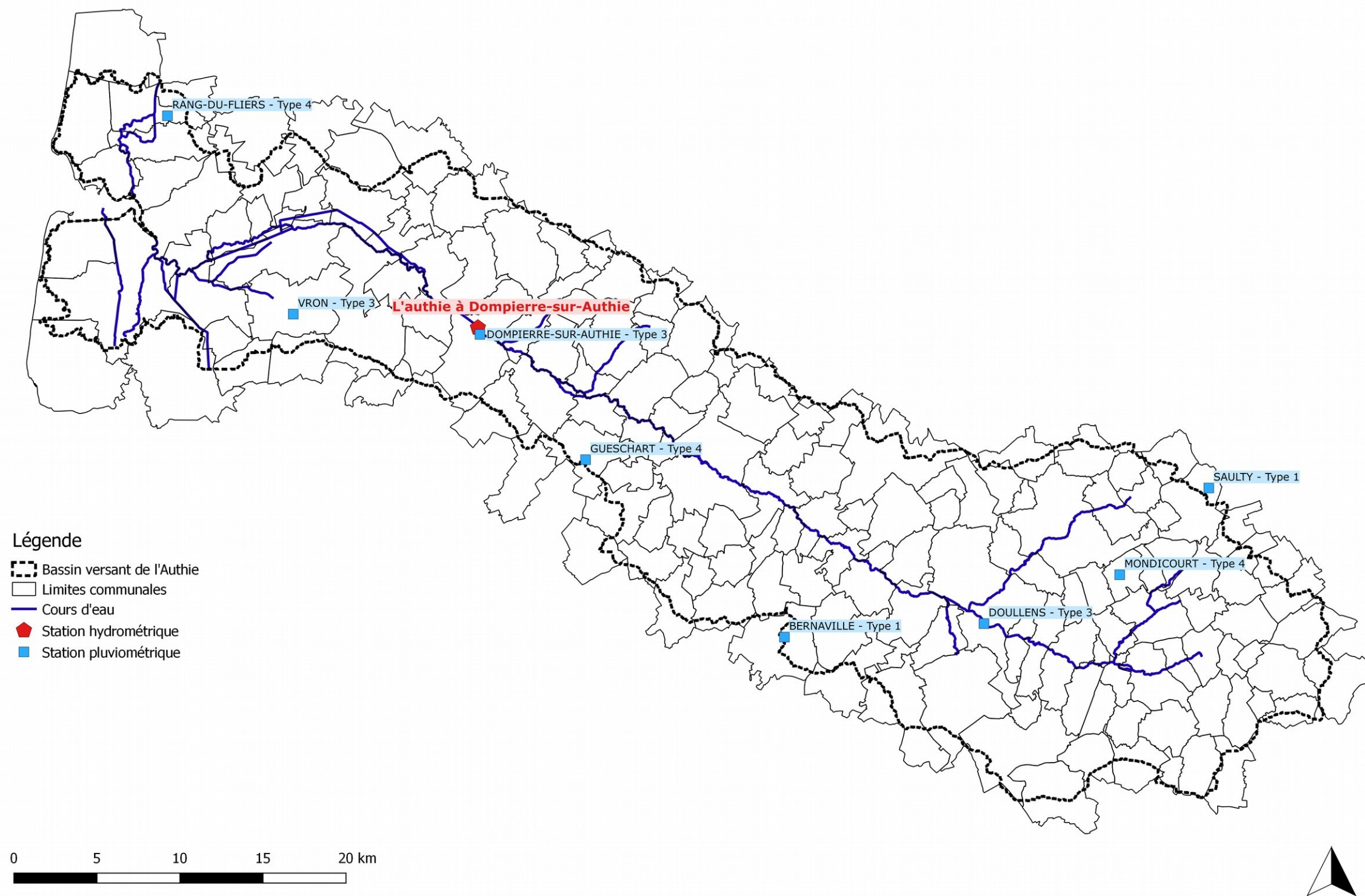


Figure 1: Localisation des stations pluviométriques et hydrométrique sur et à proximité du bassin versant de l'Authie

Les stations de type 1 sont automatiques avec des relevés pluviométriques au pas de temps 5 minutes. Les stations de type 3 sont automatiques mais avec un pas de temps journalier et celles de type 4 manuelles avec un pas de temps journalier.

Remarque : Pour les stations de Bernaville et Saulty (de type 1), les données au pas de temps 5 minutes n'ont pas été récupérées pour les événements de 1999 et 2001 car ces épisodes correspondent à des épisodes pluvieux de longue durée, avec des intensités horaires faibles donc pour lesquels un pas de temps plus fin n'apporte pas plus d'information que l'horaire. Les données 5 minutes ont été récupérées pour des événements pluvieux courts voire très courts (de moins d'une heure à quelques heures) pour lesquels il est intéressant de connaître le cumul de pluie sur un temps court. Par exemple, on sait qu'il est tombé 30 mm en 1 h (avec une donnée horaire) mais on ne sait pas si ce cumul s'est fait en 15 min, 30 min et avec quelle intensité.

Les statistiques des précipitations des stations Météo-France de Bernaville et Saulty ont été demandées au pas de temps 30 min, 1 h, 2 h, 6 h, 24 h et celles des stations Météo-France de Dompierre-sur-Authie et du Touquet au pas de temps 1 j, 2 j et 3 j. Elles sont présentées dans les tableaux suivants (hauteurs en mm).

BERNAVILLE	Durée de la pluie				
Période de retour	30 min	1 h	2 h	6 h	24 h
5 ans	18.4	24.2	27.8	36.2	50.6
10 ans	21.9	28.9	32.9	42.3	57.5
20 ans	25.2	33.5	37.9	48.6	64.2
30 ans	27.0	36.1	40.9	52.5	68.0
50 ans	29.3	39.5	44.6	57.5	72.8
75 ans	31.1	42.2	47.7	61.8	76.7
100 ans	32.3	44.1	49.8	64.8	79.4

Tableau 2: Statistiques à la station de Bernaville sur la période 1997-2016 (source : Météo-France)

SAULTY	Durée de la pluie				
Période de retour	30 min	1 h	2 h	6 h	24 h
5 ans	18.1	22.6	27.8	34.6	52.2
10 ans	21.6	27.2	33.8	42.0	61.0
20 ans	25.0	31.6	39.8	50.0	69.7
30 ans	26.9	34.2	43.5	55.1	74.9
50 ans	29.3	37.4	48.3	62.1	81.5
75 ans	31.2	40.0	52.3	68.1	86.9
100 ans	32.5	41.9	55.2	72.7	90.7

Tableau 3: Statistiques à la station de Saulty sur la période 1990-2016 (source : Météo-France)

DOMPIERRE	Durée de la pluie		
Période de retour	1 j	2 j	3 j
5 ans	46.2	62.0	71.8
10 ans	53.6	70.2	81.3
20 ans	61.3	78.3	90.8
30 ans	66.0	83.0	96.4
50 ans	72.3	89.0	103.8
75 ans	77.6	93.9	109.7
100 ans	81.5	97.3	114.0

Tableau 4: Statistiques à la station de Dompiere-sur-Authie sur la période 1970-2016 (source : Météo-France)

TOUQUET	Durée de la pluie		
Période de retour	1 j	2 j	3 j
5 ans	46.0	62.1	74.3
10 ans	52.9	70.6	84.4
20 ans	59.9	78.9	94.3
30 ans	64.1	83.7	100.1
50 ans	69.4	89.8	107.5
75 ans	73.8	94.7	113.4
100 ans	77.0	98.2	117.6

Tableau 5: Statistiques à la station du Touquet sur la période 1960-2016 (source : Météo-France)

➤ **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 un fichier par pixel (1 km²) et par pas de temps horaire ;
- les lames d'eau PANTHERE, disponibles depuis mai 2005, basées uniquement sur les mesures RADAR brutes avec un fichier par pixel 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 très 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.

Les lames d'eau PANTHERE ont été récupérées sur les périodes suivantes :

- du 28 mai 2016 minuit au 1^{er} juin 2016 minuit ;
- du 7 juin 2016 10 h au 7 juin 2016 20 h ;
- du 26 mai 2018 minuit au 2 juin 2018 minuit.

3.1.2. Données hydrométriques et limnimétriques

Le Tableau 6 présente les stations hydrométriques du bassin versant de l'Authie.

Code	Nom station	Dept	Données disponibles	
			Hauteurs	Débits
E5505720	L'Authie à Dompierre-sur-Authie	80	1963 - 2019	1963 - 2019
E5505719	L'Authie à Villers-sur-Authie	80	2019 - 2021	Non disponible
E5505715	L'Authie à Occoches	80	2019 - 2021	2019 - 2021
E5505710	L'Authie à Authieule	80	1975 - 1989	Non disponible

Tableau 6: Station hydrométrique sur le bassin versant de l'Authie

Seule la station de Dompierre-sur-Authie :

- présente une chronique de données suffisamment longue pour être exploitée dans le cadre d'une analyse statistique ;
- était ouverte lors des événements historiques (1999, 2001, 2016 et 2018).

Le bassin versant drainé à Dompierre-sur-Authie est de 796 km², soit 76 % de la superficie totale du bassin (hors plaine maritime).

3.2. ANALYSE DES ÉVÉNEMENTS PLUVIEUX

3.2.1. Analyse des principaux événements et principaux enseignements hydrologiques

L'analyse de différents épisodes d'inondation sur le bassin versant permet de définir les caractéristiques des pluies qui provoquent des débordements de l'Authie et ses affluents et des phénomènes de ruissellement sur le bassin versant.

Les événements suivants ont été analysés du point de vue du contexte pluviométrique (cumuls de l'événement, conditions antécédentes, ...) et du contexte hydrométrique / limnimétrique (débits dans les cours d'eau) sur la base des données ayant pu être collectées :

- 24 au 28 décembre 1999 ;
- décembre 2000 à avril 2001, plus particulièrement l'évènement du 18 au 21 mars 2001 ;
- 30 mai 2016 ;
- 7 juin 2016 ;
- fin mai 2018.

➤ **24 au 28 décembre 1999**

Contexte pluviométrique

Le Tableau 7 présente la pluviométrie enregistrée sur les stations de Doullens, Dompierre-sur-Authie et Rang-du-Fliers, présentes sur la zone d'étude, avant l'évènement du 24 au 28 décembre 1999.

	DOULLENS	DOMPIERRE-SUR-AUTHIE	RANG-DU-FLIERS
Pluviométrie 2 mois précédents (mm)	192.7	201	184.7
Pluviométrie 15 jours précédents (mm)	109.3	109.1	89.3
Pluviométrie 5 jours précédents (mm)	6.2	10.7	9.8
Moyenne mensuelle décembre (mm)	79.7	79.7	79.7

Tableau 7: Pluviométrie précédant le 24 décembre 1999

Le mois de novembre et le début du mois de décembre 1999 sont très arrosés, les sols sont alors saturés en eau et ne peuvent pas absorber les importantes précipitations de fin décembre. A l'aval du bassin versant (station de Rang-du-Fliers) les pluies avant l'épisode de fin décembre ont été un peu moins importantes qu'à l'amont (stations de Doullens et Dompierre-sur-Authie) mais restent tout de même conséquentes.

Les cumuls journaliers enregistrés du 24 au 28 décembre 1999 sur 7 stations de la zone d'étude sont présentés sur la Figure 2. Le Tableau 8 présente les hauteurs cumulées et leur période de retour.

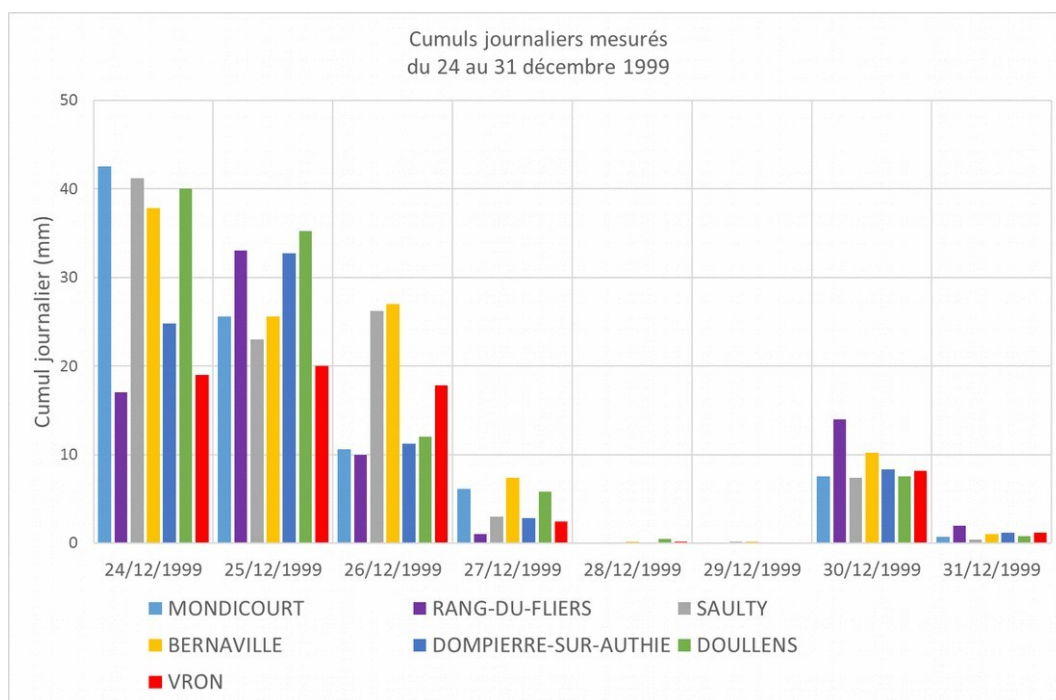


Figure 2: Cumuls journaliers mesurés du 24 au 31 décembre 1999

Hauteurs cumulées en mm et période de retour			
	1 j	2 j	3 j
SAULTY	41.2	64.2	90.4
	< 5 ans	Entre 5 et 10 ans	Entre 10 et 20 ans
MONDICOURT	42.5	68.1	78.7
	< 5 ans	Entre 5 et 10 ans	Entre 5 et 10 ans
DOULLENS	40	75.2	87.2
	< 5 ans	Entre 10 et 20 ans	Entre 10 et 20 ans
BERNAVILLE	37.8	63.4	90.4
	< 5 ans	Entre 5 et 10 ans	Entre 10 et 20 ans
DOMPIERRE-SUR-AUTHIE	32.7	57.5	68.7
	< 5 ans	< 5 ans	< 5 ans
VRON	20	39	56.8
	< 5 ans	< 5 ans	< 5 ans
RANG-DU-FLIERS	33	50	60
	< 5 ans	< 5 ans	< 5 ans

Tableau 8: Hauteurs cumulées entre le 24 et le 26 décembre 1999 et période de retour

Les données enregistrées sur les stations de l'amont du bassin versant entre le 24 et le 26 décembre 1999 témoignent de hauteurs cumulées significatives sur 2 et 3 jours :

- Saulty : 90,4 mm en 3 jours, soit une période de retour entre 10 et 20 ans,
- Mondicourt : 68,1 mm en 2 jours, soit une période de retour entre 5 et 10 ans,
- Doullens : 75,2 mm en 2 jours, soit une période de retour entre 10 et 20 ans
- Bernaville : 90,4 mm en 3 jours, soit une période de retour entre 10 et 20 ans.

A l'amont le pic de pluie est enregistré le 24 décembre 1999 tandis que sur les stations de l'aval du bassin versant, soient les stations de Dompierre-sur-Authie et Rang-du-Fliers, le pic est enregistré le 25 décembre 1999 (respectivement 32,7 mm et 33 mm en 1 jour).

Contexte hydrométrique

A la station de Dompierre-sur-Authie, les débits mesurés ne sont pas disponibles entre le 22 et le 31 décembre 1999. Sur novembre 1999, le débit journalier varie de 7,1 à 8,1 m³/s. Sur décembre 1999, le débit journalier varie de 6,8 à 10,3 m³/s entre le 1 et le 21 ; puis de 9,3 à 16,0 m³/s entre le 22 et le 31 (débit reconstitué, valeur jugée bonne par le gestionnaire).

Le débit maximal instantané de crue reconstitué à Dompierre-sur-Authie est de **21,0 m³/s le 28/12/1999** (valeur jugée incertaine par le gestionnaire). La période de retour est estimée **entre quinquennale et décennale** humides (source : BanqueHydro).

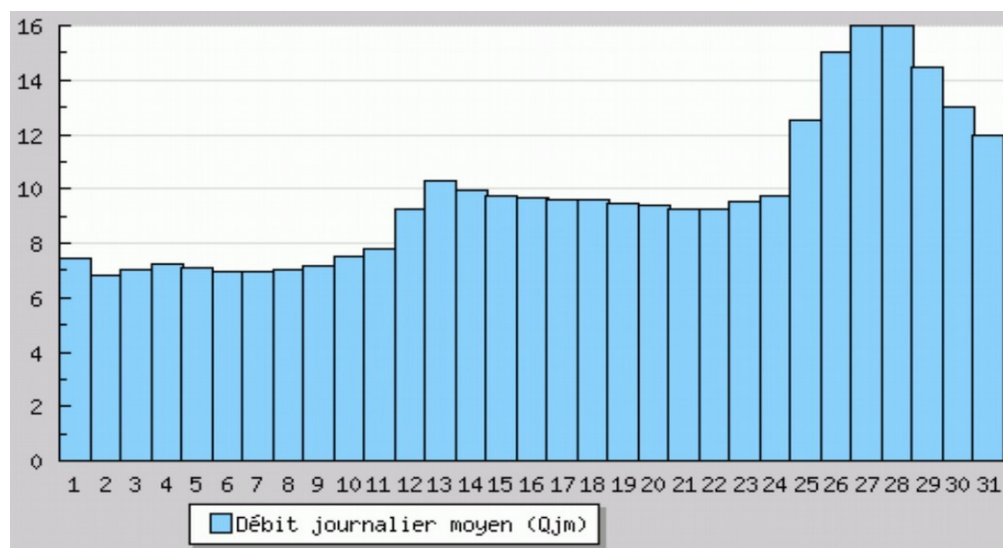


Figure 3: Mesure du débit journalier moyen de l'Authie à la station de Dompierre-sur-Authie - décembre 1999 (source : Banque hydro)

Conséquences de l'événement observées sur le territoire (rappels du livrable L1.2)

Les inondations du 12 au 31 décembre 1999 ont touché l'ensemble du bassin versant de l'Authie. Les 163 communes du bassin versant disposent d'un arrêté portant reconnaissance de catastrophes naturelles en date du 25/12/1999. Les inondations ont été généralisées. La crue de l'Authie a notamment provoqué l'évacuation de plusieurs centaines de personnes à Doullens (source : BDHI).

➤ **18 au 21 mars 2001**

Contexte pluviométrique

Le Tableau 9 présente la pluviométrie enregistrée sur les stations de Doullens et Dompierre-sur-Authie, présentes sur la zone d'étude, avant l'évènement du 18 au 21 mars 2001.

	DOULLENS	DOMPIERRE-SUR-AUTHIE
Pluviométrie 2 mois précédents (mm)	181.7	211
Pluviométrie 15 jours précédents (mm)	76	91
Pluviométrie 5 jours précédents (mm)	29.6	26.9
Moyenne mensuelle mars (mm)	56.7	56.7

Tableau 9: Pluviométrie précédant le 18 mars 2001

D'octobre 2000 à avril 2001, les cumuls pluviométriques sur les bassins côtiers de la Manche atteignent un niveau exceptionnel. Au cours de ces sept mois, la plupart des stations enregistrent des valeurs entre 1,5 et 2 fois la moyenne climatologique. Sur mars et avril 2001, les précipitations atteignent 2,5 à 3 fois la moyenne climatologique. En sept mois, le bassin de l'Authie a reçu en moyenne un mètre de précipitations, un peu moins en amont (918 mm à Doullens), un peu plus sur le littoral (1 090 mm à Dompierre). C'est à peu près 1,7 à 2 fois la moyenne climatologique (source : BDHI).

La figure ci-après illustre la chronique piézométrique enregistrée à Authieux (00341X050) entre 1965 et 2019.

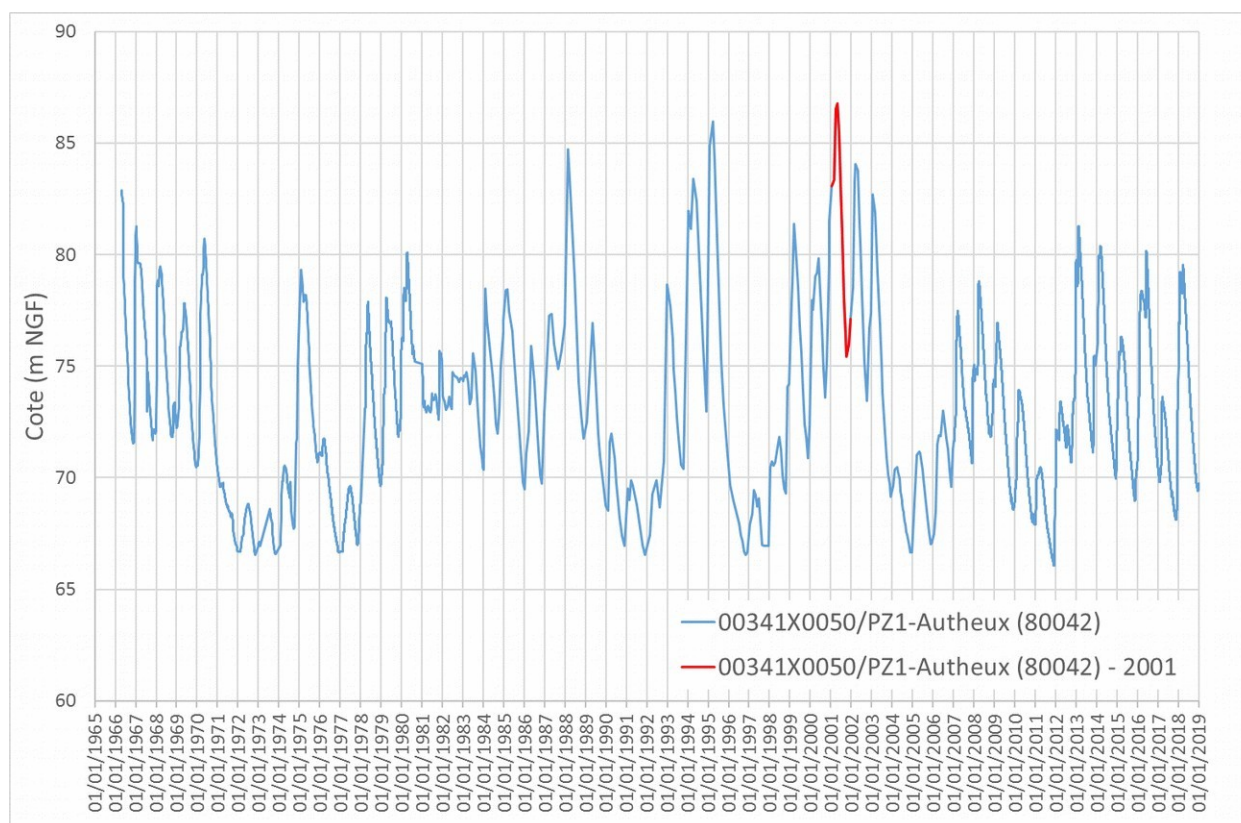


Figure 4: Chronique piézométrique enregistrée à Authieux entre 1965 et 2019 (source : ADES)

Les niveaux des nappes et des cours d'eau sont bien corrélés avec un décalage de quelques semaines entre eux. Le niveau des nappes phréatiques, déjà bien rehaussé par 3 années pluvieuses depuis 1998, continue de croître. La reprise d'importantes précipitations en mars et en avril 2001 entraîne une nouvelle augmentation du niveau des nappes ainsi que des débits des différents cours d'eau. Les débordements de l'Authie sont associés à ces remontées de nappes. La plupart des affluents de la Somme connaissent également des crues remarquables associées à des remontées de nappes (l'Ancre, l'Avre, la Bresle, etc.). Ces crues sont exceptionnelles par leur ampleur et leur durée (plusieurs mois). La situation atteint son paroxysme à la mi-avril.

Les cumuls journaliers enregistrés du 18 au 24 mars 2001 sur 6 stations de la zone d'étude sont présentés sur la Figure 5. Le Tableau 10 présente les hauteurs cumulées et leur période de retour.

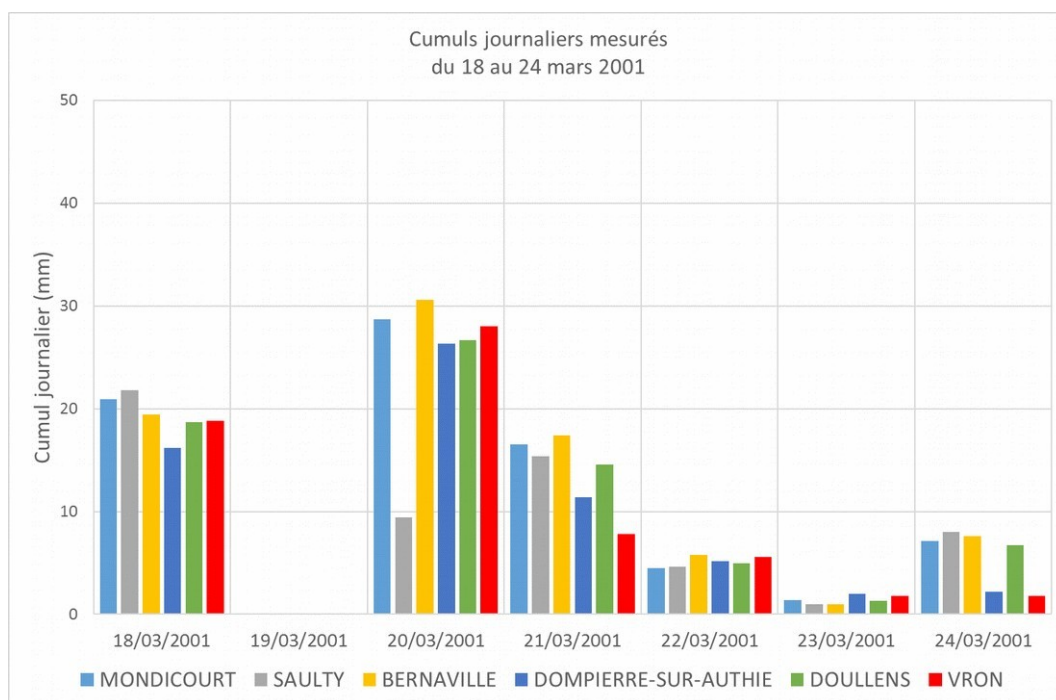


Figure 5: Cumuls journaliers mesurés du 18 au 24 mars 2001

Hauteurs cumulées en mm et période de retour		
	1 j	2 j
SAULTY	21.8	24.8
	< 5 ans	< 5 ans
MONDICOURT	28.7	45.2
	< 5 ans	< 5 ans
DOULLENS	26.7	41.3
	< 5 ans	< 5 ans
BERNAVILLE	30.6	48
	< 5 ans	< 5 ans
DOMPIERRE-SUR-AUTHIE	26.3	37.7
	< 5 ans	< 5 ans
VRON	28	35.8
	< 5 ans	< 5 ans

Tableau 10: Hauteurs cumulées entre le 18 et le 21 mars 2001 et période de retour

Les données enregistrées sont homogènes sur l'ensemble du bassin versant. Les hauteurs cumulées sur 1 et 2 jours ne sont pas significatives (période de retour inférieure à 5 ans).

Les stations de Mondicourt, Doullens et Bernaville présentent les cumuls les plus importants sur 2 jours, entre 41 et 48 mm.

Contexte hydrométrique

A la station de Dompierre-sur-Authie, le débit journalier varie de 11,8 à 16,2 m³/s en décembre 2000, de 15,3 à 21,3 m³/s en janvier 2001, de 15,7 à 18,8 m³/s en février 2001, de 15,4 à 26,3 m³/s en mars 2001 et de 20,0 à 23,7 m³/s en avril 2001. Le débit maximal instantané de crue mesuré à Dompierre-sur-Authie est de **26,7 m³/s le 21/03/2001** (valeur jugée incertaine par le gestionnaire). La période de retour estimée est **plus que vicennale** humide (source : BanqueHydro). Ce pic de débit provient surtout d'une nappe de la craie très haute (crue dite « de nappe ») et donc d'un débit de base de l'Authie déjà élevé (16 m³/s environ) avant les pluies du 18 au 21 mars. La décrue a été très lente. Le retour à la normale n'a été effectif qu'au début de l'été 2001.

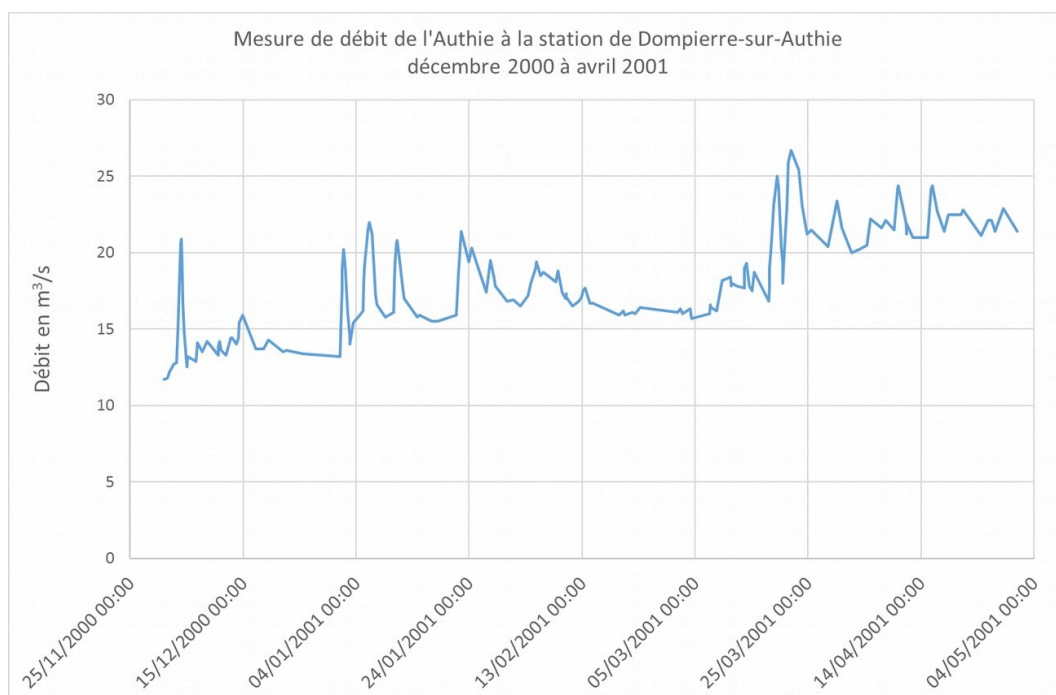


Figure 6: Mesure de débit de l'Authie à la station de Dompierre-sur-Authie - décembre 2000 à avril 2001

Conséquences de l'événement observées sur le territoire (rappels du livrable L1.2)

21 communes du bassin versant de l'Authie disposent d'un arrêté portant reconnaissance de catastrophes naturelles entre décembre 2000 et avril 2001. Les communes les plus touchées se situent entre Saulchoy et Tigny-Noyelle, zone sur laquelle l'eau a stagné en certains endroits pendant plus de 2 semaines, avec des hauteurs de submersion très importantes. C'est sur ce secteur (de Maintenay à Quend) que les 63 repères de crue ont été levés par la DDTM80 en avril 2001. Dans le reste de la vallée, les zones inondées sont plus disparates.

➤ **30 mai 2016**

Contexte pluviométrique

Le Tableau 11 présente la pluviométrie enregistrée sur les stations de Saulty, Doullens et Dompierre-sur-Authie, présentes sur la zone d'étude, avant l'évènement du 30 mai 2016.

	SAULTY	DOULLENS	DOMPIERRE-SUR-AUTHIE
Pluviométrie 2 mois précédents (mm)	168.8	204.3	184.8
Pluviométrie 15 jours précédents (mm)	59.2	83.5	57.9
Pluviométrie 5 jours précédents (mm)	11.3	36.4	14.7
Moyenne mensuelle mai (mm)	59.4	59.4	59.4

Tableau 11: Pluviométrie précédant le 30 mai 2016

La nuit du 30 au 31 mai 2016 (entre 20 h et 4 h), un orage accompagné de pluies diluviennes s'est abattu sur Doullens et sa région. Il est tombé 65 mm d'eau en une journée sur des sols engorgés. En effet, 83,5 mm de pluie ont été enregistrés à la station de Doullens sur les 15 jours précédents l'évènement du 30 mai 2016, soit 1,4 fois la moyenne mensuelle. De plus, de fortes pluies avaient eu lieu quelques jours auparavant, notamment le 27 mai 2016 (19,8 mm à Doullens).

Les cumuls journaliers enregistrés du 30 mai au 3 juin 2016 sur 6 stations de la zone d'étude sont présentés sur la Figure 7. Le Tableau 12 présente les hauteurs cumulées et leur période de retour.

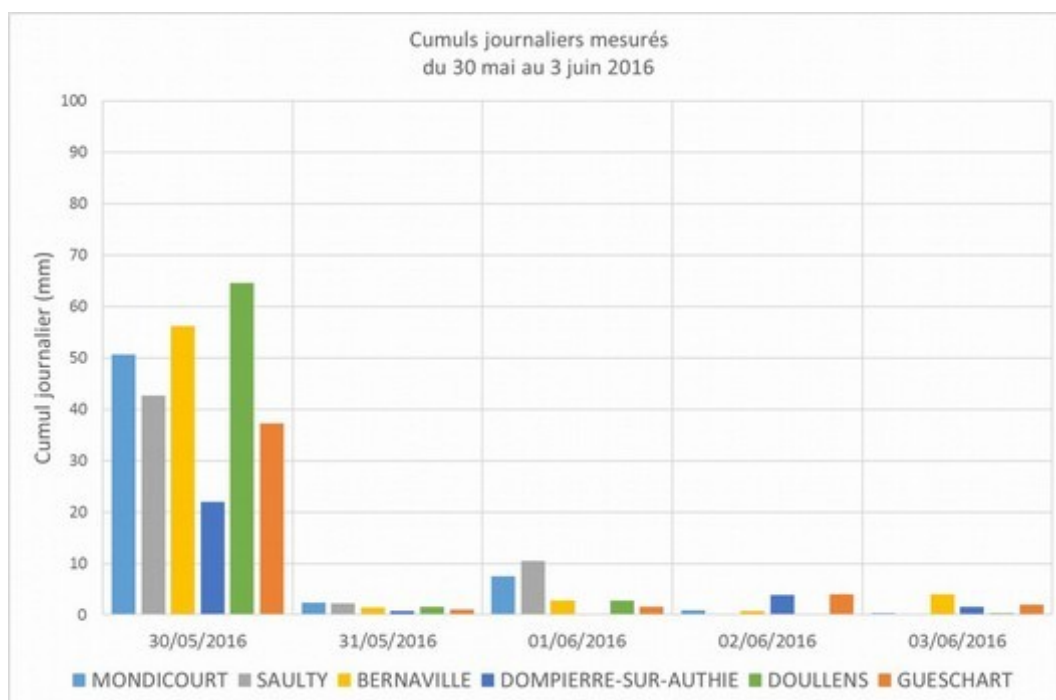


Figure 7: Cumuls journaliers mesurés du 30 mai au 3 juin 2016

	Hauteurs cumulées en mm et période de retour		
	2 h	6 h	1 j
SAULTY	15.4	25.7	42.6
	< 5 ans	< 5 ans	< 5 ans
MONDICOURT	-	-	50.6
			Entre 5 et 10 ans
DOULLENS	-	-	64.6
			Entre 20 et 30 ans
BERNAVILLE	17.6	36.8	56.2
	< 5 ans	Entre 5 et 10 ans	Entre 10 et 20 ans
GUESCHART	-	-	37.2
			< 5 ans
DOMPIERRE-SUR-AUTHIE	-	-	22
			< 5 ans

Tableau 12: Hauteurs cumulées le 30 mai 2016 et période de retour

Les données enregistrées sur les stations de l'amont du bassin le 30 mai 2016 témoignent de hauteurs cumulées significatives sur 6 h et 1 jour :

- Mondicourt : 50,6 mm en 1 jour, soit une période de retour entre 5 et 10 ans,
- Doullens : 64,6 mm en 1 jour, soit une période de retour entre 20 et 30 ans
- Bernaville : 56,2 mm en 1 jour, soit une période de retour entre 10 et 20 ans.

Contexte hydrométrique

A la station de Dompierre-sur-Authie, le débit journalier varie de 9,1 à 11,0 m³/s du 1^{er} au 30 mai 2016 et atteint 17,3 m³/s le 31 mai 2016 et 20,9 m³/s le 1^{er} juin 2016. Le débit maximal instantané de crue mesuré à Dompierre-sur-Authie est de **22,1 m³/s le 1^{er} juin 2016**. La période de retour estimée est **décennale** humide (source : BanqueHydro).

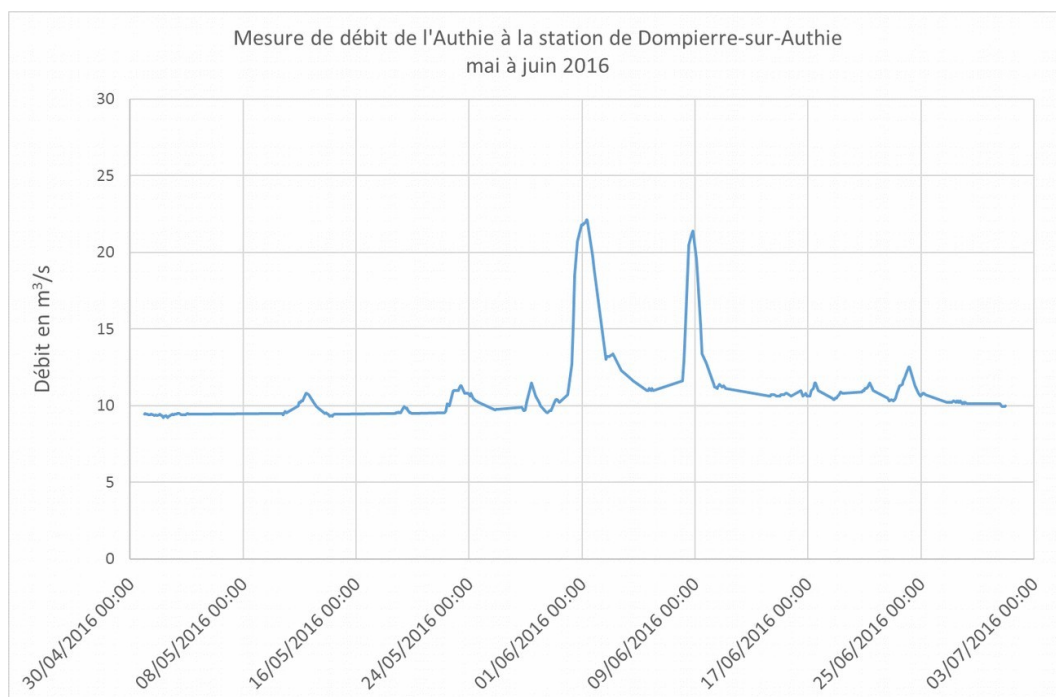


Figure 8: Mesure de débit de l'Authie à la station de Dompierre-sur-Authie - mai à juin 2016

Conséquences de l'événement observées sur le territoire (rappels du livrable L1.2)

Les inondations du 30 mai 2016 ont touché l'amont du bassin versant de l'Authie, dans le secteur du Doullennais. 11 communes du bassin versant de l'Authie disposent d'un arrêté portant reconnaissance de catastrophes naturelles en date du 30/05/2016 (ou du 27/05/2019 pour la commune de Bernâtre).

Lors de cet épisode de crue, plusieurs secteurs de Doullens ont été inondés tels que l'avenue Flandre Dunkerque, le chemin de Milly, les rives de l'Authie, Authieule, etc. Une voiture a été emportée sur 1 km à Gézaincourt.

➤ **7 juin 2016**

Contexte pluviométrique

Le Tableau 13 présente la pluviométrie enregistrée sur les stations de Saulty, Doullens et Dompierre-sur-Authie, présentes sur la zone d'étude, avant l'évènement du 7 juin 2016.

	SAULTY	DOULLENS	DOMPIERRE-SUR-AUTHIE
Pluviométrie 2 mois précédents (mm)	209	252.9	206.3
Pluviométrie 15 jours précédents (mm)	69.4	109.1	45.4
Pluviométrie 5 jours précédents (mm)	2.8	2.9	6
Moyenne mensuelle juin (mm)	66	66	66

Tableau 13: Pluviométrie précédant le 7 juin 2016

Tout juste une semaine après la crue du 31 mai 2016, le 7 juin, un second orage s'est produit cette fois-ci, dans le Pas-de-Calais entre les communes de Mondicourt et de Pas-en-Artois, sur des sols toujours engorgés. A la station de Mondicourt, le cumul journalier enregistré est de 92,6 mm (soit une période de retour supérieure à 100 ans). D'après la mairie de Doullens, il serait tombé 140 mm d'eau et de grêles en 20 minutes. D'après la commune de Pas-en-Artois, deux orages se sont formés aux alentours de 15 h et 104 mm de précipitations seraient tombées sur le secteur. Ces informations sont corroborées par les données RADAR (PANTHERE, fréquence 5 min, résolution 1 km). Le 7 juin 2016, des cumuls de pluie supérieurs à 100 mm en quelques heures ont été estimés sur l'amont du bassin versant de l'Authie, avec un orage centré sur le nord de Mondicourt et l'est de Luchaux.

Les cumuls journaliers enregistrés du 1^{er} au 8 juin 2016 sur 6 stations de la zone d'étude sont présentés sur la Figure 9. Le Tableau 14 présente les hauteurs cumulées et leur période de retour.

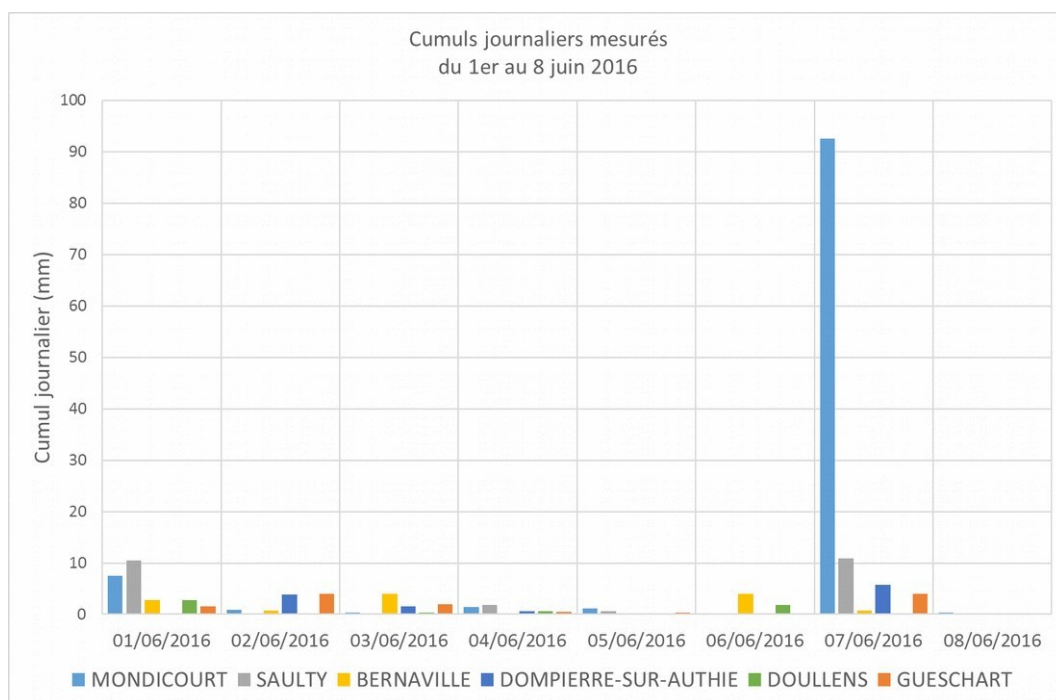


Figure 9: Cumuls journaliers mesurés du 1er au 8 juin 2016

Hauteurs cumulées en mm et période de retour			
	1 h	2 h	1 j
SAULTY	9.9	10.9	10.9
	< 5 ans	< 5 ans	< 5 ans
MONDICOURT	-	-	92.6
			> 100 ans
DOULLENS	-	-	0.2
			< 5 ans
BERNAVILLE	0.8	0.8	0.8
	< 5 ans	< 5 ans	< 5 ans
GUESCHART	-	-	4
			< 5 ans
DOMPIERRE-SUR-AUTHIE	-	-	5.8
			< 5 ans

Tableau 14: Hauteurs cumulées le 7 juin 2016 et période de retour

Seule la station de Mondicourt a enregistré une pluie significative le 7 juin 2016 avec 92,6 mm en 1 journée, soit une période de retour supérieure à 100 ans. Comme il s'agit d'un orage, cette quantité de pluie est tombée en quelques heures seulement, ce qui tendrait à augmenter la période de retour de cet évènement qui serait donc beaucoup plus que centennal.

Contexte hydrométrique

A la station de Dompierre-sur-Authie, après avoir atteint 17,3 m³/s le 31 mai 2016 et 20,9 m³/s le 1 juin 2016, le débit journalier diminue entre le 2 et le 7 juin 2016 (de 14,4 à 10,7 m³/s). Puis le 8 juin 2016, le débit journalier atteint 17,6 m³/s (15,0 m³/s le 9 juin 2016). A partir du 10 juin 2016 et jusqu'au 30 juin 2016, le débit journalier varie de 10,0 à 11,5 m³/s. Le débit maximal instantané de crue mesuré à Dompierre-sur-Authie est de **21,3 m³/s le 8 juin 2016**.

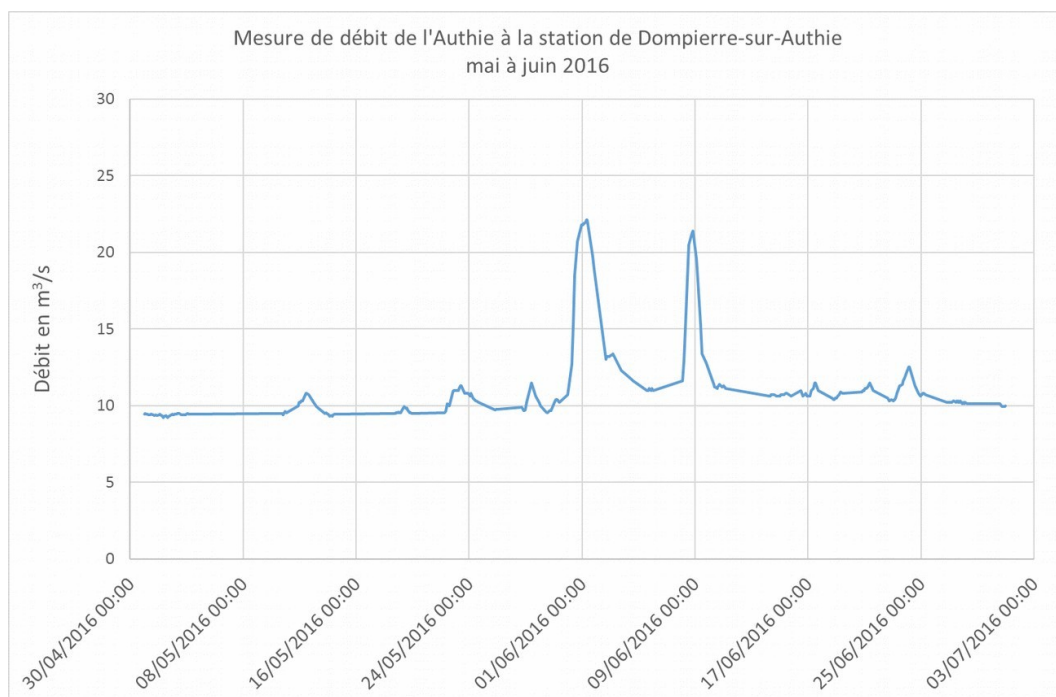


Figure 10: Mesure de débit de l'Authie à la station de Dompierre-sur-Authie - mai à juin 2016

Conséquences de l'événement observées sur le territoire (rappels du livrable L1.2)

Les inondations du 7 juin 2016 ont touché l'amont du bassin versant de l'Authie, sur les bassins versants de la Grouche et de la Quilienne. 14 communes du bassin versant de l'Authie disposent d'un arrêté portant reconnaissance de catastrophes naturelles en date du 5 ou 7/06/2016.

Les crues de la Quilienne, la Grouche, puis l'Authie et la Gézaincourtoise ont provoqué, après celle de fin mai 2016 une semaine plus tôt, une seconde vague d'inondations d'une grande ampleur. Cette fois encore, de nombreuses habitations de la région de Doullens (Doullens, Luchaux, Grouches-Luchuel, Humbercourt, Outrebois, Occoches, Hem-Hardinval, Gézaincourt, ...) et du Pas-de-Calais (Mondicourt, Pas-en-Artois) ont été inondées par des torrents de boue.

Cet évènement fut le plus marquant pour la commune de Pas-en-Artois. Les inondations n'ont duré que quelques heures, mais une grande partie du centre-ville a été submergée (la rue d'en Bas, la rue Basse Boulogne, la place de la mairie, la rue de l'Aumône, etc.). Sur la place de la mairie, la hauteur d'eau était d'environ 1,2 m. Environ 200 maisons ont été inondées (source : mairie de Pas-en-Artois). A Mondicourt, la route nationale a été coupée. La DDTM62 a relevé 41 repères de crue dont une grande majorité sur la commune de Pas-en-Artois.

➤ **Fin mai 2018**

Contexte pluviométrique

Le Tableau 15 présente la pluviométrie enregistrée sur les stations de Saulty, Doullens et Dompierre-sur-Authie, présentes sur la zone d'étude, avant les évènements du 27-28, 28-29 et 31 mai 2018.

	SAULTY	DOULLENS	DOMPIERRE-SUR-AUTHIE
Pluviométrie 2 mois précédents (mm)	129.8	124.4	118.7
Pluviométrie 15 jours précédents (mm)	41.2	49.9	26.8
Pluviométrie 5 jours précédents (mm)	30,4	33.5	10.7
Moyenne mensuelle mai (mm)	59.4	59.4	59.4

Tableau 15: Pluviométrie précédant le 27 mai 2018

Les 5 jours précédents le 27 mai 2018 ont été plutôt arrosés, avec notamment 33,5 mm à Doullens et 30,4 mm à Saulty. C'est sur des sols humides que d'après la mairie de Beauval, le 28 et le 31 mai 2018, respectivement 50 et 60 mm seraient tombés en 1 heure. A Gézaincourt, c'est 60, 40 et 20 mm qui seraient tombés les 28, 29 et 31 mai 2018. L'orage du 31 mai 2018 a été le plus bref (20 minutes). Les ruissellements en provenance de Beauval et Candas se sont poursuivis jusqu'à 24 h après l'arrêt de la pluie. D'après la mairie de Gézaincourt, le niveau de la Gézincourtoise est monté et redescendu rapidement, en moins d'une heure.

Les cumuls journaliers enregistrés du 27 au 31 mai 2018 sur 6 stations de la zone d'étude sont présentés sur la Figure 11. Le Tableau 16 présente les hauteurs cumulées et leur période de retour.

Cumuls journaliers mesurés
du 27 au 31 mai 2018

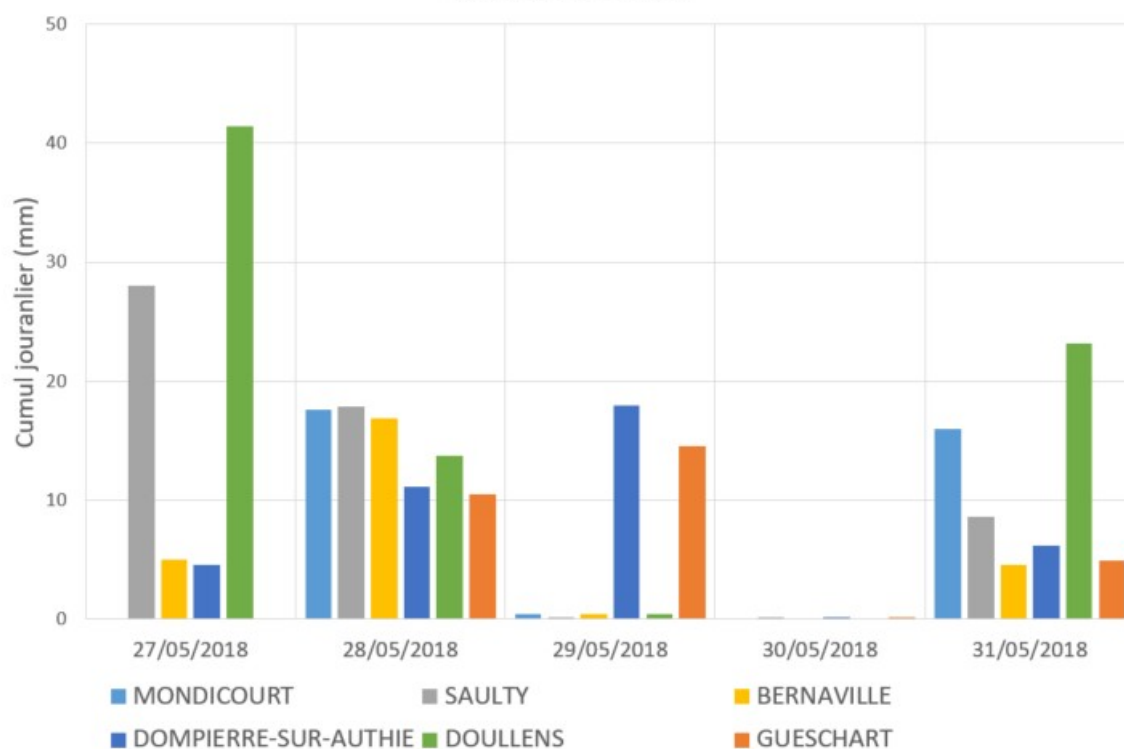


Figure 11: Cumuls journaliers mesurés du 27 au 31 mai 2018

	Hauteurs cumulées en mm et période de retour			
	1 h	2 h	1 j	2 j
SAULTY	20.1	21.1	28	45.9
	< 5 ans	< 5 ans	< 5 ans	< 5 ans
MONDICOURT	-	-	17.6	18
			< 5 ans	< 5 ans
DOULLENS	-	-	41.4	55.1
			< 5 ans	< 5 ans
BERNAVILLE	10.9	14.9	16.9	17.3
	< 5 ans	< 5 ans	< 5 ans	< 5 ans
GUESCHART	-	-	14.5	25
			< 5 ans	< 5 ans
DOMPIERRE-SUR-AUTHIE	-	-	18	29.1
			< 5 ans	< 5 ans

Tableau 16: Hauteurs cumulées entre le 27 et le 31 mai 2018 et période de retour

Pour l'événement dans la nuit du 27 au 28 mai 2018, qui correspond au cumul journalier du 27 mai (car les cumuls s'étendent de 6h à 6h UTC), les données enregistrées sont hétérogènes, avec les cumuls les plus forts à Doullens et Saulzy (30 à 40 mm). Pour l'événement dans la nuit du 28 au 29 mai 2018, qui correspond au cumul journalier du 28 mai, les cumuls sont homogènes sur l'ensemble du bassin versant (entre 10 et 20 mm). Le 29 mai 2018 (cumul du 29 mai 6h au 30 mai 6h), seules les stations de Dompierre-sur-Authie et Gueschart, à l'aval du bassin versant, ont enregistrées un épisode pluvieux. Tandis que le 31 mai 2018, c'est à la station de Doullens que le cumul journalier fut le plus important avec 23,2 mm. Néanmoins, pour tous ces événements, les hauteurs cumulées sur 1 h, 2 h, 1 et 2 jours ne sont pas significatives (période de retour inférieure à 5 ans).

Contexte hydrométrique

A la station de Dompierre-sur-Authie, le débit journalier varie de 9,4 à 10,5 m³/s du 1^{er} au 27 mai 2018 et atteint 12,7 m³/s le 28 mai 2018, 12,5 m³/s le 29 mai 2018 et 11,3 m³/s le 30 mai 2018. Le 31 mai 2018, le débit journalier redescend à 10,1 m³/s, puis remonte à 11,5 m³/s le 1 juin 2018. Les débits maximaux instantanés de crue mesurés à Dompierre-sur-Authie sont de **17,6 m³/s le 28/05/2018**, 15,3 m³/s le 29/05/2018 et 13,6 m³/s le 1/06/2018.

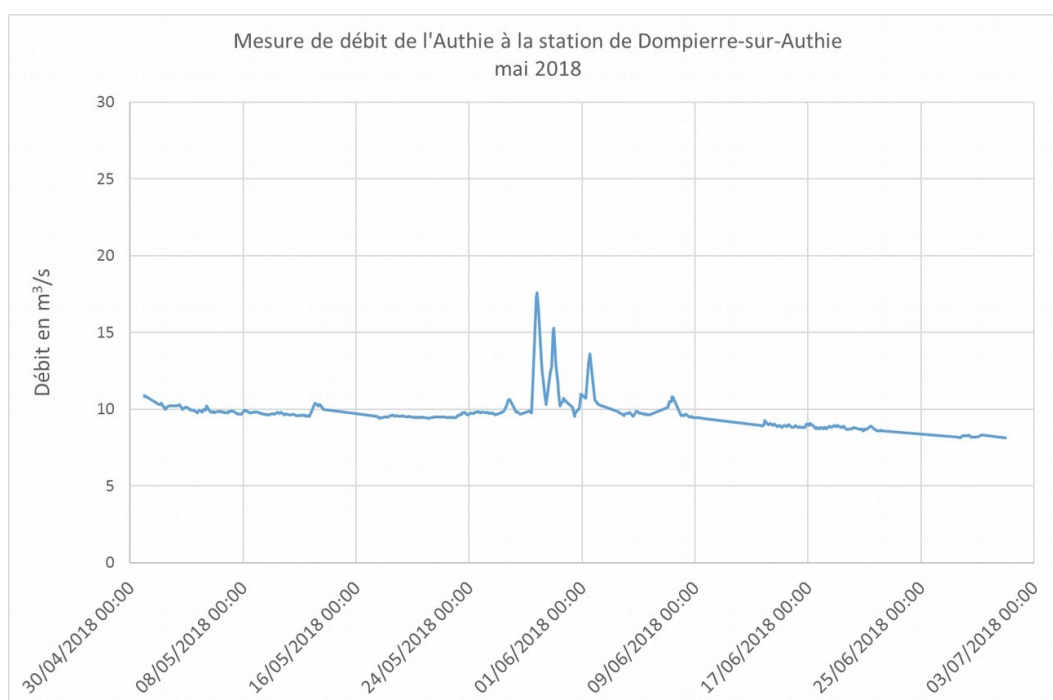


Figure 12: Mesure de débit de l'Authie à la station de Dompierre-sur-Authie - mai 2018

Conséquences de l'événement observées sur le territoire (rappels du livrable L1.2)

Les inondations de fin mai 2018 ont touché l'amont du bassin versant de l'Authie, sur les bassins versants de la Grouche et de la Gézincourtoise, ainsi que le versant Authie de la communauté de communes des 7 vallées. 11 communes du bassin versant de l'Authie disposent d'un arrêté portant reconnaissance de catastrophes naturelles en date du 28, 29 ou 31/05/2018.

Les inondations de mai 2018 sont les seules que la commune de Beauval ait connues ces 65 dernières années. Une partie des eaux en provenance de Beauquesne (Longs Fonds) s'est engouffrée dans la cour derrière la société coopérative. L'eau s'est accumulée et 3 à 4 maisons ont été inondées (50 cm d'eau) jusqu'à ce que le mur à l'arrière de la cour cède et que l'eau ne s'évacue (source : mairie de Beauval).

3.2.2. Événements retenus pour le calage des modèles hydrauliques

Les différentes informations récoltées lors de la phase 1 ont permis de déterminer les événements historiques qui ont été modélisés dans le cadre du calage des modèles débordement de cours d'eau et ruissellement.

Afin d'envisager un calage correct des modèles, il est nécessaire d'avoir une quantité d'informations historiques (témoignages, repères de crue) et/ou quantitatives (mesures de débit) suffisantes pour pouvoir caractériser les écoulements sur le bassin versant sur la totalité du territoire.

Vu les différentes informations collectées au cours de cette phase, et en concertation avec la DDTM80 :

- les événements de mai et juin 2016 ont été retenus pour le calage du modèle débordement amont de l'Authie ;
- l'événement de mars 2001 a été retenu pour le calage du modèle débordement aval de l'Authie ;
- les événements de mai et juin 2016 et de mai 2018 pour le calage du modèle ruissellement.

Le calage de ces événements a permis de s'assurer que les modèles représentent de manière satisfaisante les écoulements et inondations sur le territoire.

3.3. ANALYSE DES DONNÉES

3.3.1. Comparaison données RADAR et postes pluviométriques terrestres

Les données RADAR PANTHERE ont été comparées à celles des postes pluviométriques disponibles sur ou à proximité du territoire d'étude pour les événements pluvieux de mai et juin 2016 et ceux de mai 2018. La comparaison des données RADAR avec les postes pluviométriques terrestres de Vron et Rang-du-Fliers n'a pas pu être faite car ces dernières ne sont pas disponibles sur ces événements récents.

Pour l'événement du 30-31 mai 2016, les écarts vont de faibles (+/-10%) à acceptables (+/-20%) sauf pour le poste de Bernaville (écart de 38%). On note une « bande » avec les cumuls RADAR les plus forts, entre Doullens et Bernaville. Les données étant cohérentes partout ailleurs, le RADAR sera utilisé pour cet événement mais une attention particulière sera portée sur ce secteur lors du calage, sur une éventuelle surestimation des cumuls RADAR.

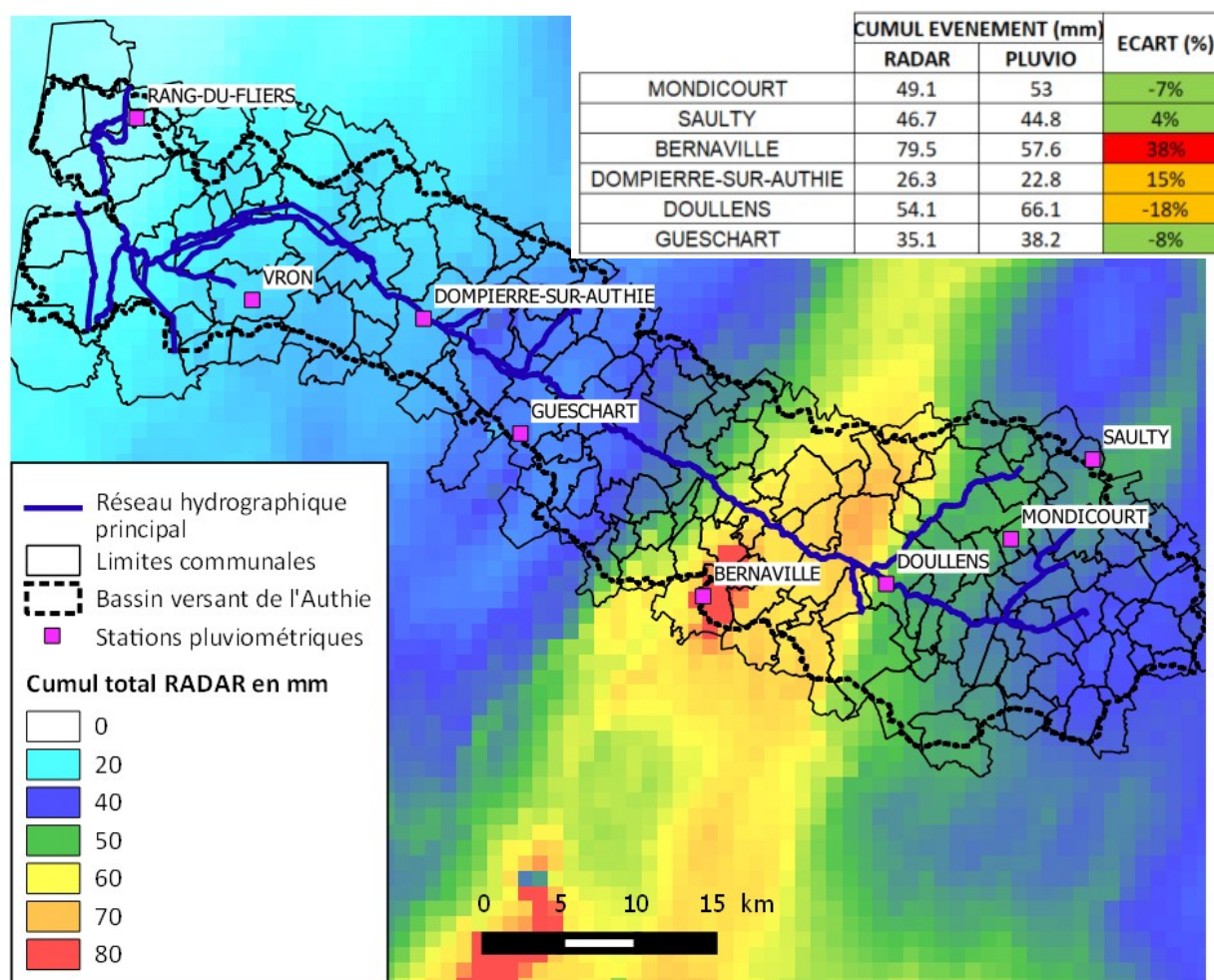


Figure 13 : Comparaison entre les données RADAR PANTHERE et les pluviomètres terrestres (30-31/05/16)

L'événement du 7 juin 2016 est très localisé sur le secteur de Mondicourt-Pas-en-Artois (pluviomètres de Mondicourt et Saulty). Pour ces deux pluviomètres, les cumuls RADAR sont nettement supérieurs. Cependant, l'hétérogénéité de cet épisode est très importante : à titre d'exemple, le pixel RADAR voisin de la station de Mondicourt donne un cumul de 66 mm, soit un rapport de presque 3 entre les deux pixels. Le cumul est moyenné sur le pixel de 1 km² donc il est possible qu'à l'intérieur du pixel, les différences de cumuls soient importantes.

Les informations historiques montrent, d'après les communes, des cumuls supérieurs à 100 mm (jusqu'à 140 mm). Ailleurs la comparaison n'a pas été faite car les cumuls pluviométriques terrestres sont dus à un autre épisode pluvieux ayant eu lieu au début de la journée du 8 juin pour lequel nous n'avons pas les données RADAR.

Le RADAR sera utilisé pour cet événement du 7 juin car il fournit un cumul toutes les 5 minutes alors que le cumul du pluviomètre de Mondicourt est journalier donc non exploitable tel quel pour un épisode orageux. Une attention particulière sera portée lors du calage, sur une éventuelle surestimation des cumuls RADAR. A défaut, le pluviomètre de Mondicourt sera utilisé comme représentatif de l'orage sur le secteur.

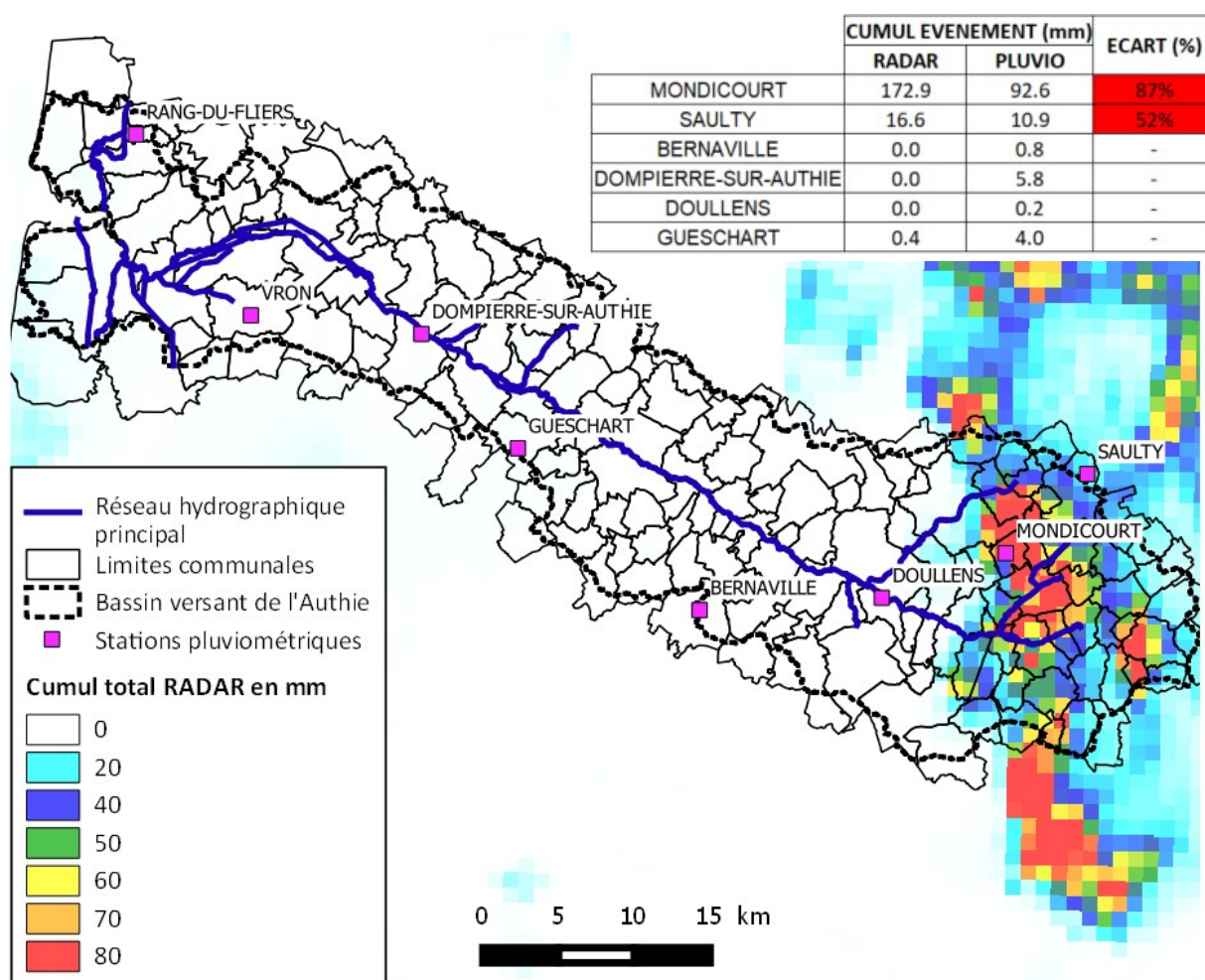


Figure 14 : Comparaison entre les données RADAR PANTHERE et les pluviomètres terrestres (07/06/16)

Pour les événements de fin mai 2018, les écarts vont de faibles (+/-10%) à acceptables (+/-20%) sur celui du 31 mai. Pour les deux autres, les écarts sont plus importants sur certains pluviomètres. Pour celui du 27-28 mai, les cumuls RADAR sont cohérents sur le secteur de Beauval et Gézaincourt avec les informations fournies par les communes. Pour l'événement du 28-29 mai, lors du calage, les données RADAR seront éventuellement corrigées ou les pluviomètres de Saulty et/ou Bernaville utilisés selon la localisation des secteurs calés pour le ruissellement.

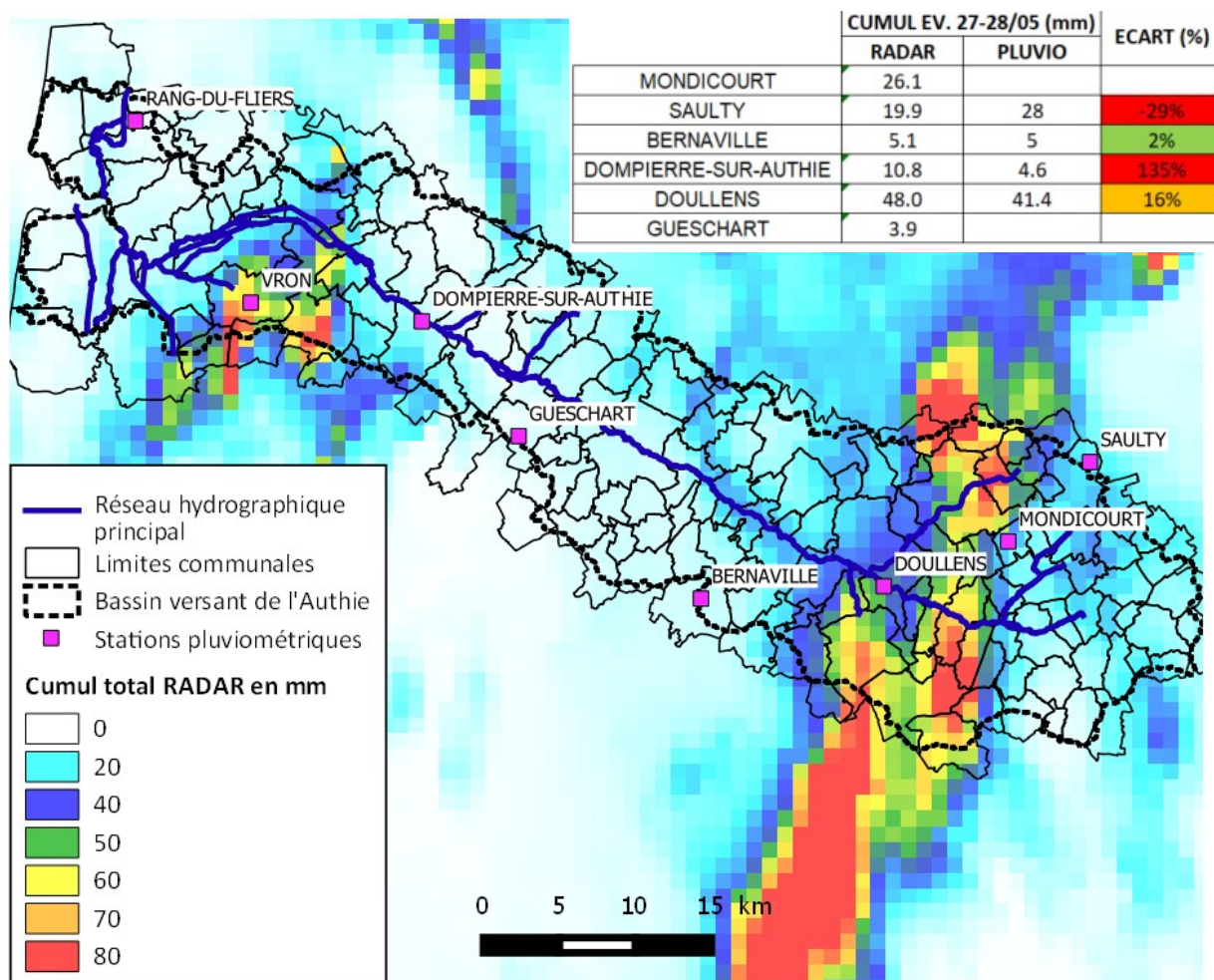


Figure 15 : Comparaison entre les données RADAR PANTHERE et les pluviomètres terrestres (27-28/05/18)

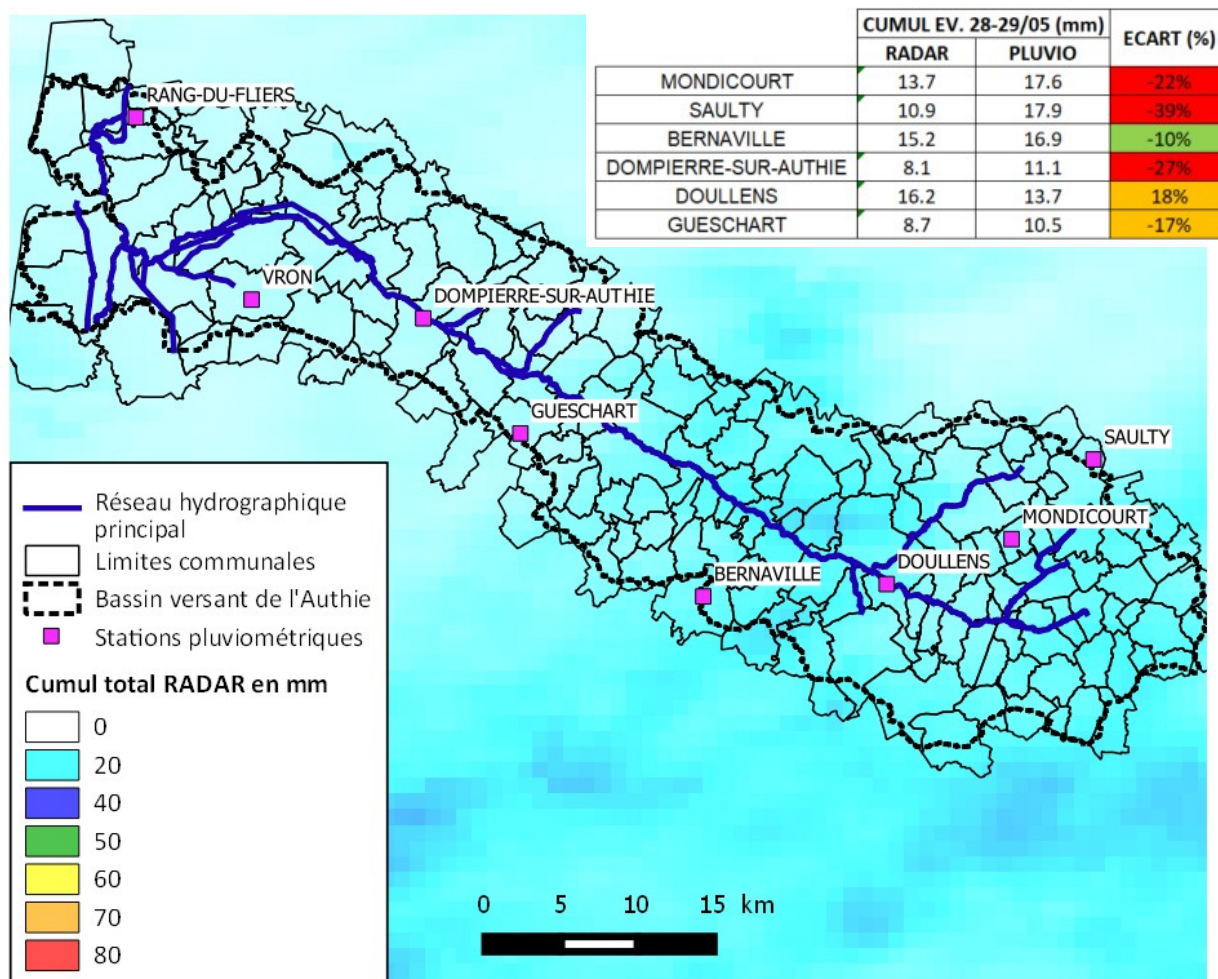


Figure 16 : Comparaison entre les données RADAR PANTHERE et les pluviomètres terrestres (28-29/05/18)

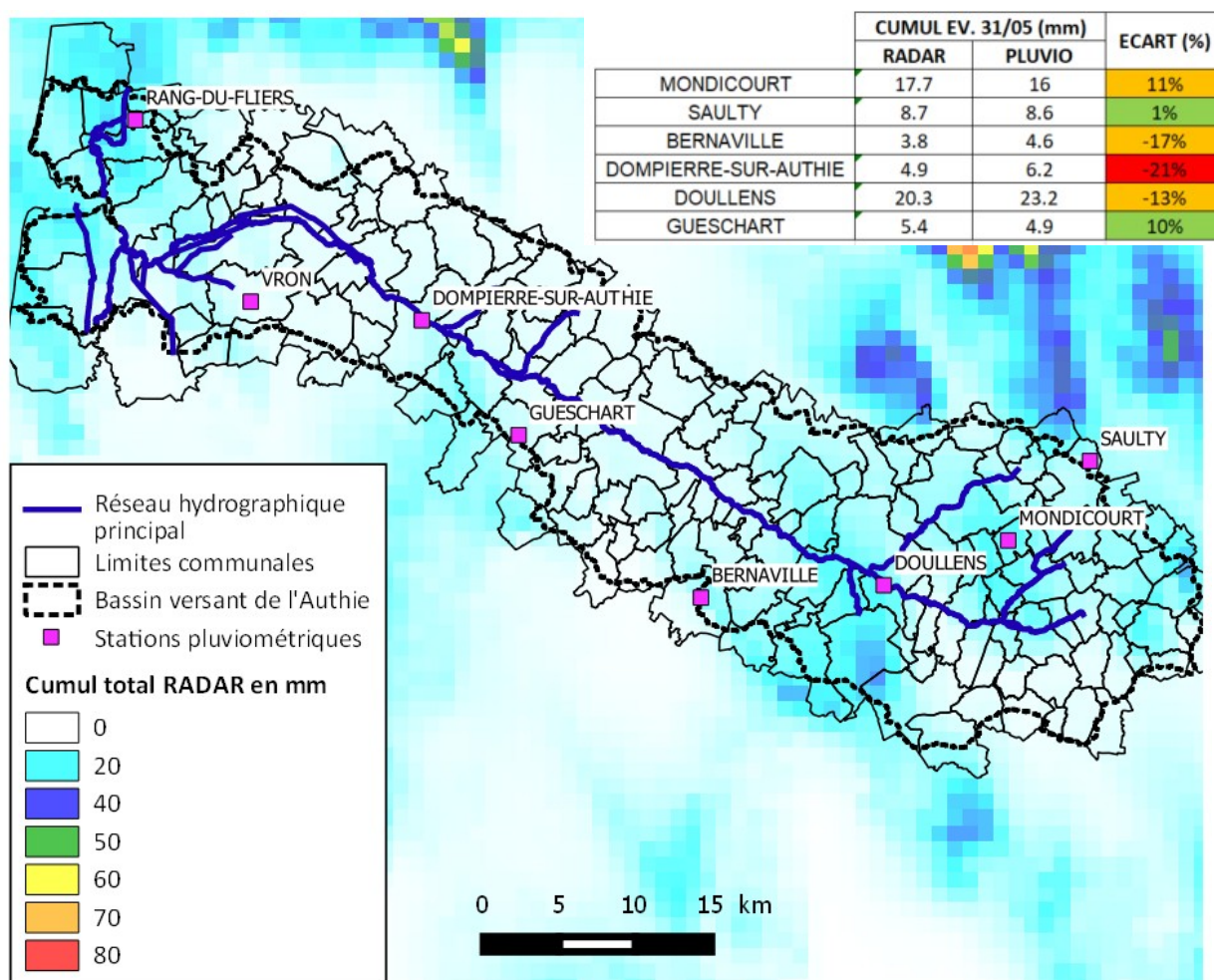


Figure 17 : Comparaison entre les données RADAR PANTHERE et les pluviomètres terrestres (31/05/18)

En conclusion, les données de pluie retenues pour la modélisation des événements de calage sont les lames d'eau RADAR même s'il existe des écarts pour certains événements et pluviomètres. Des points de vigilance ont été indiqués précédemment. 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.

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, de quelques heures et quelques minutes respectivement.

3.3.2. Analyse statistique des débits à la station de Dompierre-sur-Authie

3.3.2.1. *Présentation de la méthode retenue*

L'estimation des débits de référence se base généralement sur l'ajustement d'une loi de probabilité à un échantillon de débits donné. La loi de probabilité classiquement utilisée dans ce cas est la loi de Gumbel en première approche. Toutefois, il s'avère que les lois de probabilité, comme la loi de Gumbel, ont tendance à sous-estimer les débits rares, peu représentés dans les échantillons de débits car plus rarement mesurés. Il est donc nécessaire d'extrapoler les débits rares sur la base d'autres approches.

Une des méthodes usuellement utilisée en France dans ce cas est celle du Gradex. Celle-ci a été développée initialement par EDF dans les années 60. Elle repose sur l'hypothèse qu'en contexte pluviométrique et hydrologique très humide, la saturation du bassin versant est telle qu'elle se traduit par le fait que tout accroissement de pluie (tout volume de pluie qui tombe alors) produit le même accroissement de débit. Les débits rares s'ajustent alors selon la pente (le « gradex ») des pluies et non plus selon celui des débits.

Cette méthode conduit par conséquent sur des fréquences rares à des débits supérieurs aux débits ajustés selon une loi de Gumbel (avec comme pente le « gradex » des débits).

Il est reconnu que cette méthode conduit dans bien des cas à surestimer les débits de pointe, si bien que l'ex CEMAGREF (devenu IRSTEA) a développé dans les années 90 la méthode dite du Gradex « esthétique » ou « progressif ». D'après la méthode initiale du Gradex, les débits sont extrapolés selon la pente de la distribution des pluies à partir d'une certaine période de retour pivot (10, 20, 50 ans, à définir au cas par cas), ce qui traduit en quelque sorte que la saturation du bassin versant est « immédiate » à partir de cet événement « pivot ». Dans la réalité, on sait bien que la saturation d'un bassin versant est progressive, variable, et que le ruissellement devient petit à petit prépondérant pour devenir à la fin le seul phénomène en jeu. La méthode du Gradex « esthétique » tient compte de cet effet progressif, en faisant l'hypothèse d'un raccordement progressif des débits au gradex des pluies à partir de cette période de retour pivot.

La méthode Gumbel complétée par celle du Gradex « esthétique » ont été retenues pour calculer les débits de référence de l'Authie.

3.3.2.2. *Chronique de débits disponibles et échantillonnage des données*

La station de Dompierre-sur-Authie possède une chronique de mesures longue : des mesures de débits et/ou hauteurs sont disponibles à partir de 1963.

La première étape consiste alors à extraire, on parle alors d'échantillonnage, au sein de la chronique des débits les événements représentatifs de situations de hautes eaux. La méthode d'échantillonnage utilisée est celle de l'échantillonnage par maximas annuels (notée MAXAN), qui constitue des échantillons en prenant les maximums annuels de chaque année.

Un événement de crue correspond à une élévation temporaire du débit pendant un certain laps de temps et se traduit sous la forme d'un hydrogramme, qui donne l'évolution de ce

débit au cours du temps. L'ampleur et la gravité éventuelle d'un épisode de crue dépend à la fois de son débit maximal (débit de pointe), mais aussi de sa durée, et pour être plus précis, du temps pendant lequel le débit est supérieur à tel ou tel seuil, etc., ce qui détermine le volume de la crue. L'analyse des crues caractéristiques d'un cours d'eau doit donc aussi bien s'intéresser aux débits de pointe qu'aux débits dépassés ou moyens atteints pendant telle ou telle durée.

L'échantillonnage des événements de crue au sein de la chronique des débits a ainsi été réalisé sur les débits instantanés maximaux, notés QIX, et les débits moyens pendant une journée (notés VCX1).

Les n valeurs de chaque échantillon (des débits de pointe instantanés QIX et des débits moyens sur une journée VCX1) sont ensuite rangées de la plus grande à la plus petite. Pour chaque valeur i est alors calculée une probabilité empirique, c'est-à-dire sa probabilité au non dépassement $F(i)$, à l'aide d'une formule adaptée :

$$F(i) = \frac{i - a}{n + 1 - 2a} \text{ avec } a = 0,44$$

Ces valeurs échantillonnées pour chaque durée sont représentées sur la figure ci-après.

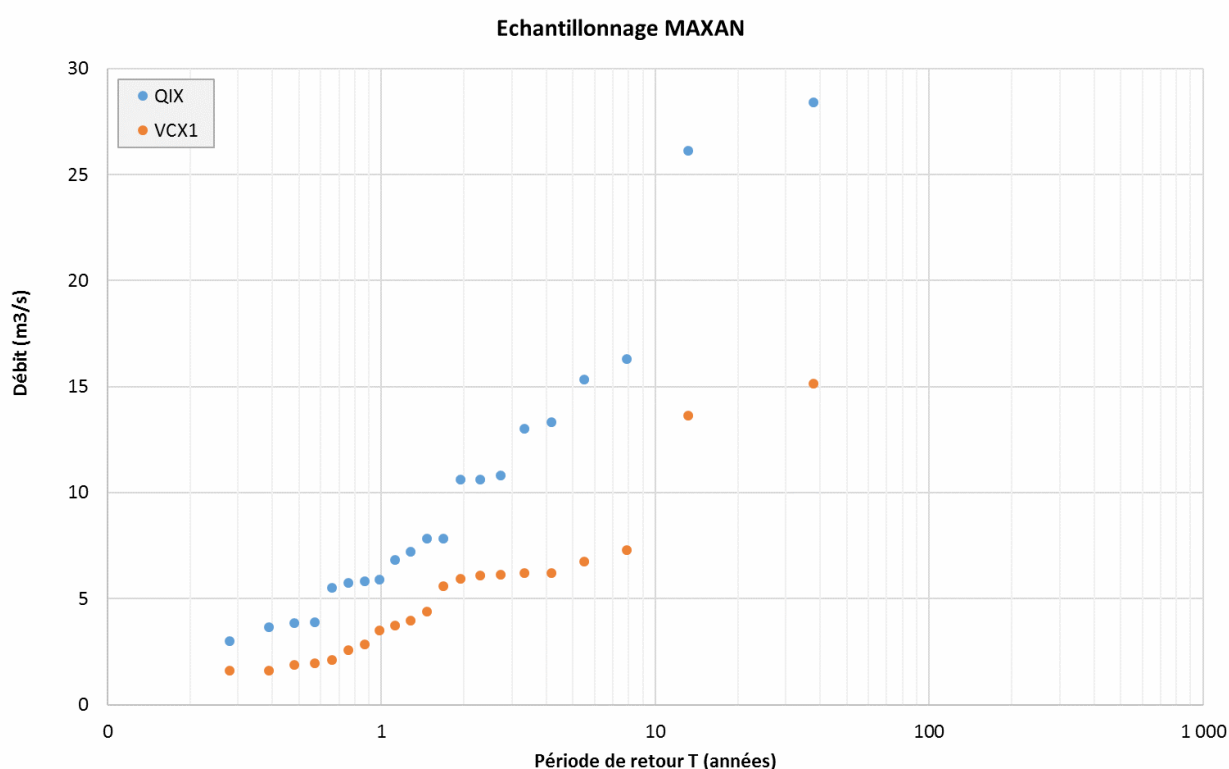


Figure 18 : Échantillonnage MAXAN des débits de la station de Dompierre-sur-Authie

3.3.2.3. Ajustement de Gumbel et méthode du Gradex esthétique

La loi de probabilité de Gumbel est ensuite ajustée sur chaque échantillon constitué. Cette méthode permet alors d'estimer pour chaque durée d ce que l'on appelle les quantiles de crues, c'est-à-dire les valeurs des débits instantanés QIX et des débits moyens sur une journée VCX1 pour chaque période de retour. Les ajustements ainsi obtenus sont présentés sur la figure ci-dessous.

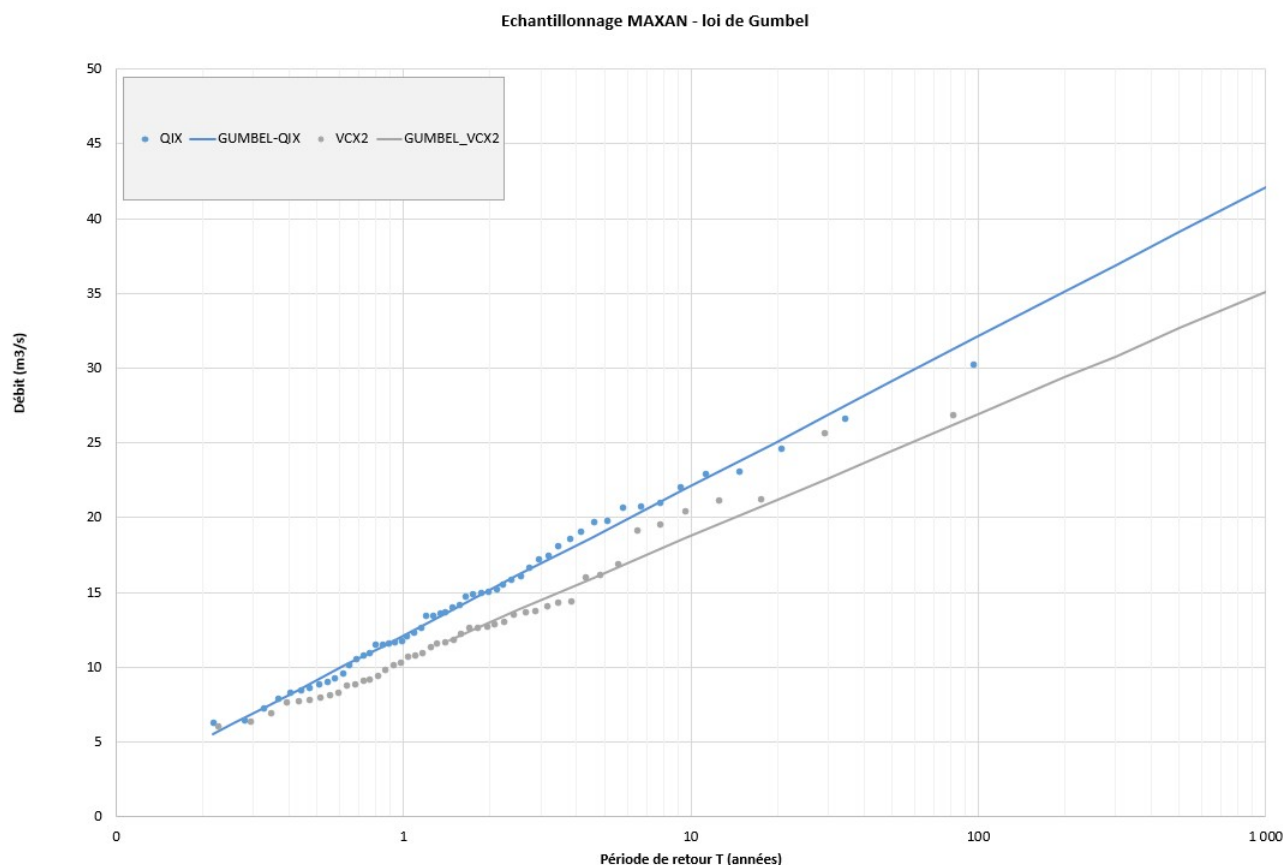


Figure 19 : Ajustement de Gumbel sur les échantillons MAXAN

Pour appliquer ensuite la méthode du Gradex esthétique, il faut tout d'abord calculer le gradex des pluies. Celui-ci a été estimé à partir des statistiques 2j, calculées par Météo-France à partir d'une chronique de 46 années, de la station de Dompierre. Les quantiles de débit (QIX et VCX1 pour chaque période de retour) sont alors calculés ainsi :

- choix de la période de retour pivot (T_g) à partir duquel on considère théoriquement que l'on tend vers la saturation du bassin versant ; la période retenue est de 20 ans ;
- jusqu'à cette période de retour T_g , c'est-à-dire pour les événements plus fréquents que T_g , les quantiles de débits sont estimés à partir des ajustements de Gumbel sur les débits ;

- au-delà de cette période de retour T_g , estimation des quantiles de débits à partir de la méthode du gradex « esthétique », selon la formulation ci-après.

$$VCX(d, T) = VCX(d, T_g) + ap(d) \cdot \ln\left(1 + \frac{aq(d)}{ap(d)} \cdot \frac{T - T_g}{T_g}\right)$$

$$QIX(T) = r(d) \cdot VCX(d, T)$$

avec :

- $VCX(d, T)$: quantile de débit moyen sur la durée d et de période de retour T ;
- $QIX(T)$: quantile de débit instantané maximal de période de retour T ;
- $ap(d)$: gradex des pluies cumulées sur la durée d (pente de l'ajustement de Gumbel des pluies cumulées sur la durée d) ;
- $aq(d)$: gradex des débits moyens sur la durée d (pente de l'ajustement de Gumbel des débits moyens sur la durée d) ;
- T : période de retour ;
- T_g : période de retour pivot (extrapolation gradex esthétique au delà de cette période de retour) ;
- $r(d)$: rapport entre le débit instantané de pointe et le débit moyen sur chaque durée, calculé sur les crues observées.

La figure ci-après présente pour les débits instantanés (débits de pointe).

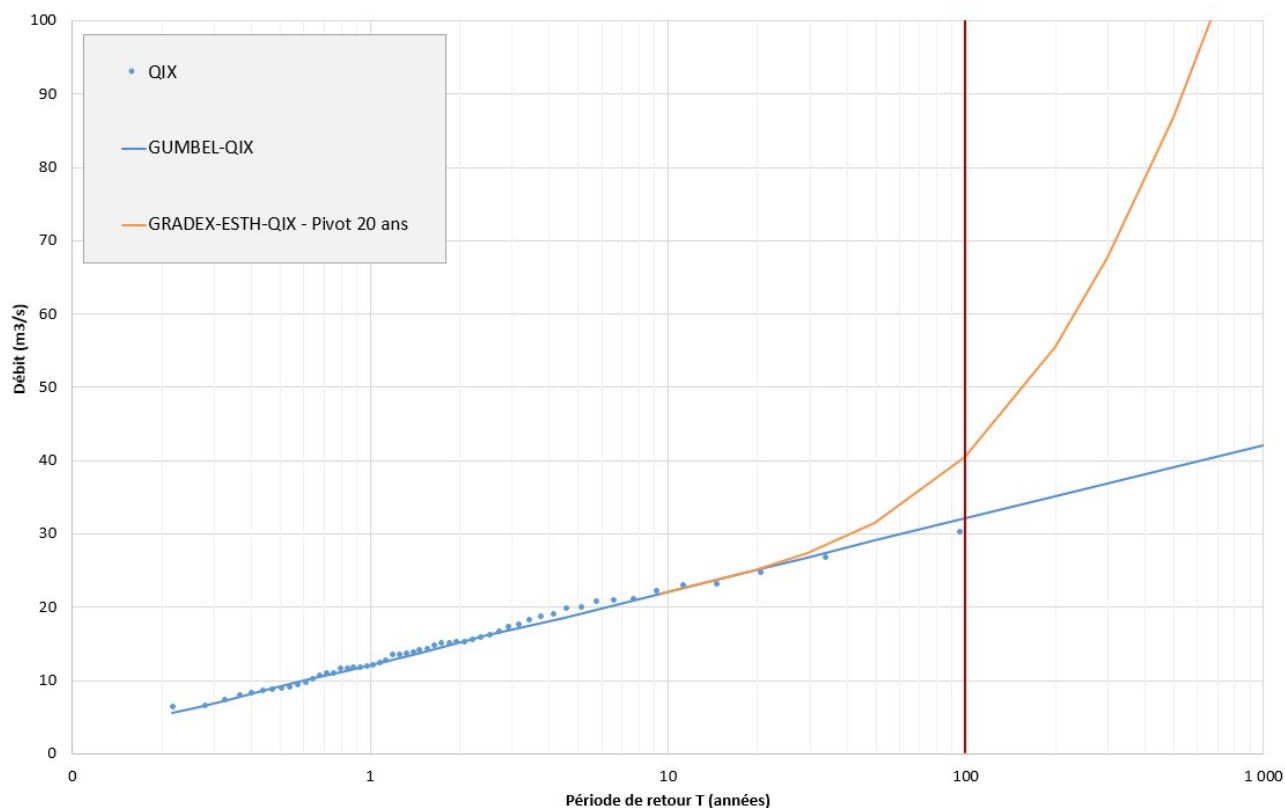


Figure 20 : Extrapolations Gradex esthétique pour une période de retour pivot T_g de 20 ans

Les valeurs de débits de référence estimées pour chaque période de retour sont alors les suivantes :

T	QIX – pivot 20 ans (en m³/s)
1000	119
500	87
200	56
100	41
50	31
20	25
10	22

3.3.2.4. Analogie de bassin versant avec la Canche et estimation du débit centennal de référence

Dans le cadre de l'étude PAPI/PPRI de la Canche, des débits caractéristiques ont été évalués pour des périodes de retour allant de 2 à 1000 ans, selon différentes méthodes (ajustement statistique, Gradex, analogie de bassin versant, formules classiques d'hydrologie).

Ils sont présentés dans le tableau ci-dessous.

	Superficie du bv (km ²)	Méthode	Période de retour									
			2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	30 ans	50 ans	100 ans	200 ans	500 ans	1000 ans
Canche amont	332	Corrélation avec l'ajust. stat. de la Ternoise à Hesdin	11	15	18	20	21	24	53	82	121	150
Ternoise à Hesdin	343	Ajustement statistique + Gradex	12	16	18	21	22	24	54	84	124	154
Canche à Brimeux	923		22	29	34	38	41	44	90	136	197	242

Figure 21 : Débits caractéristiques de la Canche et de la Ternoise (source : PAPI/PPRI Canche)

Le bassin versant de la Canche a un comportement hydrologique qui se rapproche de celui de l'Authie. Ainsi, on peut considérer que l'Authie à Doullens se rapproche de la Canche amont et de la Ternoise et que l'Authie à Dompierre-sur-Authie de la Canche à Brimeux. Ainsi, avec cette méthode, le débit centennal à Doullens est estimé à 53 m³/s et celui à Dompierre-sur-Authie à 80 m³/s.

Le débit centennal calculé par ajustement statistique et présenté dans le paragraphe précédent est donc inférieur à celui calculé par analogie avec la Canche. Cet écart peut s'expliquer par le fait que :

- pour les crues les plus fortes, le débit en lit majeur n'est peut-être pas considéré dans la mesure ;
- les débits en crue sont influencés par la nappe et par l'écroulement important dans les marais entre Doullens et Dompierre-sur-Authie.

Le débit centennal de référence à viser lors de la modélisation pluie-débit de l'aléa de référence est estimé à 53 m³/s à Doullens et entre 40 et 80 m³/s à Dompierre-sur-Authie.

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

Le logiciel utilisé pour la modélisation de l'aléa débordement de cours d'eau est le logiciel ICM V10.0. Ce logiciel résout les équations de Barré-de-Saint-Venant en régime transitoire dans leurs versions unidimensionnelle et bidimensionnelle.

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

Afin de caractériser les apports hydrologiques contribuant à la génération des crues de l'Authie, l'approche numérique retenue consiste à modéliser la transformation de la pluie en débit à l'échelle du bassin versant.

Cette méthode a été privilégiée du fait d'une part de l'existence d'une seule station hydrométrique exploitable sur le bassin versant (station de Dompierre-sur-Authie) et de l'influence forte de la nappe de la craie.

L'approche pluie-débit présente une plus-value importante à plusieurs titres 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.

Cependant l'approche pluie-débit seule ne permet pas de qualifier l'occurrence des crues simulées, une pluie d'occurrence donnée ne conduit pas à une crue de même occurrence. Comme nous l'avons fait par exemple dans l'étude hydrologique et hydraulique sur les rivières du Boulonnais, l'analyse statistique permettra de définir des débits de crue servant de points de comparaison et d'ajustement.

La mise en œuvre de cette méthode permet d'exploiter les données pluviométriques et d'utiliser les caractéristiques topographiques et surfaciques locales pour générer les hydrogrammes de chaque sous-bassins versants.

4.1.1. Mise en œuvre de la modélisation pluie-débit

4.1.1.1. *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 par ce sous-bassin versant. Elle permet donc d'estimer les débits d'apport des différents sous-bassins versants du territoire d'étude vers l'Authie et ses principaux affluents.

Classiquement, un modèle hydrologique se base sur 3 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 modéliser le passage de la pluie brute à la pluie nette en évaluant les pertes (par infiltration notamment) ;
- une fonction de transfert, qui permet de modéliser le passage de la pluie nette à l'hydrogramme de crue à l'exutoire de chaque sous-bassin versant.

Les fonctions de production et de transfert dépendent de plusieurs paramètres en fonction du modèle choisi, comme par exemple l'occupation du sol, la perméabilité du sol dans le bassin versant, l'état de saturation du sol avant l'événement pluvieux, etc.

4.1.1.2. Découpage du territoire en sous-bassins versants

La première étape dans la mise en œuvre de la méthode pluie-débit est de découper le territoire étudié en sous-bassins versants. L'objectif du découpage en sous-bassins est de représenter finement la contribution intrinsèque de chaque bassin de drainage tout au long du linéaire de l'Authie et de ses affluents. Ainsi, le bassin versant de l'Authie a été découpé en différents sous-bassins versants d'apport sur la base du réseau hydrographique structurant et de la topographie.

La figure en page suivante présente le modèle hydrologique réalisé sous ICM avec les différents sous-bassins versants ainsi que le réseau hydrographique structurant (l'Authie et ses principaux affluents). Ce réseau hydrographique structurant est représenté en 1D par la succession des différents profils en travers levés par le géomètre.

Pour chacun des sous-bassins versants d'apport, les caractéristiques suivantes sont évaluées :

- Surface ;
- Plus long chemin hydraulique ;
- Pente ;
- Type de sol ;
- Occupation du sol.

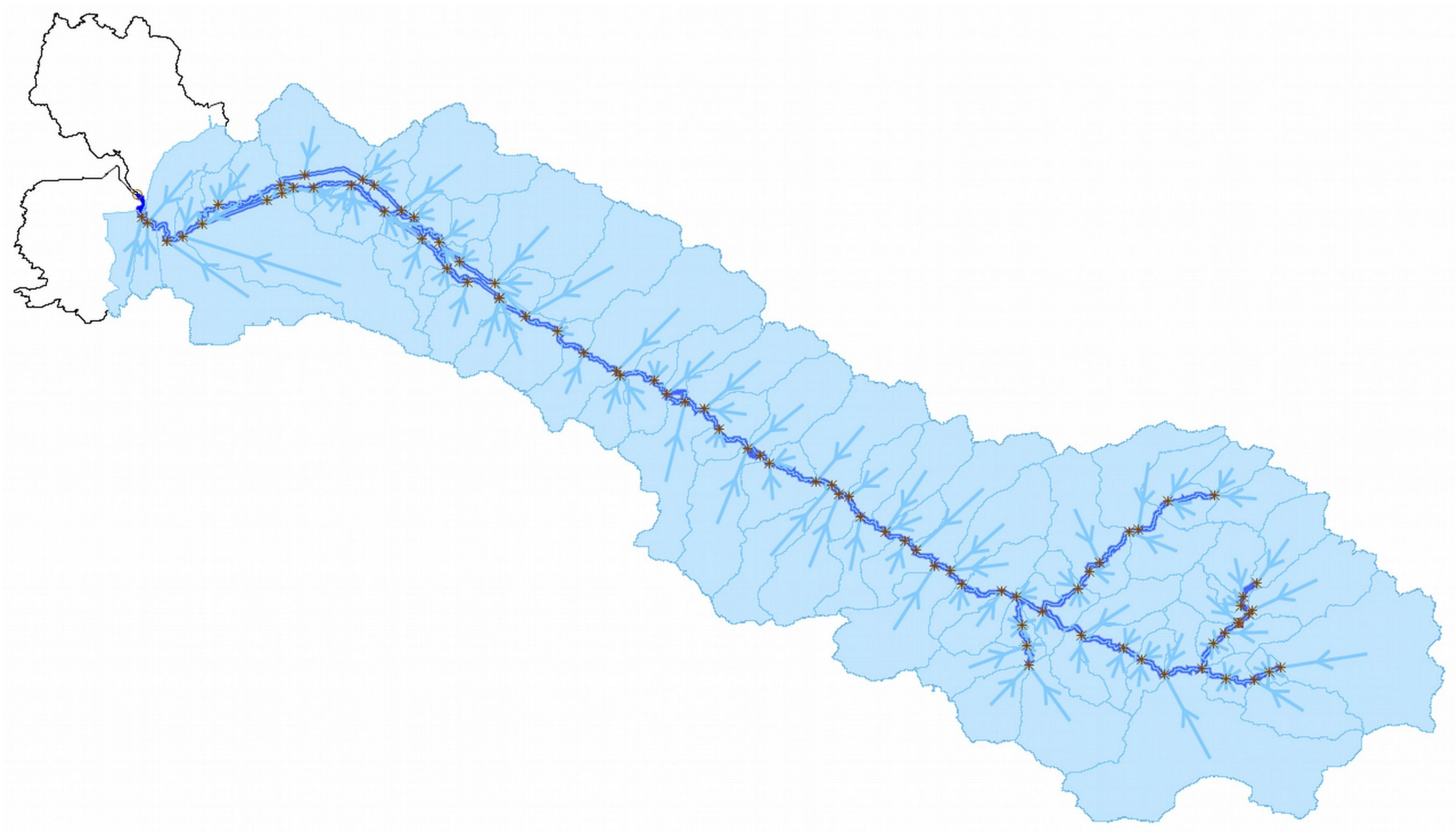


Figure 22: Modèle hydrologique du bassin versant de l'Authie sous le logiciel ICM

4.1.1.3. Choix de la fonction de production

La fonction de production du modèle hydrologique permet d'obtenir, à partir de la pluie brute tombant sur le territoire, la pluie nette qui va contribuer réellement à la génération de la crue. Ainsi, la fonction de production associée à un territoire ou une partie du territoire dépend du type d'occupation du sol majoritaire sur ce territoire. En raison des caractéristiques du bassin versant de l'Authie (occupation du sol principalement rural) la fonction de production choisie est basée sur le modèle du NRCS (National Resources Conservation Service, ex-Soil Conservation Service) qui permet de rendre compte des pertes initiales au ruissellement et est particulièrement adaptée aux surfaces rurales peu imperméabilisées. Les surfaces considérées sont définies par :

- un coefficient CN (Curve Number) ;
- 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 d'humidité. Les valeurs des coefficients CN et des pertes initiales ont été ajustés lors du calage des épisodes de crues historiques.

Remarque : D'autres études similaires ont pu définir la notion de coefficient de ruissellement. Le modèle hydrologique retenu ici utilise des coefficients appelés CN qui caractérisent la part de la pluie brute qui va ruisseler, ce qui est équivalent à un coefficient de ruissellement.

4.1.1.4. Choix de la fonction de transfert

A chaque fonction de production doit être associée une fonction de transfert, qui calcule l'hydrogramme généré à l'exutoire du sous-bassin versant à partir de la pluie nette. La fonction de transfert choisie, classiquement associée à la fonction de production citée précédemment et adaptée au sous-bassins d'apports ruraux, est basée sur le modèle de l'hydrogramme unitaire. Ce modèle repose sur trois paramètres :

- le temps de montée au pic (T_p) ;
- le temps de base de l'hydrogramme (T_b) ;
- le débit de pointe de l'hydrogramme (Q_{max}).

Ces trois paramètres sont définis à partir des caractéristiques géométriques des sous-bassins versants (temps de concentration). Les valeurs des temps de montée et des temps de base ont été ajustés lors du calage des épisodes de crues historiques.

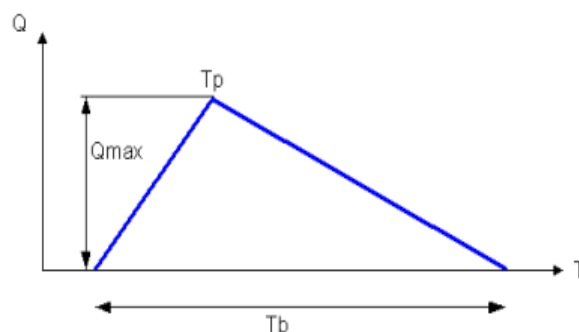


Figure 23: Représentation schématique de l'hydrogramme unitaire

4.1.2. Mise en œuvre opérationnelle de l'approche pluie-débit

4.1.2.1. *Exploitation des données pluviométriques*

Comme expliqué précédemment, la méthode pluie-débit se base avant tout sur une exploitation des données pluviométriques sous toutes les formes disponibles localement au droit du bassin versant. Les données pluviométriques retenues sont alors appliquées aux sous-bassins versants d'apport du modèle construit.

L'utilisation d'un modèle de transformation pluie-débit sous-entend un calage de ce dernier sur la base de pluies réelles. Ce calage est présenté dans le chapitre suivant.

4.1.2.2. *Génération des hydrogrammes*

Le processus hydrologique décrit précédemment, à savoir le passage, grâce à la fonction de production, d'une pluie brute à une pluie nette elle-même transformée en lame d'eau d'eau ruisselée par le biais de la fonction de transfert, aboutit finalement au calcul d'un hydrogramme à l'exutoire de chaque sous-bassin versant.

Les hydrogrammes ainsi calculés sont alors injectés en différents points du modèle hydraulique de représentation des écoulements dans l'Authie et ses affluents.

C'est alors la structure du modèle hydraulique et les paramètres de rugosité des sols et du lit des cours d'eau qui conditionnent la transmission des débits vers l'aval.

4.2. MODÉLISATION DES ÉCOULEMENTS DE L'AUTHIE ET DE SES AFFLUENTS

Le débordement de cours d'eau est modélisé sur l'ensemble du linéaire de l'Authie et de ses affluents principaux (Cf. paragraphe 4.2.2).

La configuration du territoire d'étude est telle qu'il est possible de le découper en deux modèles :

- un modèle « Authie amont » qui modélise l'Authie et ses affluents sur la partie amont et centrale du bassin versant jusqu'à la station hydrométrique de Dompierre-sur-Authie. Il s'agit d'une modélisation 1D/2D, présentée dans le paragraphe ci-après ;
- un modèle « Authie aval » qui modélise la partie aval du bassin versant située après la station hydrométrique de Dompierre-sur-Authie. Il s'agit également d'une modélisation 1D/2D, présentée dans le paragraphe ci-après.

4.2.1. Principe général de la modélisation 1D/2D

L'approche retenue pour représenter au mieux l'aléa débordement sur l'ensemble du linéaire de l'Authie et de ses affluents principaux se base sur une modélisation dite couplée entre un modèle 1D, représentant le lit mineur, et 2D, représentant le lit majeur :

- **l'Authie et les affluents principaux sont représentés selon une approche unidimensionnelle** qui fait l'hypothèse d'un écoulement majoritairement perpendiculaire à la section du cours d'eau dans les biefs et d'une vitesse d'écoulement moyennée sur cette section. Ces biefs sont ainsi représentés sous la forme d'une succession de profils en travers de cours d'eau, issus de levés topographiques précis. Tous les types d'ouvrages impactant la ligne d'eau et les écoulements en lit mineur pourront être intégrés dans la schématisation unidimensionnelle ;
- **le lit majeur est quant à lui représenté par un schéma dit bidimensionnel.** Pour rappel, dans le cas d'un schéma bidimensionnel aucune hypothèse concernant les directions prises par l'écoulement ou les phénomènes d'inondation prédominants n'est effectuée, à l'inverse des approches unidimensionnelles. Les surfaces inondables sont donc représentées par un ensemble de mailles de calcul triangulaires, dont la taille est adaptée localement à l'échelle géographique des éléments venant perturber les écoulements.
- **les ouvrages (fixes, mobiles) ou obstacles** ayant une influence significative sur la ligne d'eau et pouvant perturber de manière importante les écoulements, au sein du lit mineur (ponts, seuils) ou dans le lit majeur (remblais, ouvrages hydraulique de décharge), sont intégrés à la modélisation, dans la mesure où les données topographiques associées sont disponibles ;
- **la connexion entre ces espaces 1D et 2D** s'effectue au droit des hauts de berge, points de transition naturelle entre ces deux fonctionnements distincts : écoulements au sein du lit mineur d'une part et propagation des eaux débordées dans le lit majeur d'autre part. Cette connexion s'effectue à chaque pas de temps de calcul et est représentée par une loi de surverse prenant en compte la cote des hauts de berge comme niveau de débordement.

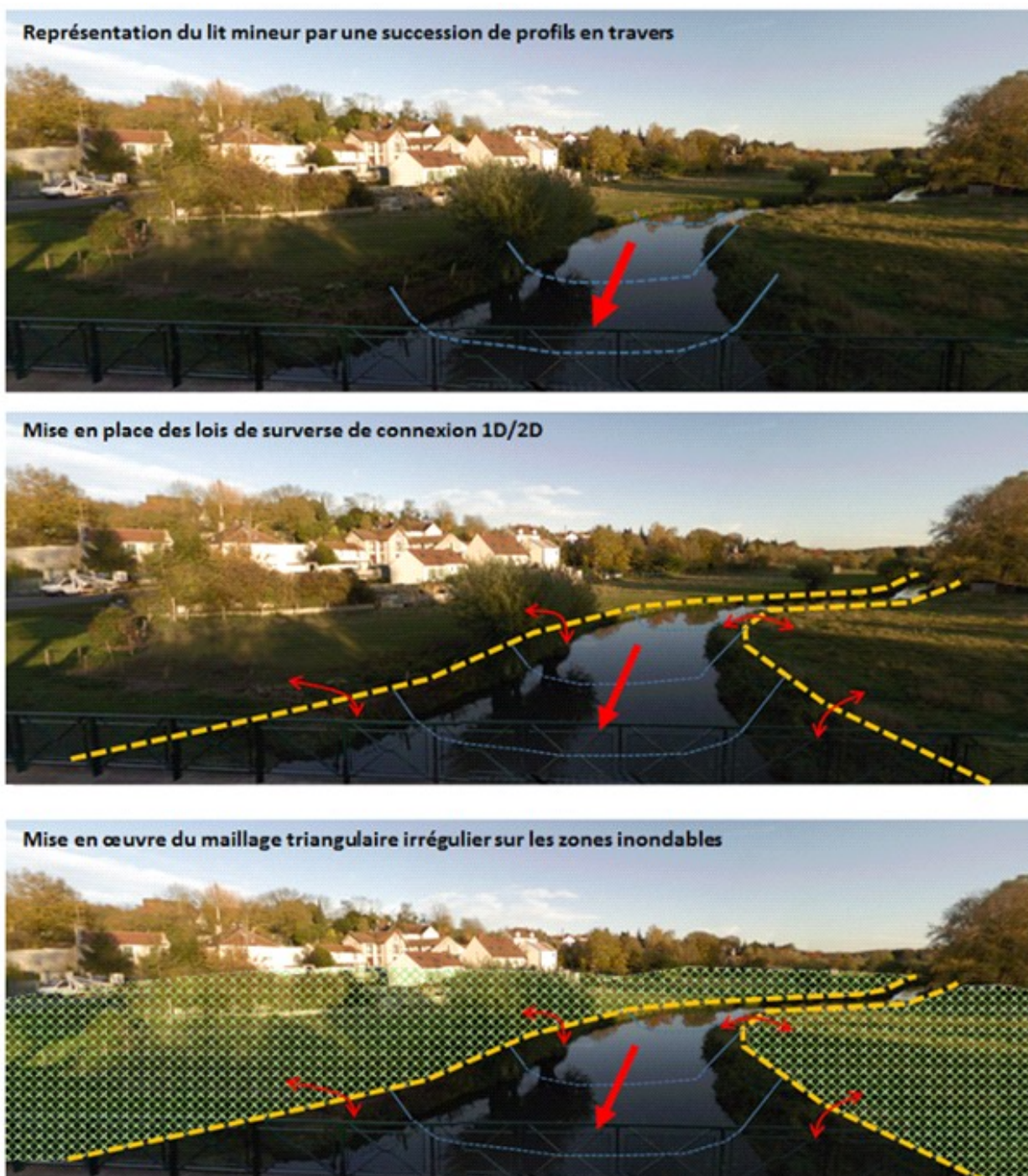


Figure 24: Principe de construction du modèle hydraulique 1D/2D

4.2.2. Modélisation 1D / 2D des écoulements

Représentation du lit mineur

Le lit mineur de l'Authie et de l'ensemble des affluents principaux sont donc représentés par une succession de profils en travers, pour lesquels des levés géomètres précis ont été réalisés (levés MAGEO 2020). Ces levés complémentaires (81 profils en travers et 36 ouvrages) ont été définis dans le livrable L1.6 de la phase 1 et concernent l'Authie et ses affluents, cités d'amont en aval ci-dessous :

- la Quilienne ;
- la Grouche ;
- la Gezaincourtoise.

En termes d'ouvrages particuliers, les ouvrages suivants ont été pris en compte dans le modèle hydraulique :

- les moulins, barrages et ponts pour lesquels des données topographiques sont disponibles ;
- les endiguements (notamment en basse vallée de l'Authie) sur la base des données topographiques LIDAR et des tracés fournis par le Syndicat Mixte Baie de Somme.

Modélisation des débordements en lit majeur

Le lit majeur des cours d'eau est représenté par un modèle bidimensionnel, basé sur un maillage de calcul 2D. Chaque maille est un élément de calcul qui représente la topographie et prend en compte la rugosité du sol. Les différentes données d'entrée, nécessaires à la construction du maillage sont donc les suivantes :

- la topographie, qui caractérise le relief, les pentes et obstacles du modèle ;
- l'occupation des sols, qui permet de définir la rugosité des mailles du modèle.

La forme du maillage est également influencée par les obstacles que l'on retrouve sur les versants (remblais, ouvrages, ponts, etc). La précision du maillage de calcul 2D repose en grande partie sur la finesse du modèle numérique de terrain (MNT) utilisé. Dans le cadre de cette étude, le MNT récupéré est le MNT transmis par la DDTM80. Il s'agit d'un levé LIDAR (aérien) datant de 2019, avec un pas d'espace (taille de cellule carrée) de 1 m, une précision altimétrique d'environ 10 cm et couvrant la quasi-totalité du territoire d'étude.

La méthodologie de construction de ce maillage est décrite pas à pas dans le tableau ci-après :

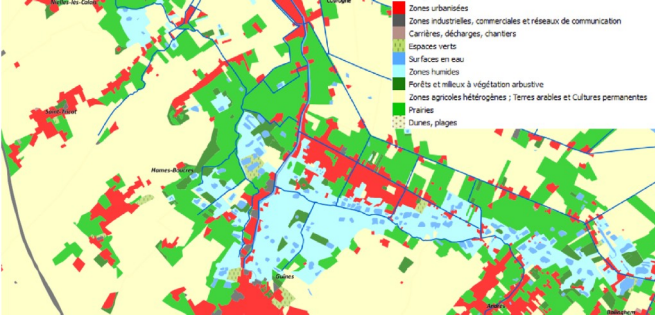
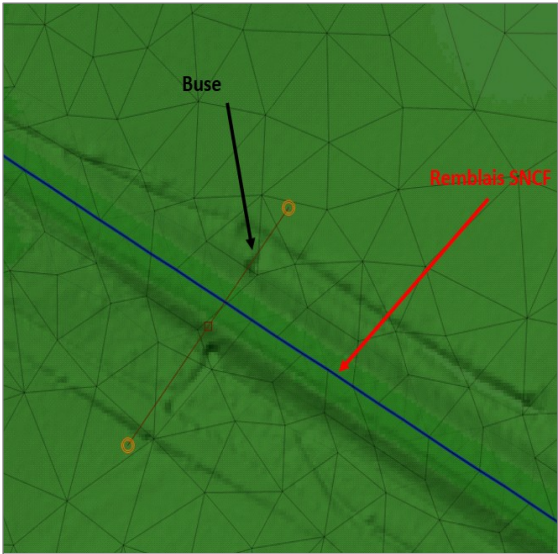
Étape	Objectifs	Détail et commentaires	Illustrations (tirées du PPRI des pieds de coteaux)
1	Prise en compte de l'effet de freinage/accélération des différentes couvertures de sol	<p>Il s'agit ici de sectoriser le périmètre d'étude en différentes zones d'écoulement dont les coefficients de rugosité sont adaptés au type d'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 a été réalisé à partir de la base de données CORINE LAND COVER (2018) et du cadastre et chaque zone s'est vue affecter un coefficient de Strickler correspondant à sa couverture de sol majoritaire. Cette méthode permet également de tenir compte de l'effet de blocage induit par le bâti.</p> <p><i>Remarque : La base de données Corine Land Cover permet d'avoir une représentation suffisante de l'occupation des sols à l'échelle du bassin versant de l'Authie, représentation cohérente avec les besoins de l'étude qui vise à étudier le fonctionnement global du bassin versant.</i></p>	
2	Adapter le maillage aux variations topographiques du terrain naturel et identifier les surverses	<p>Il est nécessaire d'affiner le maillage numérique 2D au droit des zones de variations topographiques importantes pour que le niveau de terrain naturel affecté dans les mailles soit le bon. Ainsi, au niveau d'un remblai, il est nécessaire de tracer les lignes de forçage en pied de remblai et le long de sa crête afin que la taille des mailles s'adapte et viennent récupérer la bonne information altimétrique.</p> <p>Il faut ensuite identifier les éléments de topographie où peuvent se produire des phénomènes de surverse (remblai ou digue par exemple) afin d'intégrer dans le modèle un élément spécifique, représentatif de l'ouvrage, auquel est appliqué une loi de seuil aux frontières des mailles concernées.</p>	
3	Prise en compte des ouvrages de décharge sous remblai	<p>Pour ne pas surestimer les effets de blocage en arrière des remblais (en particulier les voies SNCF ou certains axes routiers), les points de passages ou ouvrages de décharge type trémie sont intégrés dans le modèle.</p>	

Tableau 17: Étapes de construction du maillage de calcul 2D

4.2.3. Conditions aux limites

Pour les modèles « Authie amont » et « Authie aval », les conditions aux limites amont sont constituées par la pluie, historique et théorique dans le cas de la modélisation de l'aléa centennal, appliquée aux modèles. Le modèle « Authie aval » s'est vu également appliquer en guise de condition amont l'hydrogramme à la station de Dompierre-sur-Authie.

Les conditions aux limites aval sont constituées par un limnigramme pour le modèle « Authie amont » et par un niveau marin pour le modèle « Authie aval ».

4.2.4. Prise en compte des interactions avec la nappe

L'analyse historique en phase 1 a identifié des interactions fortes entre l'Authie et la nappe de la craie. Ces interactions sont prises en compte, comme phénomène aggravant dans la modélisation hydraulique, avec un débit de base imposé dans le lit mineur de l'Authie et de ses principaux affluents.

4.3. LE CALAGE DU MODÈLE HYDRAULIQUE DE DÉBORDEMENT

4.3.1. Généralités

Une fois le modèle hydraulique construit, il est nécessaire de procéder à sa validation en analysant sa réponse à des événements pluvieux réels ayant touché le bassin versant et en la confrontant aux données historiques (repères de crues et témoignages) et quantitatives (mesures disponibles de débit et niveaux aux stations hydrométriques). Le but est alors de s'assurer que le modèle représente de manière correcte les écoulements dans les lit mineur et lit majeur des cours d'eau.

Deux étapes de calage sont généralement nécessaires afin de s'assurer de la validité du modèle et ajuster au besoin ses coefficients :

- **le calage de la transformation pluie/débit** : le but est alors de s'assurer que, pour une pluie historique connue appliquée sur chacun des sous-bassins versants, le débit simulé dans l'Authie est cohérent avec le débit mesuré par les stations. Les paramètres d'ajustement de cette première phase du calage sont les coefficients CN (représentant l'occupation du sol, le type géologique de sol - A, B, C ou D - et les conditions antécédentes de pluie - secs, normales ou humides -), les pertes initiales et les temps de réaction des sous-bassins versant ruraux ;
- **le calage du fonctionnement hydraulique du modèle** : le but est cette fois de s'assurer que la réponse du modèle pour le débit de crue historique mesuré est bien conforme aux témoignages et repères de crue, et donc que le modèle rend bien compte de la dynamique des débordements et des échanges lit mineur/lit majeur. Ce calage se base sur la comparaison entre les niveaux d'eau simulés par le modèle et les hauteurs d'eau et emprises inondées reconstituées lors de l'analyse historique. Les variables d'ajustement de cette seconde étape sont la rugosité du lit ou encore les coefficients spécifiques des ouvrages.

Le schéma ci-dessous synthétise le processus global de calage du modèle qui a été mis en place :

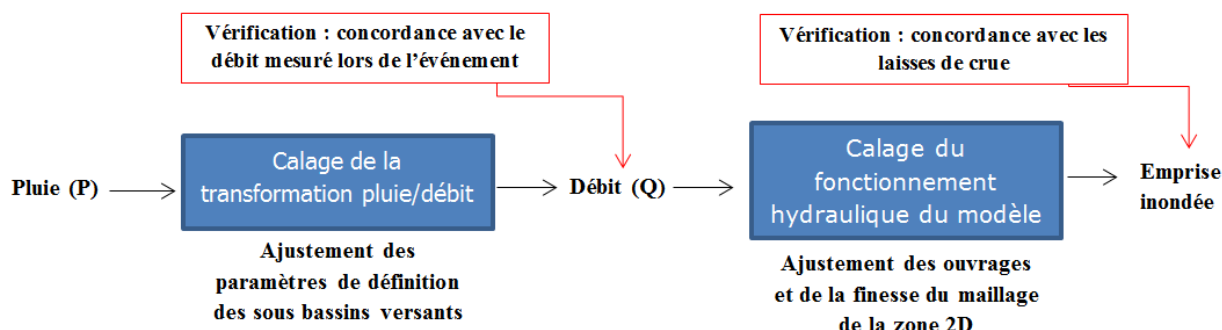


Figure 25 : Méthodologie classique de calage d'un modèle

En ce qui concerne les témoignages historiques, deux types distincts peuvent être identifiés :

- les témoignages ponctuels ou surfaciques (habitation, voirie ou lotissement inondés) qui localisent géographiquement le désordre (plus ou moins précisément) sans évaluation de la hauteur de submersion ou sans y adjoindre une photographie qui permettrait de reconstituer cette hauteur ;
- les témoignages quantifiés (là encore avec une fiabilité plus ou moins représentative) que l'on appelle « repères de crue ».

Le calage du modèle hydraulique de débordement se base donc sur la comparaison entre les niveaux d'eau simulés par le modèle et les hauteurs reconstituées lors de l'analyse historique (repères de crue) d'une part, et sur les mesures de débits et niveaux disponibles à la station hydrométrique de Dompierre-sur-Authie d'autre part.

Les témoignages non quantifiés servent quant à eux de validation qualitative et comportementale.

4.3.2. Principe et valeurs retenues

Le calage hydrologique se base ainsi sur la comparaison des hydrogrammes, débits de pointe et forme de l'hydrogramme, calculés par le modèle avec les hydrogrammes mesurés à la station hydrométrique de Dompierre-sur-Authie. Le calage est jugé bon lorsque l'écart entre débits de pointe mesuré et calculé est de +/- 10 %. Notons que la mesure est elle aussi caractérisée par une certaine incertitude, que l'on peut estimer à 10 %¹.

1 Incertitude couramment admise par les services de l'État

Écart entre débits de pointe mesuré et calculé	Validité du calage
+/-10%	Bonne
au-delà	Mauvaise

Figure 26: Classes d'écart entre débits de pointe mesuré et simulé retenues pour le calage du modèle

Pour le calage hydraulique, une comparaison est faite entre les niveaux d'eau simulés par le modèle et ceux reconstitués lors de l'analyse historique. La rugosité du lit et les coefficients spécifiques des ouvrages sont les variables d'ajustement de cette étape. Notons là encore que l'incertitude sur certains niveaux relevés ou estimés lors des crues historiques (observations de terrain, photographies, témoignages, etc.) peut aussi être très importante et bien supérieure à la précision du calcul numérique. Par exemple, l'incertitude sur la hauteur d'eau relevée dans une maison sera plus grande que pour une laisse nivelée. La pertinence des points de calage hydraulique est appréciée en fonction de l'écart des résultats du modèle par rapport aux données historiques selon les quatre classes suivantes :

Écart entre niveaux mesuré et calculé	Validité du calage
0 à 15 cm	Très bonne
15 cm à 25 cm	Bonne
25 cm à 50 cm	Moyenne
> 50 cm	Mauvaise

Figure 27: Classes d'écart entre niveaux mesuré et simulé retenues pour le calage du modèle

Les témoignages non quantifiés ont simplement été comparés aux emprises inondées par le modèle :

Zone inondée dans le modèle	Validité du calage
Oui (touché)	Très bonne
Oui (touché partiellement)	Bonne
Non (non inondé)	Moyenne

Figure 28: Appréciation de la validité du calage pour les témoignages non quantifiés

Les différents paramètres retenus à l'issue de ces calages sont les suivants :

- sols plutôt perméables ;
- antécédents pluvieux adaptés à l'événement ;
- coefficients de rugosité (coefficient de Strickler) du lit mineur :
 - 17 pour les affluents de l'Authie ;
 - 20 pour l'Authie à l'amont de Thièvres ;
 - 25 pour l'Authie entre Thièvres et Auxi-le-Château ;
 - 30 pour l'Authie à l'aval d'Auxi-le-Château ;
- vannes des moulins considérées comme non manœuvrées durant la crue ;
- coefficients de rugosité (coefficient de Strickler) du lit majeur variant en fonction de l'occupation du sol :
 - 15 à 16 pour les zones urbaines ;
 - 40 pour les axes routiers ;
 - 30 pour les zones de culture ;
 - 20 pour les zones de prairie ;
 - 11 pour les zones de forêt ;
 - 20 pour les zones de marais ;
 - 40 pour les plans d'eau.

4.3.3. Événements de calage

Au vue des données historiques récoltées et des données pluviométriques, hydrométriques et limnimétriques disponibles, les événements suivants ont été retenus pour le calage du modèle hydraulique « débordement » :

- mai 2016 pour le calage du modèle « Authie amont » ;
- juin 2016 pour le calage du modèle « Authie amont » ;
- mars 2001 pour le calage du modèle « Authie aval ».

4.3.3.1. Calage de la crue de mai 2016 pour le modèle « Authie amont »

Calage hydrologique

La crue de mai 2016 est une crue importante de l'Authie n'ayant toutefois pas engendré de débordements majeurs (peu de débordement recensé dans le cadre de l'analyse historique). Cet événement a ainsi permis de caler les apports hydrologiques du modèle de l'Authie amont, l'hydrogramme à la station hydrométrique de Dompierre-sur-Authie étant disponible.

Le mois précédant l'événement est arrosé, ainsi des conditions antécédentes plutôt humides ont été considérées pour la modélisation de cet événement.

Dans ces conditions, le modèle reconstitue un hydrogramme cohérent avec l'hydrogramme mesuré.

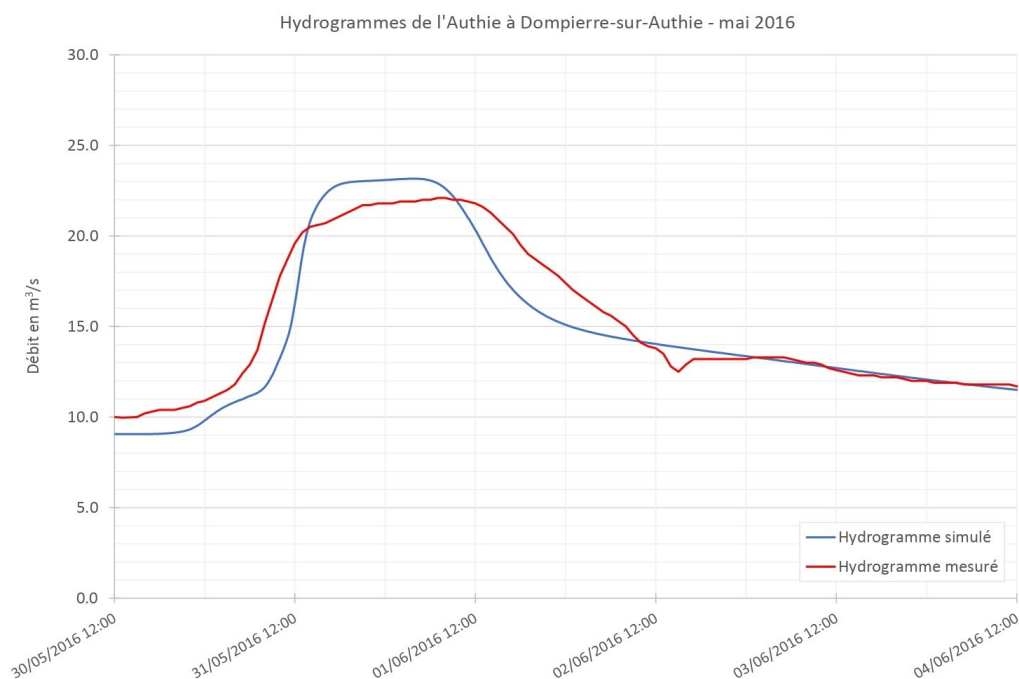


Figure 29: Comparaison de l'hydrogramme simulé et mesuré à la station de Dompierre-sur-Authie pour l'événement de mai 2016

Le tableau ci-après présente le débit de pointe mesuré et simulé et le volume mesuré et simulé à la station de Dompierre-sur-Authie.

Station	Débit de pointe mesuré (m³/s)	Débit de pointe calculé (m³/s)	Ecart (%)
Dompierre-sur-Authie	22,1	23,2	5%
Station	Volume mesuré (m³) sur 5 jours	Volume calculé (m³) sur 5 jours	Ecart (%)
Dompierre-sur-Authie	6 612 804	6 384 765	-3%

Figure 30: Comparaison du débit de pointe et du volume mesuré et simulé à la station de Dompierre-sur-Authie pour l'événement de mai 2016

Ainsi, **le modèle reproduit de manière très satisfaisante les apports hydrologiques pour l'événement de mai 2016**. En effet, que ce soit en termes de volume ou de débit de pointe, l'hydrogramme simulé à la station de Dompierre-sur-Authie est comparable à l'hydrogramme mesuré.

Calage hydraulique

Une fois les apports vers l'Authie calés, les zones inondées calculées par le modèle ont été confrontées aux témoignages récoltés lors de l'analyse historique pour l'événement de mai 2016. Aucun repère de crue n'a été reconstitué pour cet événement lors de l'analyse historique.

Pour mémoire, la figure suivante (extraite de la Phase 1) présente les communes touchées lors de l'événement de mai 2016 (soit car elles disposent d'un arrêté de catastrophe naturelle, soit car des témoignages ont été recensés sur ces communes).

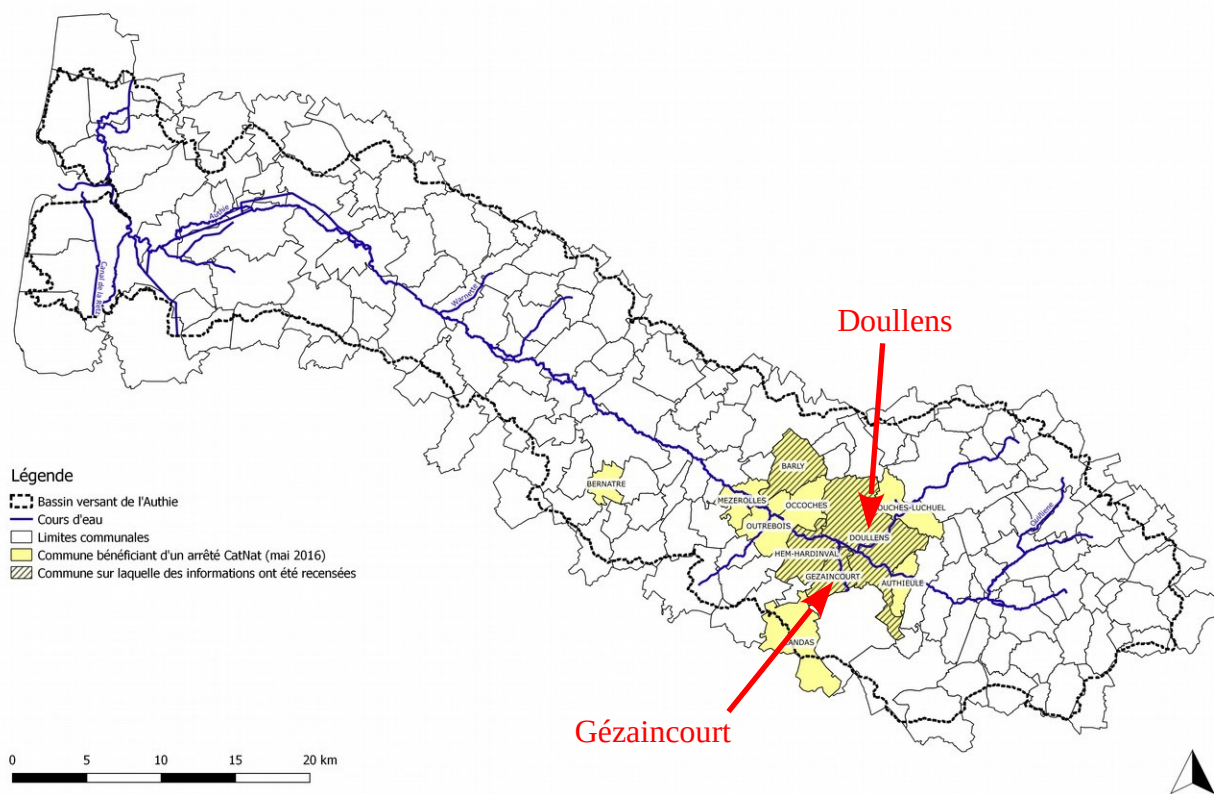


Figure 31: Communes touchées lors de l'évènement de mai 2016 (rappel Phase 1)

Le tableau ci-après synthétise les résultats obtenus.

ID	Commune	Localisation	Observation (mesure/témoignage)	Résultat du modèle (écart en cm / observation)
L_DOUL_354_30_05_2016	DOULLENS	rue J. Debuiche, veyoul St Sulpice	Rue inondée	Cf. débordement juin 2016
S_DOUL_53_30_05_2016	DOULLENS	avenue Flandre Dunkerque		Oui (touché partiellement)
S_DOUL_45_30_05_2016	DOULLENS	rue J. Debuiche, veyoul St Sulpice		Cf. débordement juin 2016
P_GEZ_41_30_05_2016	GEZAINCOURT	chemin de Rouval	Habitation inondée	Oui (touché)
L_GEZ_375_30_05_2016	GEZAINCOURT	rue de la Rivière	Rue inondée	Oui (touché)

Parmi ces témoignages, deux concernent le secteur de la rue J. Debuiche / Veyoul Saint-Sulpice à Doullens ; or ce secteur ne semble pas avoir été inondé par débordement en mai 2016 mais plutôt en juin 2016 (Cf. 4.3.3.2).

La majorité des témoignages relatifs à l'évènement de mai 2016 se rapporte au phénomène de ruissellement.

Concernant les témoignages liés au phénomène de débordement, le modèle reproduit de manière très satisfaisante les mesures et observations historiques :

- 2 témoignages sur 3 sont très bien reproduits par le modèle ;
- 1 témoignage sur 3 est bien reproduit par le modèle.

Ces différents témoignages sont reportés, pour les communes de Doullens et Gézaincourt, sur les extraits de carte ci-après.

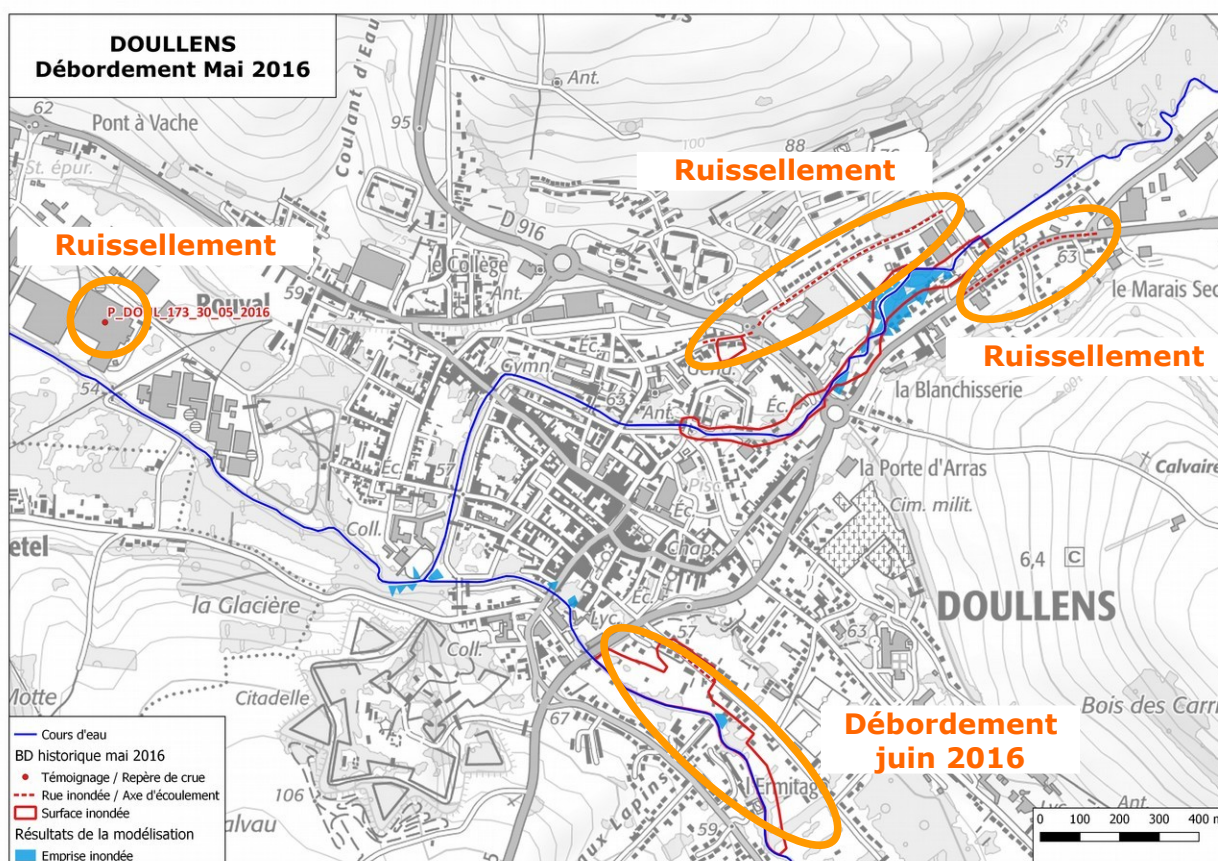


Figure 32: Résultats bruts du modèle débordement pour la crue de mai 2016 à Doullens

Sur la commune de Doullens, la plupart des témoignages concernent le phénomène de ruissellement, c'est pourquoi ils ne sont pas reproduits ici par le modèle de débordement.

Par ailleurs, comme indiqué précédemment, le secteur de la rue J. Debuiche / Voyeul Saint-Sulpice ne semble pas avoir été inondé par débordement en mai 2016 mais plutôt en juin 2016 (Cf. 4.3.3.2).

L'inondation par débordement de la Grouche sur le secteur de l'avenue Flandre Dunkerque est bien représentée par le modèle hydraulique.

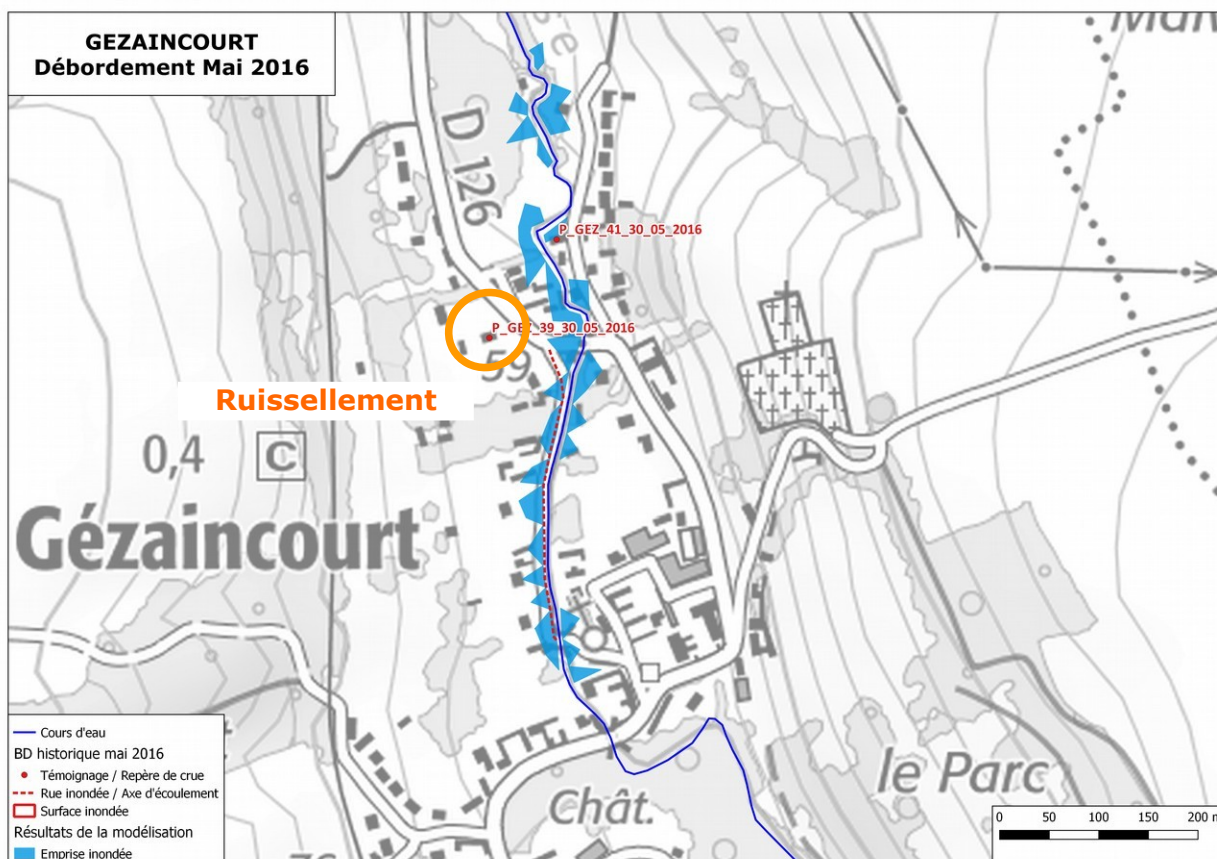


Figure 33: Résultats bruts du modèle débordement pour la crue de mai 2016 à Gézaincourt

A Gézaincourt, l'inondation par débordement de la Gézaincourtoise sur la rue de la Rivière et sur l'habitation en rive droite, chemin de Rouval, est bien représentée par le modèle hydraulique.

L'inondation de l'habitation en rive gauche, rue du Marais, est due au phénomène de ruissellement, c'est pourquoi elle n'est pas reproduite ici par le modèle de débordement.

4.3.3.2. Calage de la crue de juin 2016 pour le modèle « Authie amont »

Calage hydrologique

La crue de juin 2016 est une crue importante de l'Authie ayant engendré des débordements.

En raison de la pluviométrie du mois précédant l'événement et de l'événement précédent de mai 2016, des conditions antécédentes plutôt très humides ont été considérées pour la modélisation de cet événement.

Dans ces conditions, le modèle reconstitue un hydrogramme cohérent avec l'hydrogramme mesuré.

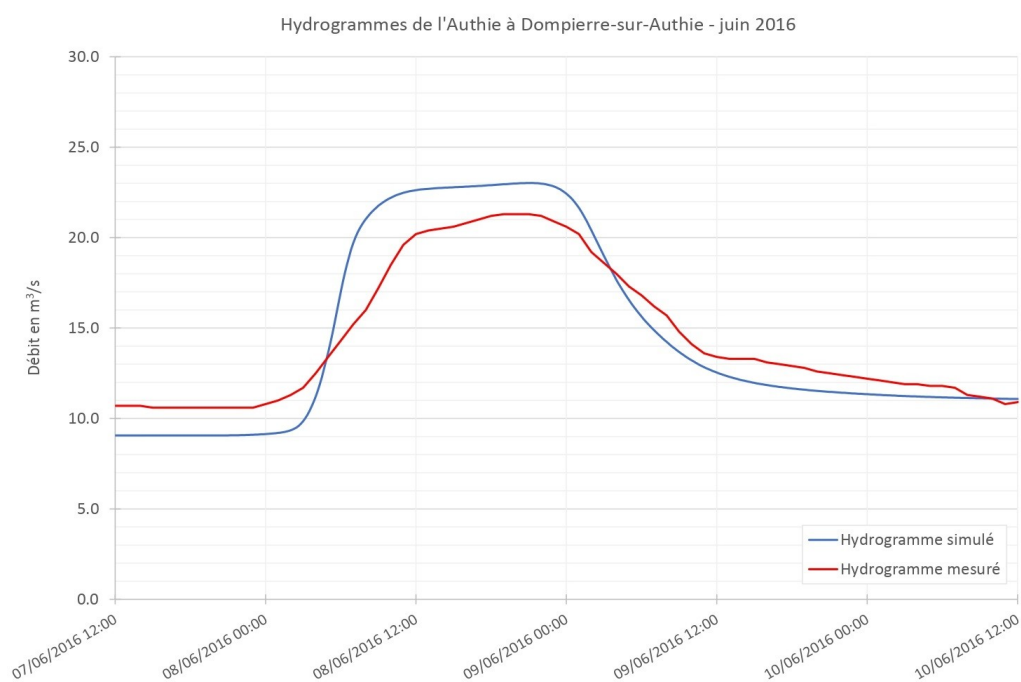


Figure 34: Comparaison de l'hydrogramme simulé et mesuré à la station de Dompierre-sur-Authie pour l'événement de juin 2016

Le tableau ci-après présente le débit de pointe mesuré et simulé et le volume mesuré et simulé à la station de Dompierre-sur-Authie.

Station	Débit de pointe mesuré (m ³ /s)	Débit de pointe calculé (m ³ /s)	Ecart (%)
Dompierre-sur-Authie	21,3	23	8%
Station	Volume mesuré (m ³) sur 3 jours	Volume calculé (m ³) sur 3 jours	Ecart (%)
Dompierre-sur-Authie	3 781 260	3 775 136	0%

Figure 35: Comparaison du débit de pointe et du volume mesuré et simulé à la station de Dompierre-sur-Authie pour l'événement de juin 2016

Ainsi, **le modèle reproduit de manière très satisfaisante les apports hydrologiques pour l'événement de juin 2016**. En effet, que ce soit en termes de volume ou de débit de pointe, l'hydrogramme simulé à la station de Dompierre-sur-Authie est comparable à l'hydrogramme mesuré.

Calage hydraulique

Une fois les apports vers l'Authie calés, les niveaux d'eau et zones inondées calculés par le modèle ont été confrontés aux repères de crue reconstitués ainsi qu'aux témoignages récoltés lors de l'analyse historique pour l'événement de juin 2016.

Pour mémoire, la figure suivante (extraite de la Phase 1) présente les communes touchées lors de l'événement de juin 2016 (soit car elles disposent d'un arrêté de catastrophe naturelle, soit car des témoignages ont été recensés sur ces communes).

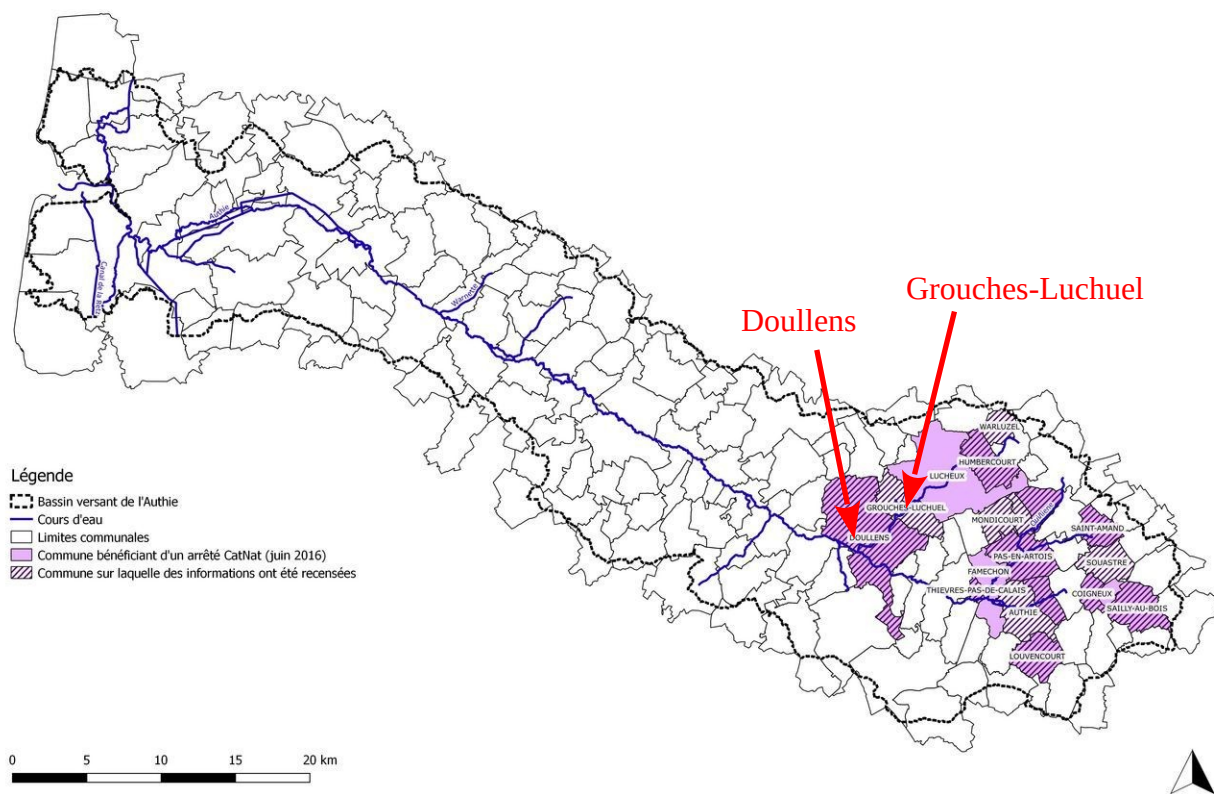


Figure 36: Communes touchées lors de l'évènement de juin 2016 (rappel Phase 1)

Les tableaux ci-après synthétisent les résultats obtenus.

ID	Commune	Localisation	Observation (mesure/témoignage)	Résultat du modèle (écart en cm / observation)
P_DOUL_61_07_06_2016	DOULLENS	34 avenue Flandre Dunkerque	60.67 mNGF	0.06
L_DOUL_343_07_06_2016	DOULLENS	chemin de Milly	Rue inondée	Oui (touché partiellement)
L_DOUL_355_07_06_2016	DOULLENS	rue J. Debuiche, veyoul St Sulpice	Rue inondée	Oui (touché)
S_DOUL_52_07_06_2016	DOULLENS	avenue Flandre Dunkerque		Oui (touché)
S_DOUL_46_07_06_2016	DOULLENS	rue J. Debuiche, veyoul St Sulpice		Oui (touché partiellement)
P_DOUL_27_07_06_2016	DOULLENS	rue Pierre Lefebvre	maison inondée en 2016	Oui (touché)
P_DOUL_28_07_06_2016	DOULLENS	rue Pierre Lefebvre	maison inondée en 2016	Oui (touché)
P_DOUL_29_07_06_2016	DOULLENS	rue Pierre Lefebvre	maison inondée en 2016	Oui (touché)
S_GROU_6_07_06_2016	GROUCHES-LUCHUEL	rive gauche de la Grouche		Oui (touché)
S_GROU_7_07_06_2016	GROUCHES-LUCHUEL	rue du 8 mai 1945		Oui (touché)
S_GROU_8_07_06_2016	GROUCHES-LUCHUEL	rue de Bas		Oui (touché)
S_THIP_22_07_06_2016	THIEVRES-PAS-DE-CALAIS	méandre ancien moulin		Oui (touché)
L_DOUL_354_30_05_2016	DOULLENS	rue J. Debuiche, veyoul St Sulpice	= L_DOUL_355_07_06_2016	Oui (touché)
S_DOUL_45_30_05_2016	DOULLENS	rue J. Debuiche, veyoul St Sulpice	= S_DOUL_46_07_06_2016	Oui (touché partiellement)

Les deux témoignages relatifs à l'inondation du secteur de la rue J. Debuiche / Voyeul Saint-Sulpice à Doullens en mai 2016 ont été rajoutés au tableau précédent (en rouge) car ils se rapportent plutôt à l'évènement de juin 2016. Ce secteur est d'ailleurs déjà mentionné dans les témoignages relatifs à l'évènement de juin 2016.

La majorité des témoignages relatifs à l'évènement de juin 2016 se rapporte au phénomène de ruissellement.

Concernant les témoignages liés au phénomène de débordement, le modèle reproduit de manière très satisfaisante les mesures et observations historiques :

- 1 repère de crue est très bien calé à Doullens (écart < 15 cm) ;
- 9 témoignages sur 11 sont très bien reproduits par le modèle ;
- 2 témoignages sur 11 sont bien reproduits par le modèle.

Ces différents témoignages sont reportés, pour les communes de Doullens et Grouches-Luchuel, sur les extraits de carte ci-après.

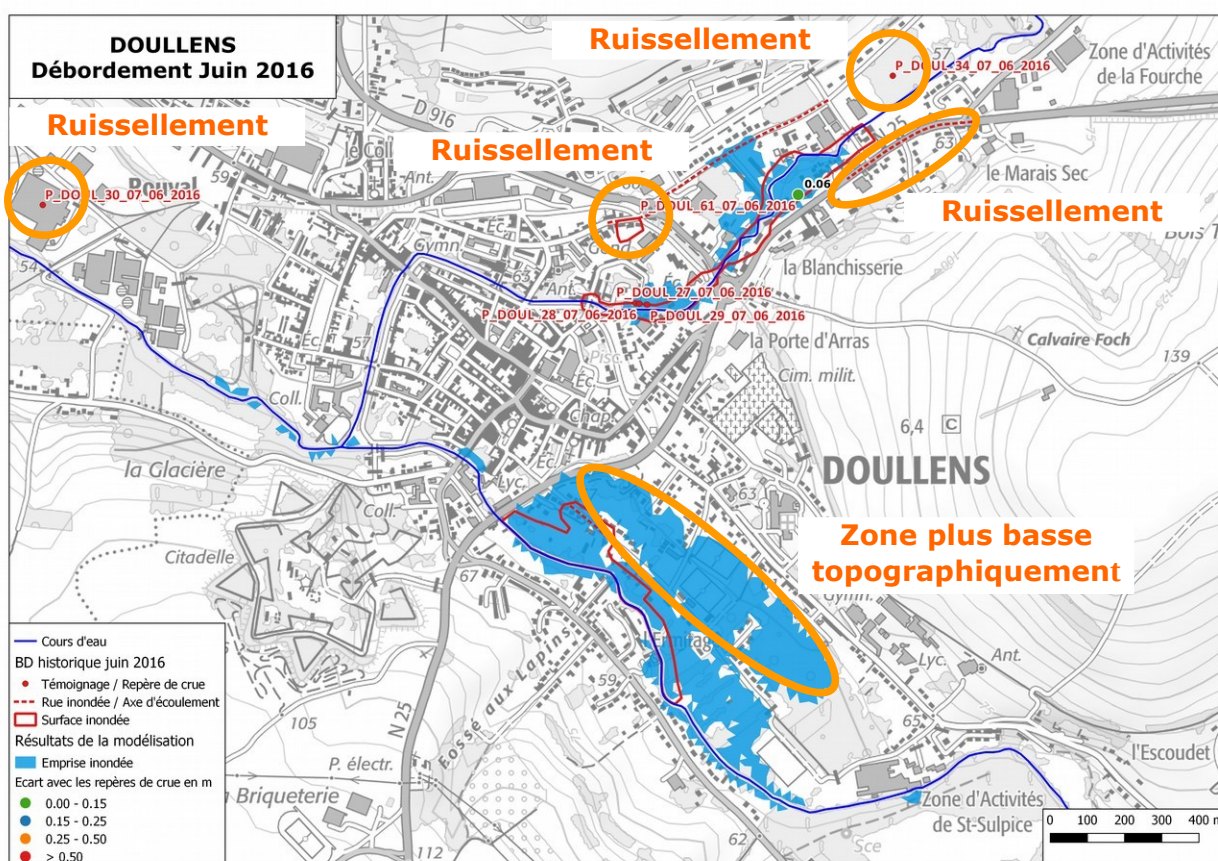


Figure 37: Résultats bruts du modèle débordement pour la crue de juin 2016 à Doullens

A Doullens, l'inondation par débordement de la Grouche sur le secteur de l'avenue Flandre Dunkerque, du chemin de Milly et du secteur à l'amont du pont Margry est bien représentée par le modèle hydraulique.

Sur le secteur de la rue J. Debuiche / Voyeul Saint-Sulpice, l'inondation représentée par le modèle hydraulique va au-delà de la zone indiquée dans les témoignages. Cependant, il est à noter que le secteur au Nord-Est de la rue J. Debuiche / Voyeul Saint-Sulpice est plus bas topographiquement. C'est pourquoi, lorsque l'inondation atteint la rue J. Debuiche / Voyeul Saint-Sulpice, elle s'étend dans cette zone plus basse.

Les autres témoignages sur la commune de Doullens concernent le phénomène de ruissellement, c'est pourquoi ils ne sont pas reproduits ici par le modèle de débordement.

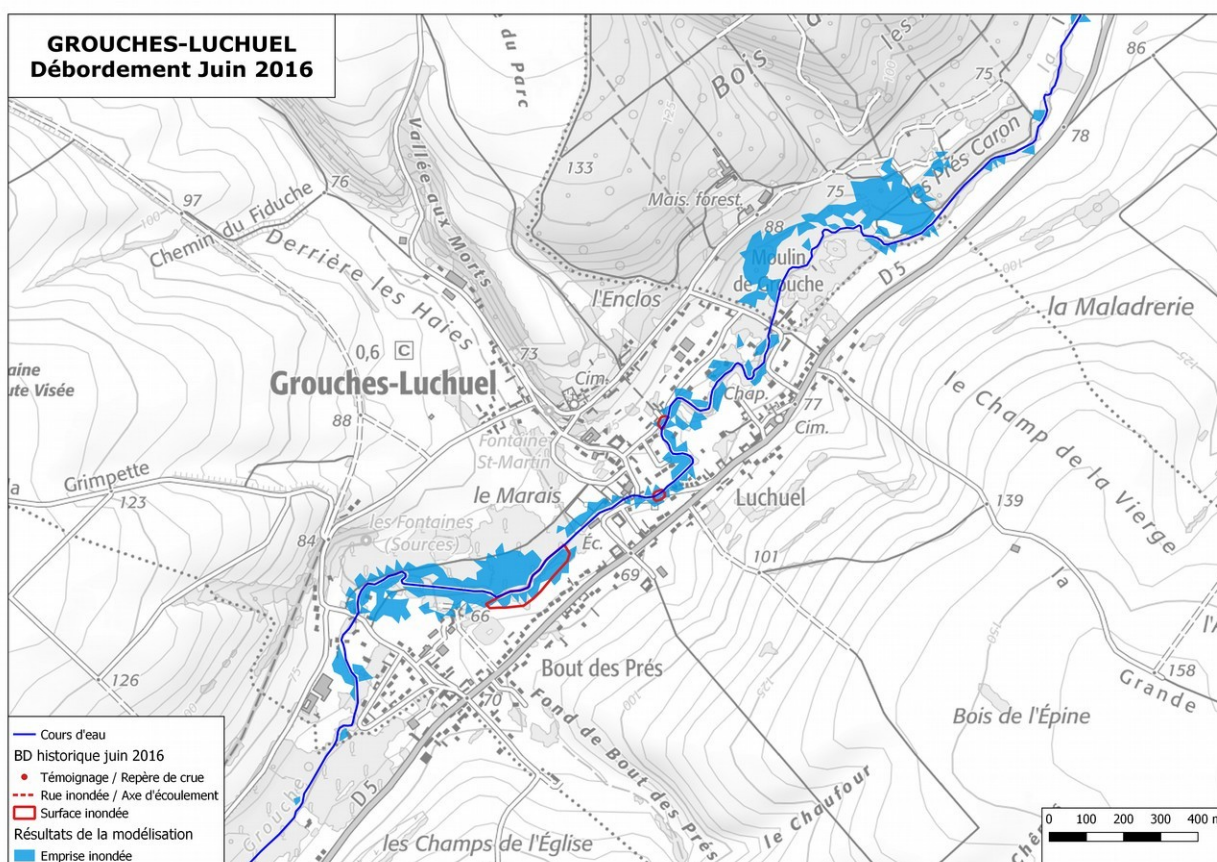


Figure 38: Résultats bruts du modèle débordement pour la crue de juin 2016 à Grouches-Luchuel

L'inondation par débordement de la Grouche à Grouches-Luchuel est bien représentée par le modèle hydraulique sur les lieux indiqués.

Synthèse sur le calage du modèle débordement « Authie amont »

Les tableaux suivant synthétisent les résultats du calage du modèle débordement « Authie amont » pour les crues de mai et juin 2016.

Écart entre débits de pointe mesuré et calculé	Validité du calage Mai 2016	Validité du calage Juin 2016
+/-10%	En débit et en volume	En débit et en volume
au-delà	X	X

Zone inondée dans le modèle	Validité du calage Mai 2016		Validité du calage Juin 2016	
Oui (touché)	2	67 %	9	82 %
Oui (touché partiellement)	1	33 %	2	18 %
Non (non inondé)	0	0 %	0	0 %
Total	3	100 %	11	100 %

Écart entre niveaux mesuré et calculé	Validité du calage Mai 2016		Validité du calage Juin 2016	
0 à 15 cm	0	/	1	100 %
15 cm à 25 cm	0	/	0	0 %
25 cm à 50 cm	0	/	0	0 %
> 50 cm	0	/	0	0 %
Total	0	/	1	100 %

Tableau 18: Synthèse du calage du modèle débordement "Authie amont"

Le modèle hydraulique construit est donc calé de manière très satisfaisante, que ce soit dans sa capacité à reproduire les hydrogrammes et débits de pointe mesurés historiquement ou dans son fonctionnement hydraulique qui s'ajuste bien aux témoignages historiques. Globalement ou localement, les résultats de simulation montrent effectivement que le modèle reproduit les inondations identifiées.

4.3.3.3. *Calage de la crue de 2001 pour le modèle « Authie aval »*

La crue de mars / avril 2001 est une crue importante de l'Authie ayant engendré des débordements, principalement à l'aval, en lien aussi avec des phénomènes de remontées de nappe s'étalant sur plusieurs mois voire plusieurs mois.

En raison de la pluviométrie des mois précédant l'événement, des conditions antécédentes très humides ont été considérées pour la modélisation de cet événement.

L'hydrogramme mesuré à la station de Dompierre-sur-Authie sur cette période a été injectée à l'amont du modèle « Authie aval ».

A l'aval du modèle, le marégramme sur cette période a été pris en compte.

De plus, en raison des interactions fortes entre l'Authie et la nappe de la craie, un débit de base a été imposé dans le lit mineur de l'Authie.

Calage hydraulique

Les niveaux d'eau et zones inondées calculés par le modèle ont été confrontés aux repères de crue reconstitués ainsi qu'aux témoignages récoltés lors de l'analyse historique pour l'événement de mars / avril 2001.

Pour mémoire, la figure suivante (extraite de la Phase 1) présente les communes touchées lors de l'évènement de mars / avril 2001 (soit car elles disposent d'un arrêté de catastrophe naturelle, soit car des témoignages ont été recensés sur ces communes).

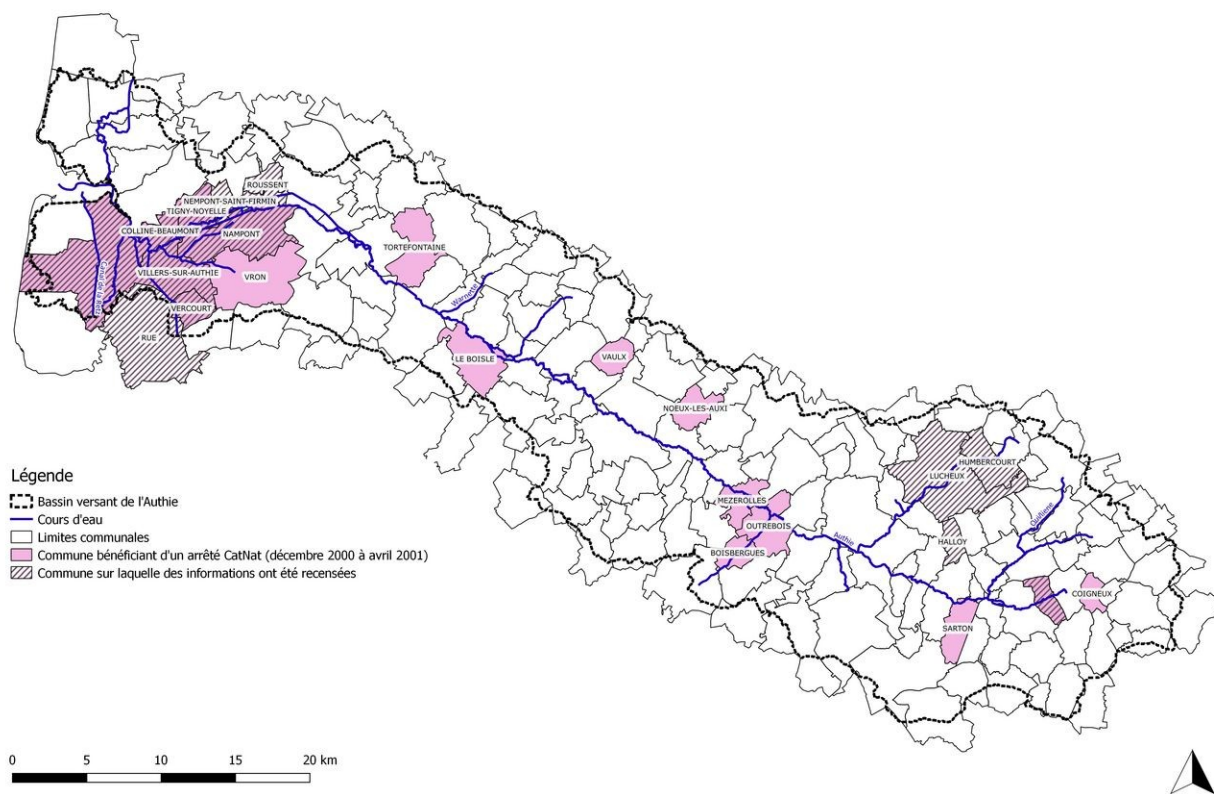


Figure 39: Communes touchées lors de l'évènement de mars / avril 2001 (rappel Phase 1)

Les tableaux ci-après synthétisent les résultats obtenus.

ID	Commune	Localisation	Observation (mesure/témoignage)	Résultat du modèle (écart en cm / observation)	Sensibilité aléa remontée nappe (BRGM)
P_COLB_114_xx_04_2001	COLLINE-BEAUMONT	277 Rue de Tigny - Borne numéro G32.	5.62	-0.27	Forte (en surface)
P_COLB_103_xx_04_2001	COLLINE-BEAUMONT	207 Rue de Villers - Borne numéro G33.	5.44	-0.11	Forte (en surface)
P_COLB_123_xx_04_2001	COLLINE-BEAUMONT	322 Rue de Villers - Borne numéro G34.	5.26	-0.13	Modérée (0 à - 2,5 m)
P_COLB_67_xx_04_2001	COLLINE-BEAUMONT	521 Rue de Villers - Borne numéro G35.	5.46	-0.04	Forte (en surface)
P_COLB_87_xx_04_2001	COLLINE-BEAUMONT	9001 Le Gravelon - Borne numéro G37.	5.76	-0.60	Forte (en surface)
P_COLB_65_xx_04_2001	COLLINE-BEAUMONT	Proche 504 Impasse du Graverons - Borne numéro G38.	5.41	-0.26	Forte (en surface)
P_NAM_113_xx_04_2001	NAMPONT	8 Route du Moulin #2 - Borne numéro G1.	8.14	-0.45	Forte (en surface)
P_NAM_73_xx_04_2001	NAMPONT	103 Route d'Argoules #2 - Borne numéro G10.	7.35	non inondé	Forte (en surface)
P_NAM_75_xx_04_2001	NAMPONT	103 Route d'Argoules - Borne numéro G11.	7.65	non inondé	Forte (en surface)
P_NAM_76_xx_04_2001	NAMPONT	101 Route d'Argoules - Borne numéro G12.	7.62	non inondé	Modérée (0 à - 2,5 m) en limite Forte (en surface)
P_NAM_112_xx_04_2001	NAMPONT	9003 Montigny - Borne numéro G13.	7.42	non inondé	Forte (en surface)
P_NAM_99_xx_04_2001	NAMPONT	9001 Rue de la Vantellerie - Borne numéro G14.	7.56	non inondé	Forte (en surface)
P_NAM_84_xx_04_2001	NAMPONT	44 Route Nationale - Borne numéro G15.	6.11	-0.11	Forte (en surface)
P_NAM_70_xx_04_2001	NAMPONT	30 Route Nationale #2 - Borne numéro G16.	6.13	-0.13	Forte (en surface)
P_NAM_77_xx_04_2001	NAMPONT	30 Route Nationale - Borne numéro G17.	6.13	-0.11	Forte (en surface)
P_NAM_111_xx_04_2001	NAMPONT	8011 Route du Moulin - Borne numéro G2.	7.94	-0.10	Forte (en surface)
P_NAM_109_xx_04_2001	NAMPONT	8 Route du Moulin - Borne numéro G3.	8.12	-0.28	Forte (en surface)
P_NAM_69_xx_04_2001	NAMPONT	105 Route d'Argoules - Borne numéro G4.	7.52	non inondé	Forte (en surface)
P_NAM_121_xx_04_2001	NAMPONT	Proche Rue de Montreuil, canal de Fresne - Borne numéro G40.	5.37	0.05	Forte (en surface)
P_NAM_88_xx_04_2001	NAMPONT	9001 FORT MAHON #2 - Borne numéro G41.	5.39	0.04	Forte (en surface)
P_NAM_97_xx_04_2001	NAMPONT	9001 FORT MAHON - Borne numéro G42.	5.39	0.35	Forte (en surface)
P_NAM_98_xx_04_2001	NAMPONT	5 Rue du Fort-Mahon - Borne numéro G43.	5.41	0.33	Forte (en surface)
P_NAM_100_xx_04_2001	NAMPONT	3 FORT MAHON - Borne numéro G44.	5.67	0.07	Forte (en surface)
P_NAM_68_xx_04_2001	NAMPONT	5116 Fresne #2 - Borne numéro G45.	5.47	0.27	Forte (en surface)
P_NAM_63_xx_04_2001	NAMPONT	5116 Fresne - Borne numéro G46.	5.38	0.36	Forte (en surface)
P_NAM_64_xx_04_2001	NAMPONT	5115 Rue du Marais de Fresne - Borne numéro G47.	5.44	0.30	Forte (en surface)
P_NAM_90_xx_04_2001	NAMPONT	82 Route d'Argoules - Borne numéro G5.	9.21	non inondé	Modérée (0 à - 2,5 m) en limite Forte (en surface)
P_NAM_72_xx_04_2001	NAMPONT	76 Route d'Argoules - Borne numéro G7.	7.36	non inondé	Forte (en surface)
P_NAM_71_xx_04_2001	NAMPONT	76 Route d'Argoules #2 - Borne numéro G8.	7.36	non inondé	Forte (en surface)
P_NAM_74_xx_04_2001	NAMPONT	8009 Montigny - Borne numéro G9.	7.34	non inondé	Forte (en surface)
P_NEM_85_xx_04_2001	NEMPONT-SAINT-FIRMIN	13 Rue de la Jumelle - Borne numéro G18.	6.43	0.14	Forte (en surface)
P_NEM_78_xx_04_2001	NEMPONT-SAINT-FIRMIN	Golf de Nampont Saint- Martin - Borne numéro G19Bis.	5.65	0.19	Forte (en surface)
P_NEM_166_xx_04_2001	NEMPONT-SAINT-FIRMIN	rue de Warrier - Borne numéro G19.	non levé	non levé	Forte (en surface)

ID	Commune	Localisation	Observation (mesure/témoignage)	Résultat du modèle (écart en cm / observation)	Sensibilité aléa remontée nappe (BRGM)
P_QUE_96_xx_04_2001	QUEND	504 Impasse du Graveron - Borne numéro G39.	5.88	-0.72	Forte (en surface)
P_QUE_92_xx_04_2001	QUEND	37 Rue du Val d'Authie - Borne numéro G51.	4.42	non inondé	Forte (en surface)
P_QUE_93_xx_04_2001	QUEND	16 Rue du Paradis - Borne numéro G52.	4.45	non inondé	Forte (en surface)
P_QUE_94_xx_04_2001	QUEND	27 Rue de la Gare - Borne numéro G53.	4.48	non inondé	Forte (en surface)
P_QUE_107_xx_04_2001	QUEND	Chemin des Mille Vaches - Borne numéro G54.	4.45	non inondé	Forte (en surface)
P_QUE_106_xx_04_2001	QUEND	Proche 9001 La Blanche Tache - Borne numéro G55.	4.09	non inondé	Forte (en surface)
P_QUE_82_xx_04_2001	QUEND	9001 Le Bertinois - Borne numéro G61.	4.08	non inondé	Forte (en surface)
P_QUE_83_xx_04_2001	QUEND	La Grande Retz, proche Canal - Borne numéro G62.	4.14	non inondé	Forte (en surface)
P_ROUS_80_xx_04_2001	ROUSSENT	9001 Le Marais de Colline - Borne numéro G6.	6.43	0.22	Forte (en surface)
P_RUE_105_xx_04_2001	RUE	241 Chemin des Genêts - Borne numéro G56.	5.84	hors BV	hors BV
P_RUE_104_xx_04_2001	RUE	153 Chemin des Lys - Borne numéro G57.	4.95	non inondé	Forte (en surface)
P_TIG_86_xx_04_2001	TIGNY-NOYELLE	3 Impasse des Prairies - Borne numéro G20.	6.55	-0.45	Forte (en surface)
P_TIG_120_xx_04_2001	TIGNY-NOYELLE	13 Rue du Moulin - Borne numéro G21.	5.71	-0.27	Forte (en surface)
P_TIG_119_xx_04_2001	TIGNY-NOYELLE	5045 Rue du Moulin - Borne numéro G22.	5.85	-0.41	Forte (en surface)
P_TIG_118_xx_04_2001	TIGNY-NOYELLE	10 Rue du Moulin - Borne numéro G23.	5.76	-0.22	Modérée (0 à - 2,5 m) en limite Forte (en surface)
P_TIG_117_xx_04_2001	TIGNY-NOYELLE	5728 Rue du Moulin - Borne numéro G24.	5.66	-0.12	Modérée (0 à - 2,5 m) en limite Forte (en surface)
P_TIG_89_xx_04_2001	TIGNY-NOYELLE	5066 A Tigny - Borne numéro G25.	5.61	-0.11	Forte (en surface)
P_TIG_116_xx_04_2001	TIGNY-NOYELLE	9 Chemin des Marais #2 - Borne numéro G26.	5.61	-0.11	Forte (en surface)
P_TIG_115_xx_04_2001	TIGNY-NOYELLE	9 Chemin des Marais - Borne numéro G27.	5.40	0.10	Forte (en surface)
P_TIG_66_xx_04_2001	TIGNY-NOYELLE	6 Chemin des Marais - Borne numéro G28.	5.53	-0.03	Modérée (0 à - 2,5 m) en limite Forte (en surface)
P_TIG_110_xx_04_2001	TIGNY-NOYELLE	2 Route de la Vallée - Borne numéro G29.	5.36	0.14	Modérée (0 à - 2,5 m) en limite Forte (en surface)
P_TIG_108_xx_04_2001	TIGNY-NOYELLE	1 Route de la Vallée - Borne numéro G30.	5.47	0.03	Modérée (0 à - 2,5 m)
P_TIG_101_xx_04_2001	TIGNY-NOYELLE	Proche Route de la Vallée, marais de Tigny - Borne numéro G31.	5.46	0.04	Forte (en surface)
P_VERC_79_xx_04_2001	VERCOURT	9017 Flandre #2 - Borne numéro G59.	5.11	non inondé	Forte (en surface)
P_VERC_81_xx_04_2001	VERCOURT	9017 Flandre - Borne numéro G60.	4.98	non inondé	Modérée (0 à - 2,5 m) en limite Forte (en surface)
P_VILA_122_xx_04_2001	VILLERS-SUR-AUTHIE	9002 Route de Montreuil - Borne numéro G36.	5.29	0.10	Modérée (0 à - 2,5 m) en limite Forte (en surface)
P_VILA_102_xx_04_2001	VILLERS-SUR-AUTHIE	Proche Les Mazures - Borne numéro G48.	4.93	non inondé	Forte (en surface)
P_VILA_95_xx_04_2001	VILLERS-SUR-AUTHIE	5118 Les Masures #2 - Borne numéro G49.	4.60	0.12	Forte (en surface)
P_VILA_91_xx_04_2001	VILLERS-SUR-AUTHIE	5118 Les Masures - Borne numéro G50.	4.67	0.05	Forte (en surface)
P_VILA_62_xx_04_2001	VILLERS-SUR-AUTHIE	9017 Flandre - Borne numéro G58.	5.77	non inondé	Forte (en surface)

Les tableaux précédents mentionnent également la sensibilité à l'aléa remontée de nappe, déterminée par le BRGM, au droit des différents repères de crue.

Par ailleurs, certains des témoignages relatifs à l'événement de mars / avril 2001 se rapportent exclusivement au phénomène de remontée de nappe et correspondent à des zones non inondées par le modèle hydraulique de débordement.

Concernant les autres témoignages, le modèle reproduit de manière satisfaisante les mesures et observations historiques :

- 22 repères de crue sur 39 sont très bien calés ;
- 3 repères de crue sur 39 sont bien calés ;
- 12 repères de crue sur 39 sont moyennement bien calés ;
- 2 repères de crue sur 39 sont mal calés.

Ces différents témoignages sont reportés, zone par zone sur les extraits de carte ci-après.

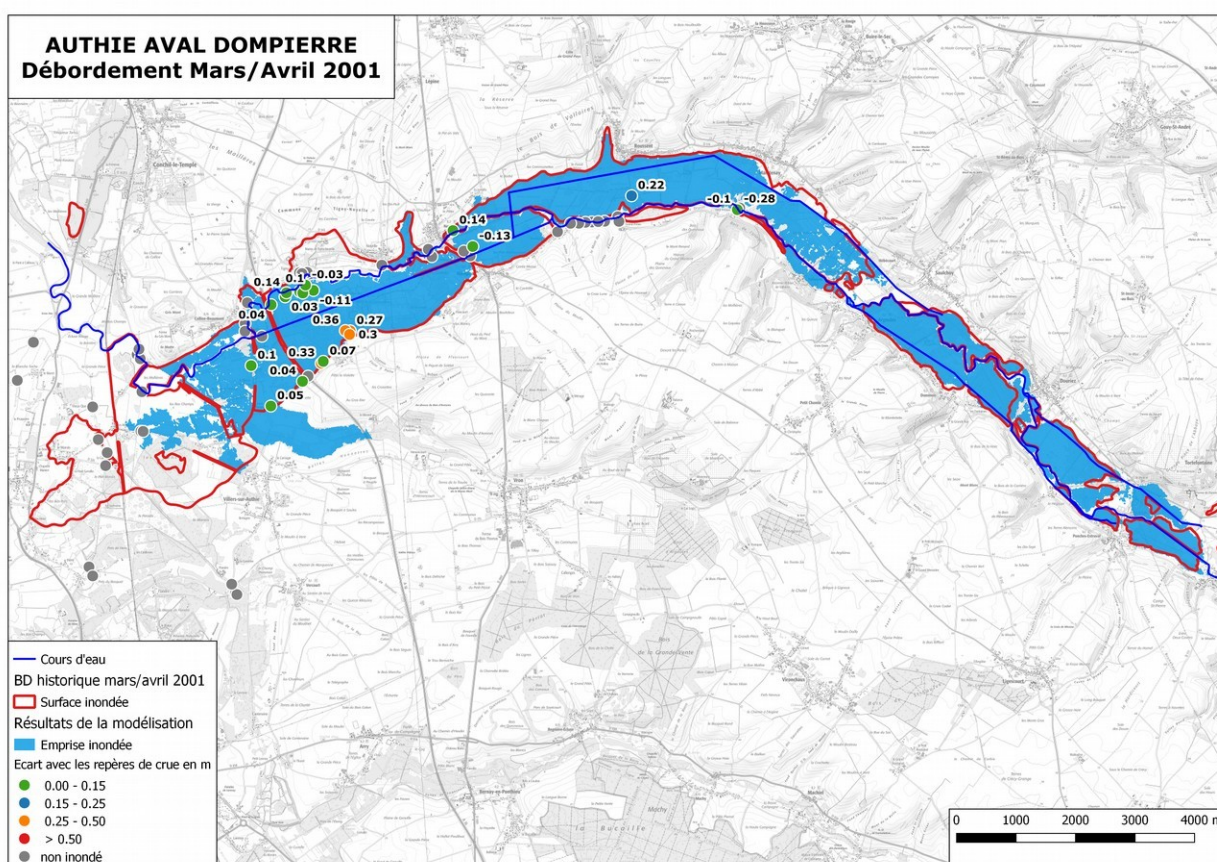


Figure 40: Résultats bruts du modèle débordement pour la crue de mars / avril 2001 à l'aval de Dompierre-sur-Authie - Vue générale

Qualitativement, l'inondation par débordement de l'Authie à l'aval de Dompierre-sur-Authie est bien représentée par le modèle hydraulique.

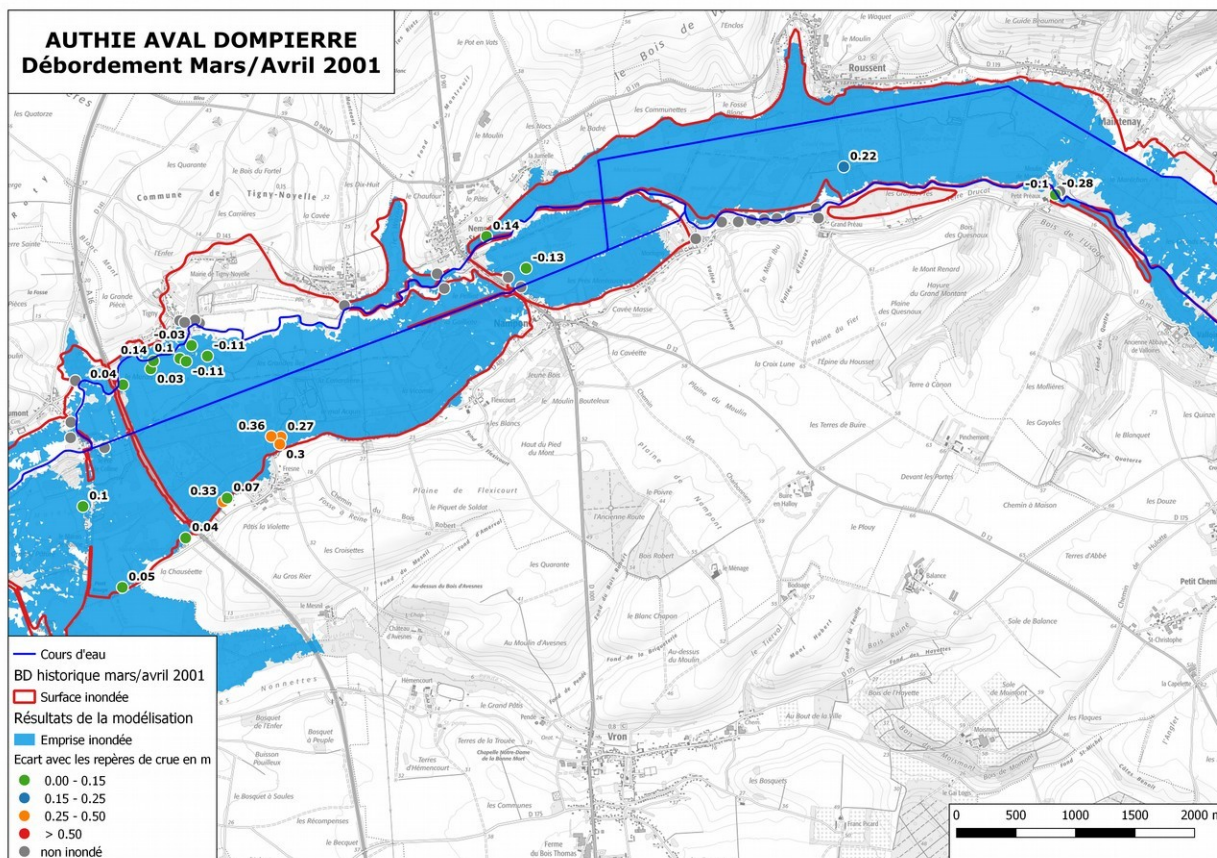


Figure 41: Résultats bruts du modèle débordement pour la crue de mars / avril 2001 à l'aval de Dompierre-sur-Authie - Vue centrée

Quantitativement, les niveaux d'eau au droit des repères de crue sont majoritairement bien représentés (écart entre la mesure et le calcul inférieur à 25 cm). Pour les points où l'écart est plus important, ils correspondent à des zones de sensibilité forte à la remontée de nappe (inondation en surface) qui ont pu être inondés plus fortement par la nappe bien après le pic de crue. En effet, la nappe a continué de monter avril. Aucune indication de date précise ne figure sur les fiches « repères de crue ».

Synthèse sur le calage du modèle débordement « Authie aval »

Le tableau suivant synthétise les résultats du calage du modèle débordement « Authie aval » pour la crue de mars / avril 2001.

Écart entre niveaux mesuré et calculé	Validité du calage Mars / avril 2001	
0 à 15 cm	22	56 %
15 cm à 25 cm	3	8 %
25 cm à 50 cm	12	31 %
> 50 cm	2	5 %
Total	39	100 %

Tableau 19: Synthèse du calage du modèle débordement "Authie aval"

Le modèle hydraulique construit est donc calé de manière satisfaisante. Le fonctionnement hydraulique est bien représenté. Globalement ou localement, les résultats de simulation montrent effectivement que le modèle reproduit les inondations identifiées et liées au phénomène de débordement.

4.4. MODÉLISATION DE L'ALÉA DÉBORDEMENT DE RÉFÉRENCE

4.4.1. Sélection de l'évènement de référence pour le risque inondation par débordement de cours d'eau

Selon la doctrine PPR, « la crue de référence est la plus forte crue connue, et dans le cas où celle-ci serait plus faible qu'une crue de fréquence centennale, cette dernière ». Comme indiqué précédemment, la méthode pluie-débit fait l'hypothèse de concordance entre la période de retour de la pluie et celle du débit de crue. Dans la mesure où aucune crue centennale n'a été mise en évidence lors de l'analyse historique menée en phase 1, il convient donc, d'une part, de définir la pluie centennale à retenir à l'échelle du bassin versant de l'Authie pour modéliser l'aléa débordement de cours d'eau et, d'autre part, de définir le débit centennal de l'Authie. Ce dernier a été défini lors de l'analyse fréquentielle des débits de la station de Dompierre-sur-Authie (Cf. § 3.3.2), il est compris entre 40 et 80 m³/s. Le débit centennal calculé par le modèle au droit de la station de Dompierre-sur-Authie devra donc se situer dans cette fourchette.

4.4.1.1. Définition des pluies de projet testées

Les paramètres clés pour la détermination d'une pluie de projet (hyétoGramme) sont les suivants :

- la forme du hyétoGramme ;
- la durée totale ;
- la durée intense.

Le choix de ces différents paramètres conditionne de façon importante les phénomènes de décalage temporel ou de cumul des différents apports et par conséquent la dynamique et l'ampleur de la propagation des crues au sein du bassin versant de l'Authie.

Il convient en règle générale de construire des pluies de projet qui présentent des paramètres cohérents avec la forme usuelle des pluies les plus intenses et les plus préjudiciables à l'échelle du bassin versant considéré. L'analyse historique des différentes crues observées sur le bassin versant conduit alors à tester les deux événements pluvieux suivants pour la modélisation de l'aléa débordement :

- **une pluie hivernale théorique, similaire à celle retenue dans le cadre du PPR de la Canche**, soit une pluie généralisée sur 3 jours (pluie longue et peu intense), avec :
 - soit un cumul centennal de 114 mm² ;
 - soit un cumul de type décembre 1999 de 80 mm.

Ce choix est fait dans un souci de cohérence et d'uniformité entre des territoires voisins d'une part et, d'autre part, car l'historique des crues sur l'Authie montre que d'importantes crues de l'Authie ont eu lieu à la suite de pluies longues (décembre 1999 par exemple). Les conditions antécédentes pluvieuses considérées pour la modélisation de ces événements sont des conditions antécédentes humides. Le débit de base retenu pour l'Authie à Dompierre-sur-Authie est de 10 m³/s, ce qui correspond au débit moyen mensuel hivernal de l'Authie. Les vannes des moulins et la vanne du canal de dessèchement sont considérées grandes ouvertes.

Remarque : Sur cette dernière hypothèse sur les vannes, il a aussi été testé une ouverture de vanne en position actuelle (position lors des levés topographiques). Les résultats sont similaires, ce qui veut dire que l'ouverture des vannes n'a pas d'effet significatif sur une crue centennale.

Les hyétoGrammes associés à ces deux pluies sont présentés sur les figures ci-après.

2 D'après les données statistiques à la station Météo-France de Dompierre-sur-Authie (Cf. § 3.1.1).

PROLOG INGÉNIERIE

Étude d'opportunité pour la réalisation d'un PPRi de la vallée de l'Authie – Phase 2

- Livrable L2.3 : Détermination des aléas -

R19-454-01_L2-3_v02.odt

09/2021

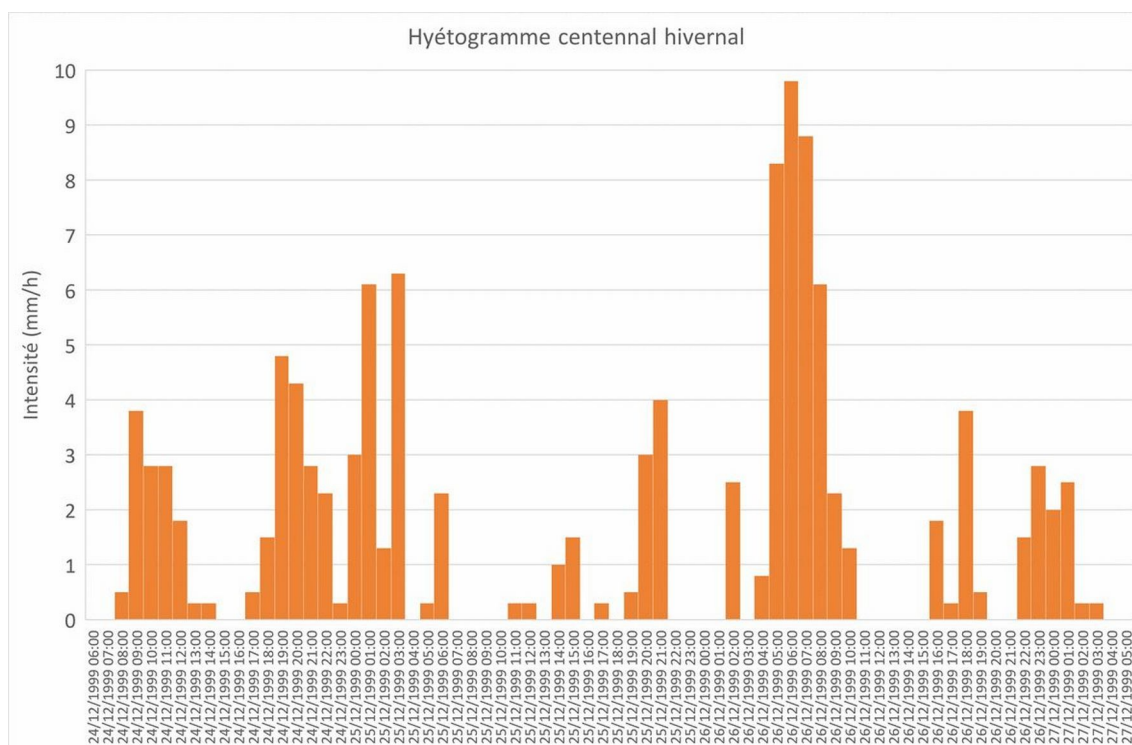


Figure 42: Hyétogramme centennal hivernal

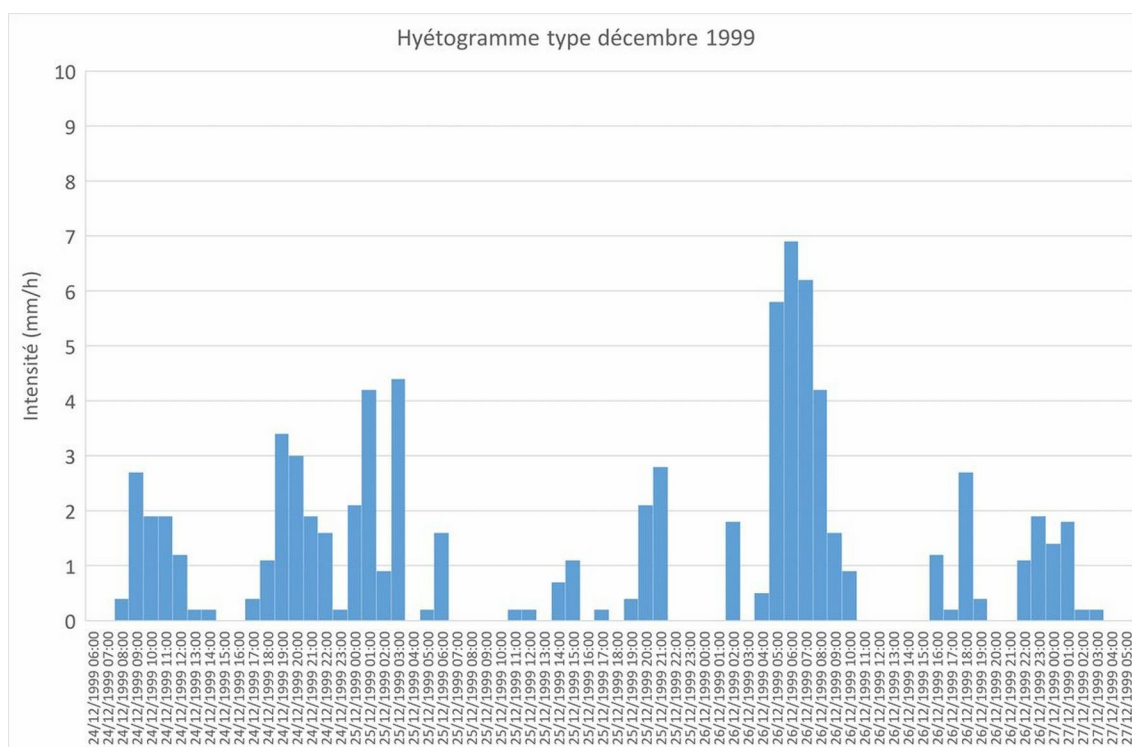


Figure 43: Hyétogramme type décembre 1999

4.4.1.2. Résultats des modélisations et évènement retenu

Les deux pluies de projet construites sont modélisées et les résultats obtenus comparés afin de retenir l'évènement le plus représentatif de la réponse hydrologique du bassin versant. Sont alors comparés en plusieurs points de référence les hydrogrammes simulés et les emprises inondées.

Les débits de pointe calculés par le modèle pour les deux événements sont repris dans le tableau ci-dessous.

Point de comparaison	BV (km ²)	Q (m ³ /s) pluie cumul T100	Q (m ³ /s) pluie cumul dec99	Q100 statistique (m ³ /s)
Grouche à Doullens	90	29	16	17
Authie à Doullens (aval confluence Grouche)	330	103	49	53
Authie à Auxi-le-Château	620	123	70	66
Authie à Dompierre-sur-Authie	796	135	76	40 - 80

Tableau 20: Grille de dynamique de crue

La modélisation de la pluie avec un cumul centennal engendre donc une crue supérieure à une crue centennale (crue de période de retour de l'ordre de 500 ans) tandis que **la modélisation de la pluie avec un cumul type décembre 1999 engendre bien une crue centennale de l'Authie.**

Des différences de résultats significatives s'observent également en termes d'emprises inondées, comme l'illustre, par exemple, la figure suivante à Doullens. Pour une pluie de cumul centennal, la Grouche déborderait de manière très importante en rive gauche et les écoulements traverserait le centre de Doullens pour rejoindre l'Authie à l'aval de la RN25. La zone industrielle en rive droite de l'Authie, à l'aval de la confluence avec la Grouche, serait également complètement submergée contrairement à la pluie de cumul type décembre 1999 où les débordements seraient plus localisés.

Par conséquent, l'évènement de référence retenu pour la modélisation de l'aléa débordement est la pluie hivernale théorique de cumul type décembre 1999.

Cet évènement a fait l'objet d'une validation lors du COTEC de Phase 2 qui s'est tenu le 3 mai 2021 et lors du COPIL de Phase 2 qui s'est tenu le 19 mai 2021.

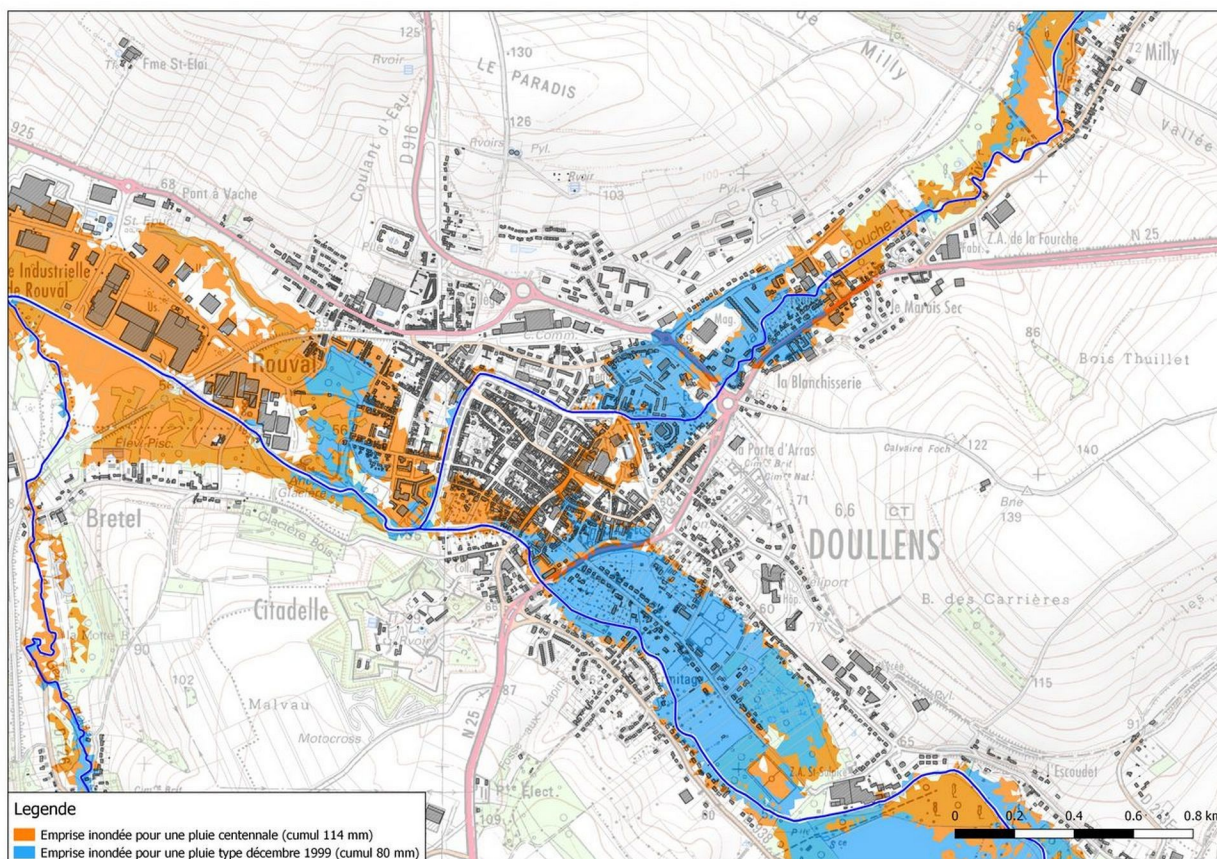


Figure 44: Comparaison des emprises inondées à Doullens pour la pluie hivernale théorique de cumul centennal et pour celle de cumul type décembre 1999

4.4.2. Test de sensibilité sur la condition limite aval

Un test de sensibilité a été réalisé afin de quantifier l'influence de la condition limite aval (niveau de la marée à l'embouchure de l'Authie) sur les résultats de modélisation.

Trois conditions ont alors été testées dans le cadre de la modélisation de la pluie hivernale retenue :

- une marée dite moyenne de coefficient 70, sans surcote, soit une cote de 4,51 m NGF ;
- une marée dite forte de coefficient 100 environ, avec une surcote de 20 cm, soit une cote de 5,79 m NGF (d'après le PAPI Bresle Somme Authie, ce niveau correspond à un niveau marin de période de retour 1 an) ;
- une marée dite exceptionnelle de coefficient 120, avec une surcote de 50 cm, soit une cote de 6,65 m NGF.

Les résultats obtenus en termes de niveaux d'eau dans le lit mineur de l'Authie sont présentés sur la figure ci-après.

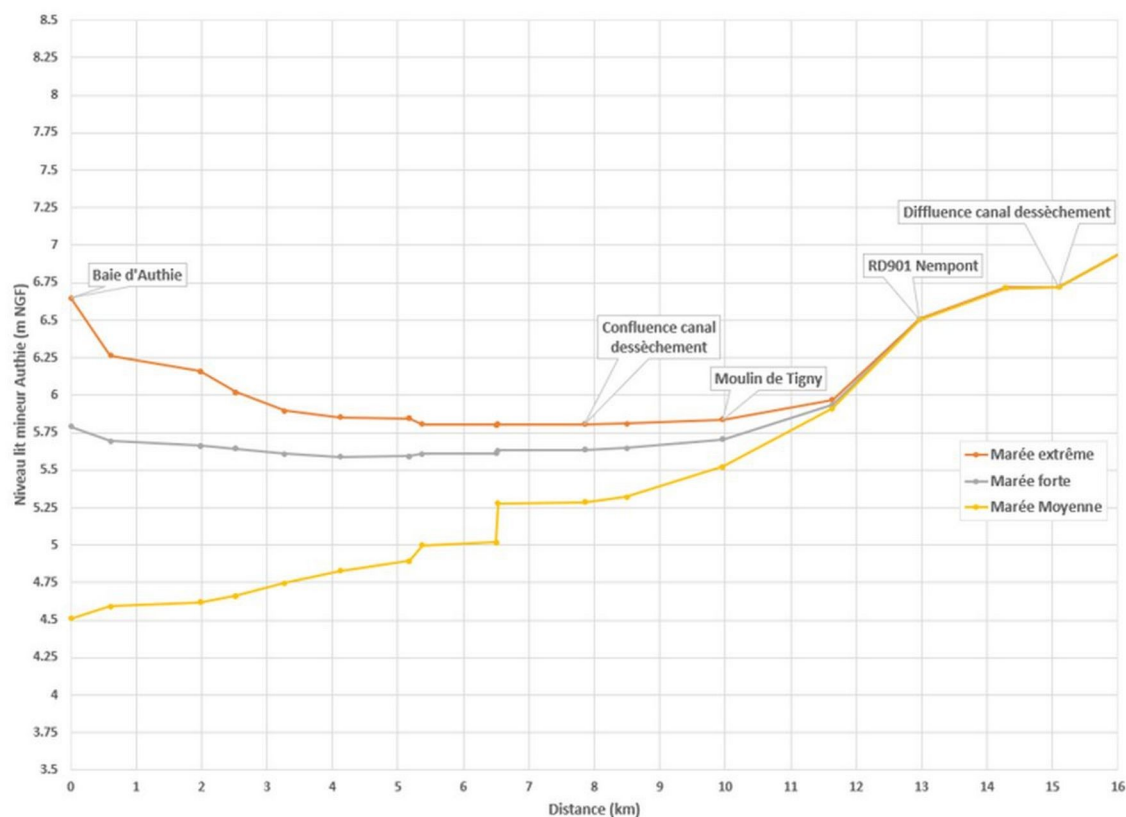


Figure 45: Niveaux d'eau dans le lit mineur de l'Authie pour les 3 marées testées

Les résultats obtenus montrent que la marée dite moyenne n'a pas d'effet significatif sur les écoulements en crue de l'Authie tandis que la marée dite forte engendre un « blocage » de la mer sur les écoulements de crue de l'Authie (ligne d'eau grise « plate » sur sa partie aval). De plus, la période de retour de la marée dite forte étant évalué à 1 an par le PAPI Bresle Somme Authie, il est probable qu'elle se produise en même temps qu'une crue centennale de l'Authie. La marée dite exceptionnelle relève, quant à elle, de la submersion marine, avec une ligne d'eau orange qui diminue avec la distance sur sa partie aval. Par ailleurs, l'influence de la marée s'étend jusqu'à Tigny-Noyelle.

Ainsi, la marée dite forte est retenue comme condition limite aval du modèle débordement de l'Authie, notamment dans un souci de cohérence avec le PAPI Bresle Somme Authie.

Cette condition limite aval a fait l'objet d'une validation lors du COPIL de Phase 2 qui s'est tenu le 19 mai 2021.

Les résultats obtenus en termes d'emprise inondée sont présentés sur la figure ci-après.

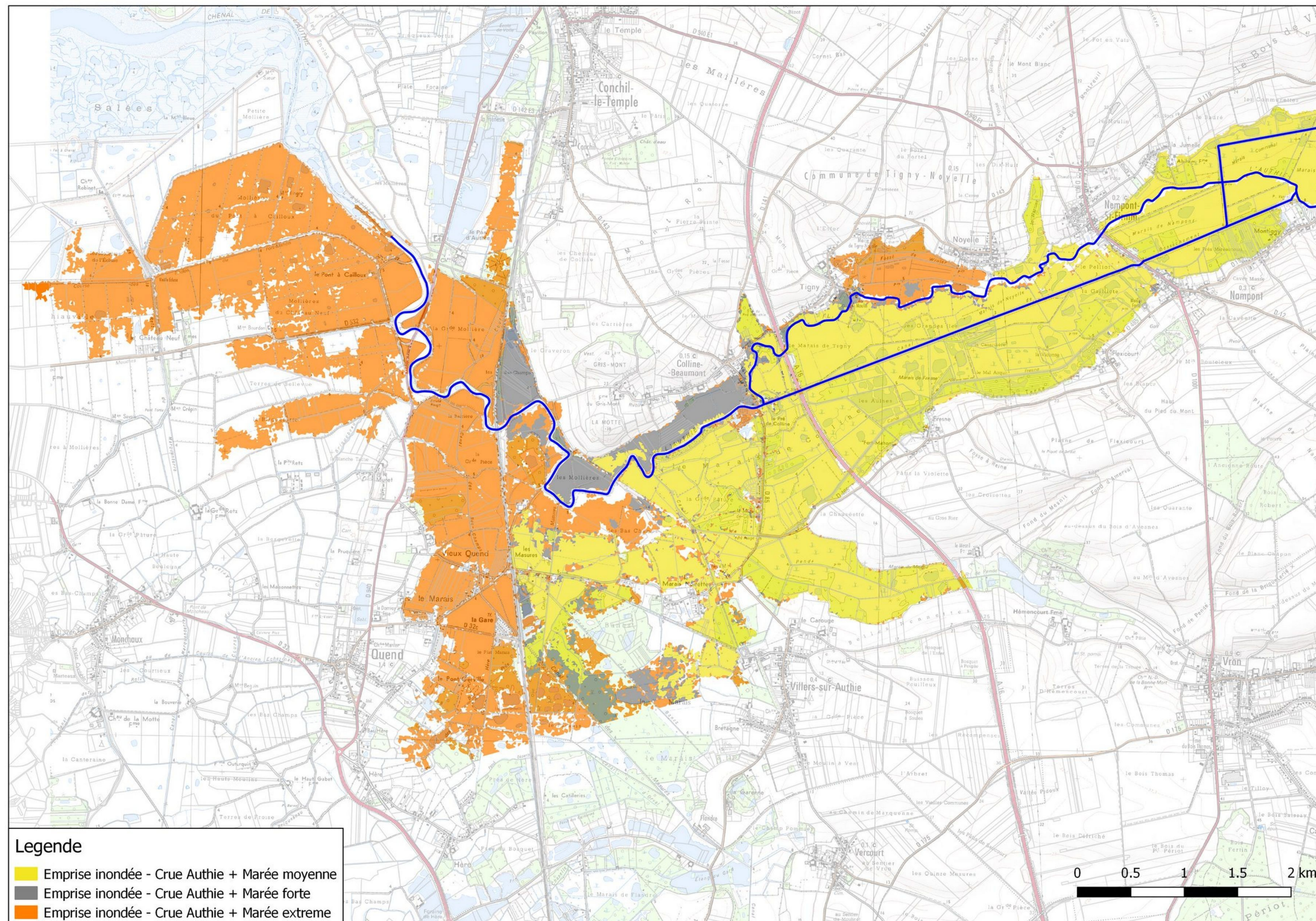


Figure 46: Emprises inondées pour les 3 marées testées

PROLOG INGÉNIERIE

Étude d'opportunité pour la réalisation d'un PPRi de la vallée de l'Authie – Phase 2
- Livrable L2.3 : Détermination des aléas -

R19-454-01_L2-3_v02.odt

09/2021

4.4.3. Analyse de la crue de référence

L'hydrogramme de l'Authie, au droit de la station hydrométrique de Dompierre-sur-Authie, calculé par le modèle pour la crue de référence est présenté sur la figure suivante.

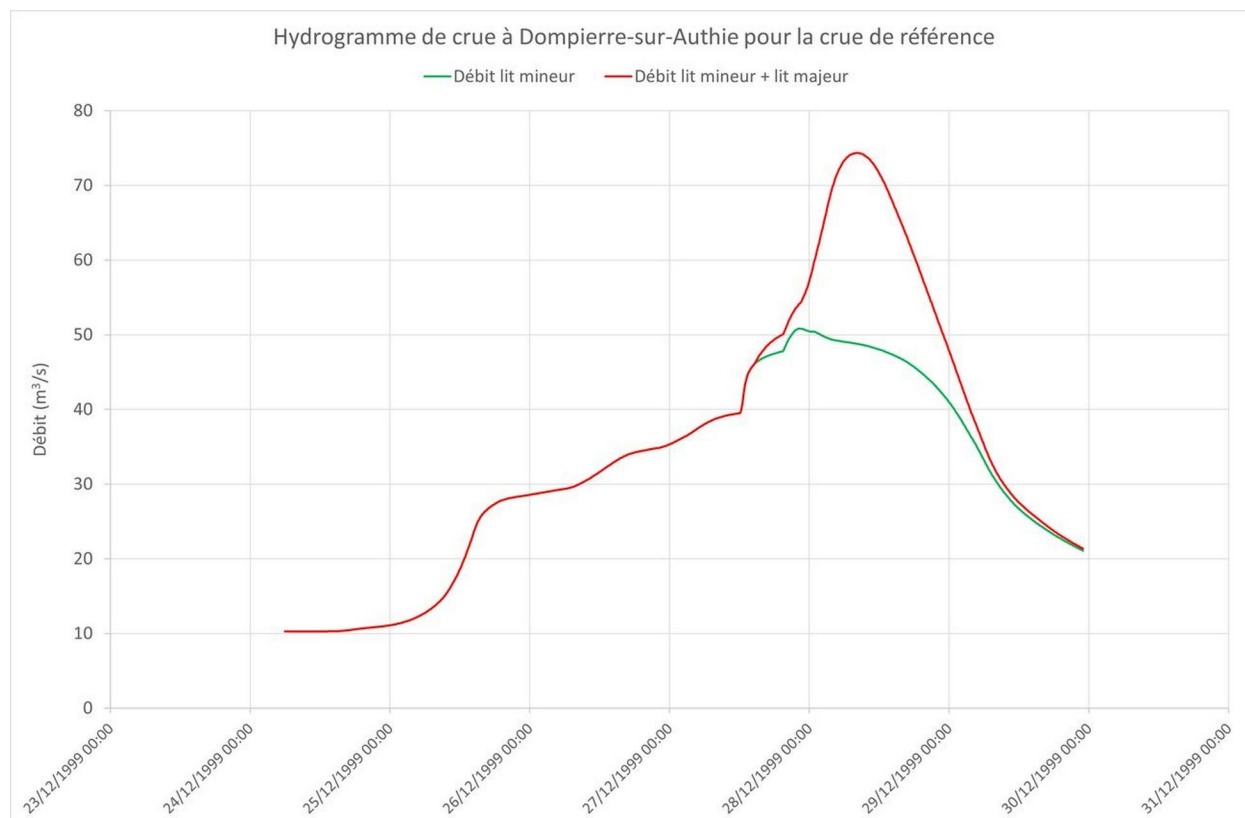


Figure 47: Hydrogramme de crue à Dompierre-sur-Authie pour la crue de référence

Il existe de nombreux débordements de l'Authie à l'amont de Dompierre-sur-Authie qui engendrent des écoulements importants en lit majeur au pic de crue. L'hydrogramme ci-dessus présente donc les écoulements en lit mineur d'une part, et les écoulements en lit mineur sommés aux écoulements en lit majeur d'autre part. Le débit de pointe retenu pour la comparaison au débit statistique est le débit de pointe total (soit 76 m³/s, Cf. § 4.4.1.2).

L'ensemble des cartographies produites (Cf. § 6) permet de visualiser l'ampleur de la crue de référence sur les différentes communes concernées par le débordement de cours d'eau.

Il est à noter que la précision de la modélisation de l'aléa débordement de référence est étroitement liée à la disponibilité des données d'entrée. Pour mémoire, peu de profils en travers et peu d'ouvrages ont été levés le long de l'Authie en dehors des secteurs à enjeux (Doullens, Auxi-le-Château), comme demandé dans le CCTP.

5. MODÉLISATION DE L'ALÉA RUISSELLEMENT

Afin de pouvoir cartographier de manière homogène les aléas débordement et ruissellement, l'aléa ruissellement a été caractérisé grâce à une modélisation bi-dimensionnelle. Cette méthodologie présente l'avantage d'éviter les raccordements brusques entre deux méthodes trop éloignées, par exemple entre une zone traitée en modélisation et une zone traitée en hydrogéomorphologie.

Comme pour l'aléa débordement, le logiciel utilisé pour la modélisation de l'aléa ruissellement est le logiciel ICM V10. Ce logiciel résout les équations de Barré-de-Saint-Venant en régime transitoire dans leurs versions unidimensionnelle et bidimensionnelle.

5.1. SPÉCIFICITÉ DU RUISSELLEMENT ET TERRITOIRE D'ÉTUDE

5.1.1. Différence entre débordement et ruissellement

Alors que le but du calcul de l'aléa débordement de cours d'eau est de caractériser les zones inondables du fait du débordement de l'Authie et de ses affluents, le but du calcul de l'aléa ruissellement est de mettre en évidence les axes d'écoulement et les zones de stockage principales hors réseau hydrographique principal. Il est donc important de rappeler ici la spécificité des phénomènes de ruissellement, qui se forment par concentration des eaux de pluie tombant sur des surfaces plus ou moins perméables et évoluent en fonction de la topographie pour former des zones d'écoulement, présentant des vitesses importantes, ou au contraire des zones d'accumulation dans les points bas topographiques.

Ces phénomènes de ruissellement peuvent se produire en tout point d'un bassin versant et sont difficilement quantifiables, à l'opposé par exemple de la crue d'un cours d'eau, dont le débit peut être mesuré en un point précis du bassin-versant, à l'exutoire d'une zone de collecte.

5.1.2. Limite du territoire d'étude

La modélisation de l'aléa ruissellement est réalisée sur l'ensemble du bassin versant de l'Authie, à l'exception des bassins versants du Fliers et des canaux de Marquenterre, Briquebeau et des Bas Champs. Le littoral n'est en effet pas soumis au risque ruissellement du fait l'absence de relief.

Au sein de cette modélisation bi-dimensionnelle, 16 secteurs seront traités de manière plus détaillée. Il s'agit des centres-bourgs des communes suivantes :

AUXI-LE-CHATEAU	COIGNEUX	LOUVENCOURT	PAS-EN-ARTOIS
BARLY	DOULLENS	LUCHEUX	REGNAUVILLE
CAPELLE-LES-HESDIN	GENNES-IVERGNY	MOURIEZ	SAINT-REMY-AU-BOIS
CAUMONT	LE BOISLE	NEUVILLETTE	TORTEFONTAINE

Ces communes disposent d'au moins 4 arrêtés CATNAT inondations (hors inondation par remontée de nappe ou submersion marine), elles sont concernées par l'aléa ruissellement (les arrêtés CATNAT peuvent faire référence à l'un ou l'autre des deux aléas ruissellement et débordement) et elles ne sont pas situées en limite haute de bassin versant (zone de production seule).

5.2. TRANSFORMATION PLUIE-RUISSELLEMENT

5.2.1. Principes théoriques

Tout comme pour la caractérisation de l'aléa débordement, la première étape dans la caractérisation de l'aléa inondation par phénomènes de ruissellement est de représenter fidèlement la transformation de la pluie tombée (pluie brute) en volume d'eau qui va ruisseler et donc contribuer aux inondations. Le but de cette transformation de la pluie en ruissellement est donc d'évaluer correctement les pertes, c'est à dire le volume d'eau qui ne participera pas au ruissellement.

L'approche retenue dans le cadre de la modélisation du débordement pour caractériser les apports hydrologiques est une transformation de la pluie en débit à l'échelle de chaque sous-bassin versant du territoire. La pluie modélisée est alors appliquée sur chaque sous-bassin versant. L'approche retenue pour la modélisation du ruissellement consiste quant à elle à appliquer la pluie brute directement sur un maillage de calcul bi-dimensionnel. Le calcul de la pluie nette, c'est-à-dire le volume d'eau contribuant effectivement au ruissellement, est alors fait à l'échelle de chaque maille.

Le schéma ci dessous synthétise les grands principes de la méthodologie retenue (transformation pluie-ruissellement) :

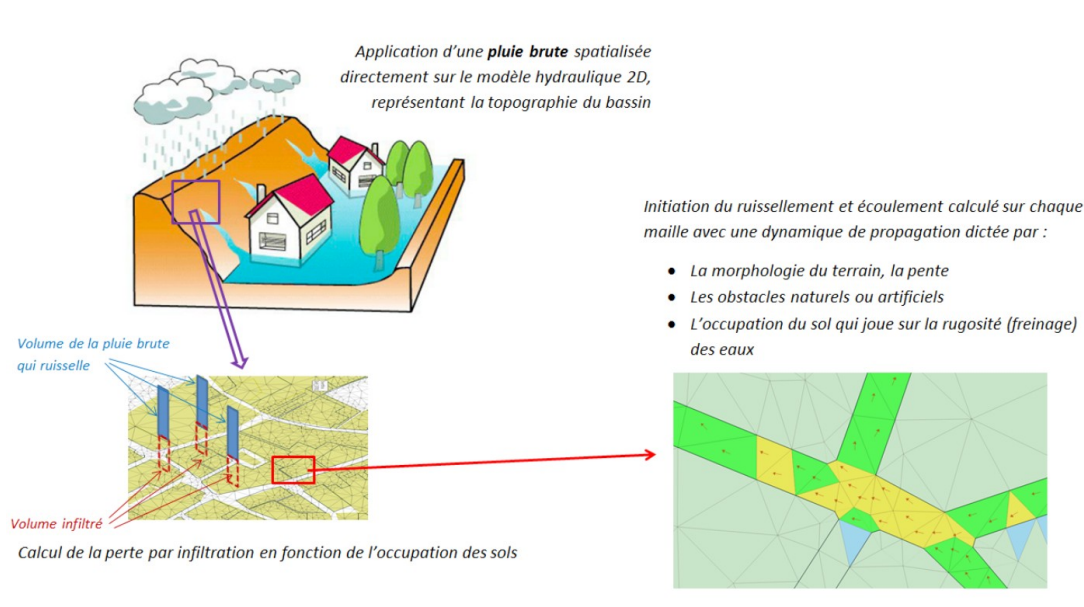


Figure 48: Fonctionnement global de la transformation pluie-ruissellement

5.2.2. Mise en œuvre de l'approche pluie-ruissellement

Dans la mesure où l'approche retenue consiste à faire tomber la pluie directement sur le maillage numérique 2D, le calcul des pertes par infiltration (c'est à dire le passage de la pluie brute à la pluie nette) se fait directement au niveau de chaque maille, en fonction de l'occupation du sol majoritaire de la parcelle à laquelle appartient cette maille.

Le modèle hydrologique utilisé en guise de loi d'infiltration est le modèle à coefficient de ruissellement constant égal à $C_p \times IMP$ où IMP est le taux d'imperméabilisation du bassin versant. Ce modèle est adapté à la modélisation d'événements pluvieux générateurs de ruissellement, à savoir des pluies de type orage qui présentent des durées courtes et de fortes intensités.

5.3. MODÉLISATION DU RUISSELLEMENT – MODÈLE 2D

Le but de la modélisation est de caractériser le ruissellement sur le territoire d'étude et donc le risque auquel est soumis le territoire en cas de survenu de ce type de phénomène. Alors que le risque lié au débordement de cours d'eau se localise logiquement au droit du lit majeur du cours d'eau, en fond de vallée, le risque lié au ruissellement se localise sur les différents versants du territoire étudié. Le phénomène de ruissellement est donc bien à dissocier du phénomène de débordement de cours d'eau.

De ce fait, le modèle hydraulique construit est un modèle bidimensionnel (2D) couvrant l'intégralité des versants du territoire d'étude. Le maillage 2D ainsi construit a pour frontières les limites de bassin versant ainsi que les lignes de berges des cours d'eau : l'eau qui tombe sur le territoire va ainsi ruisseler sur les versants avant de se « perdre » dans les cours d'eau. Le modèle ainsi construit permet bien de caractériser uniquement le risque lié au ruissellement.

Le maillage bidimensionnel étendu a été construit de la même manière que celui construit dans le cadre de l'aléa débordement et présenté au § 4.2.2.

5.4. LE CALAGE DU MODÈLE HYDRAULIQUE DE RUISSELLEMENT

5.4.1. Principes de calage

Une fois le modèle ruissellement construit, il a fallu, comme pour le modèle débordement, le valider, c'est-à-dire vérifier sa capacité à reproduire correctement les écoulements sur le bassin versant de l'Authie. La validation du modèle hydraulique de ruissellement repose sur une vérification de la cohérence globale de son fonctionnement et notamment de sa faculté à reproduire les zones historiquement inondées, sur la base des témoignages passés. 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 de débits dans des axes principaux d'écoulement sont quant à elle très rares voire inexistantes pour de tels phénomènes.

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

- une analyse de la corrélation géographique entre les témoignages d'inondation et les résultats du modèle. Concrètement, il s'agit d'évaluer le nombre de témoignages (ponctuels ou linéaires) qui est bien touché par les eaux dans les résultats de simulation ;
- dans un second temps, il est vérifié au niveau des repères d'inondation réputés fiables ou utilisables que le niveau d'eau moyen simulé à proximité de ces repères est cohérent avec le niveau d'eau historique.

Comme pour le calage du modèle hydraulique de débordement, les témoignages non quantifiés ont simplement été comparés aux emprises inondées par le modèle et la pertinence des points de calage hydraulique est appréciée en fonction de l'écart des résultats du modèle par rapport aux données historiques selon quatre classes.

Zone inondée dans le modèle	Validité du calage
Oui (touché)	Très bonne
Oui (touché partiellement)	Bonne
Non (non inondé)	Moyenne

Figure 49: Appréciation de la validité du calage pour les témoignages non quantifiés

Écart entre niveaux mesuré et calculé	Validité du calage
0 à 15 cm	Très bonne
15 cm à 25 cm	Bonne
25 cm à 50 cm	Moyenne
> 50 cm	Mauvaise

Figure 50: Classes d'écart entre niveaux mesuré et simulé retenues pour le calage du modèle

5.4.2. Événements de calage

Au vue des données historiques récoltées et des données pluviométriques disponibles, les événements suivants ont été retenus pour le calage du modèle hydraulique « ruissellement » :

- mai 2016 ;
- juin 2016 ;
- fin mai 2018.

5.4.2.1. Calage de la crue de mai 2016

Calage hydraulique

Les zones inondées calculées par le modèle ont été confrontées aux témoignages récoltés lors de l'analyse historique pour l'évènement de mai 2016. Aucun repère de crue n'a été reconstitué pour cet évènement lors de l'analyse historique.

Pour mémoire, la figure suivante (extraite de la Phase 1) présente les communes touchées lors de l'évènement de mai 2016 (soit car elles disposent d'un arrêté de catastrophe naturelle, soit car des témoignages ont été recensés sur ces communes).

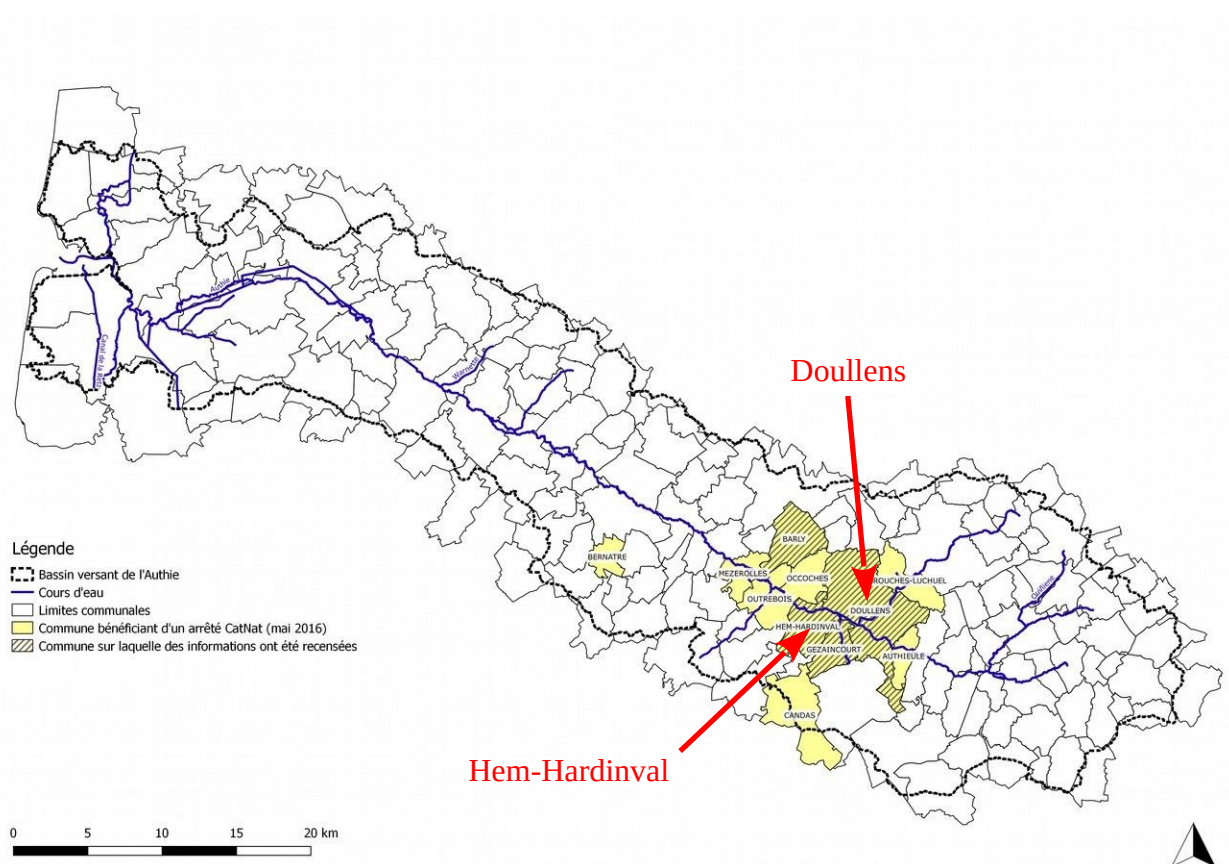


Figure 51: Communes touchées lors de l'évènement de mai 2016 (rappel Phase 1)

Le tableau ci-après synthétise les résultats obtenus.

ID	Commune	Localisation	Observation (mesure/témoignage)	Résultat du modèle (écart en cm / observation)
L_BAR_196_30_05_2016	BARLY	RD196	Rue inondée	Oui (touché partiellement)
P_DOUL_173_30_05_2016	DOULLENS	rue de Rouval	Nutribio touché en 2016	Oui (touché partiellement)
L_DOUL_342_30_05_2016	DOULLENS	chemin de Milly	Rue inondée	Oui (touché)
L_DOUL_346_30_05_2016	DOULLENS	rue Henri Dunant	Rue inondée	Oui (touché)
L_DOUL_350_30_05_2016	DOULLENS	avenue Flandre Dunkerque	Rue inondée	Oui (touché)
S_DOUL_49_30_05_2016	DOULLENS	rue Henri Dunant		Oui (touché)
P_GEZ_39_30_05_2016	GEZAINCOURT	rue du Marais	Habitation inondée	Oui (touché)
S_HEM_9_30_05_2016	HEM-HARDINVAL	rue de Ricquemesnil		Oui (touché)
L_HEM_26_30_05_2016	HEM-HARDINVAL	rue de Longuevillette	Rue inondée	Oui (touché partiellement)
L_HEM_27_30_05_2016	HEM-HARDINVAL	chemin Rural dit aux Cailloux	Rue inondée	Oui (touché)
L_HEM_28_30_05_2016	HEM-HARDINVAL	rue de l'Eglise	Rue inondée	Oui (touché)
L_HEM_29_30_05_2016	HEM-HARDINVAL	rue des Prés	Rue inondée	Oui (touché)
L_HEM_30_30_05_2016	HEM-HARDINVAL	sous le Bois	Axe d'écoulement	Oui (touché partiellement)
L_HEM_31_30_05_2016	HEM-HARDINVAL	vallée de St-Riquier	Axe d'écoulement	Oui (touché partiellement)
L_HEM_32_30_05_2016	HEM-HARDINVAL	vallée de St-Riquier	Axe d'écoulement	Oui (touché)
L_HEM_33_30_05_2016	HEM-HARDINVAL	rue de l'Eglise	Axe d'écoulement	Oui (touché partiellement)
L_HEM_34_30_05_2016	HEM-HARDINVAL	rue des Prés	Axe d'écoulement	Oui (touché partiellement)
P_DOUL_30_07_06_2016	DOULLENS	rue de Rouval	= P_DOUL_173_30_05_2016	Oui (touché partiellement)
S_DOUL_40_07_06_2016	DOULLENS	route d'Albert		Oui (touché)
L_DOUL_343_07_06_2016	DOULLENS	chemin de Milly	= L_DOUL_342_30_05_2016	Oui (touché)
L_DOUL_347_07_06_2016	DOULLENS	rue Henri Dunant	= L_DOUL_346_30_05_2016	Oui (touché)
L_DOUL_351_07_06_2016	DOULLENS	avenue Flandre Dunkerque	= L_DOUL_350_30_05_2016	Oui (touché)
S_DOUL_50_07_06_2016	DOULLENS	rue Henri Dunant	= S_DOUL_49_30_05_2016	Oui (touché)
P_DOUL_34_07_06_2016	DOULLENS	chemin de Milly		Oui (touché)
L_GROU_367_07_06_2016	GROUCHES-LUCHUEL	RN25	Axe d'écoulement	Oui (touché)

Des témoignages relatifs aux inondations par ruissellement, notamment à Doullens, en juin 2016 ont été rajoutés au tableau précédent (en rouge) car ils se rapportent plutôt à l'évènement de mai 2016. Certains secteurs sont d'ailleurs déjà mentionnés dans les témoignages relatifs à l'évènement de mai 2016.

La majorité des témoignages relatifs à l'évènement de mai 2016 se rapporte au phénomène de ruissellement.

Concernant ce phénomène, le modèle reproduit de manière très satisfaisante les mesures et observations historiques :

- 13 témoignages sur 20 sont très bien reproduits par le modèle ;
- 7 témoignages sur 20 sont bien reproduits par le modèle.

Ces différents témoignages sont reportés, pour les communes de Doullens et Hem-HardINVAL, sur les extraits de carte ci-après.

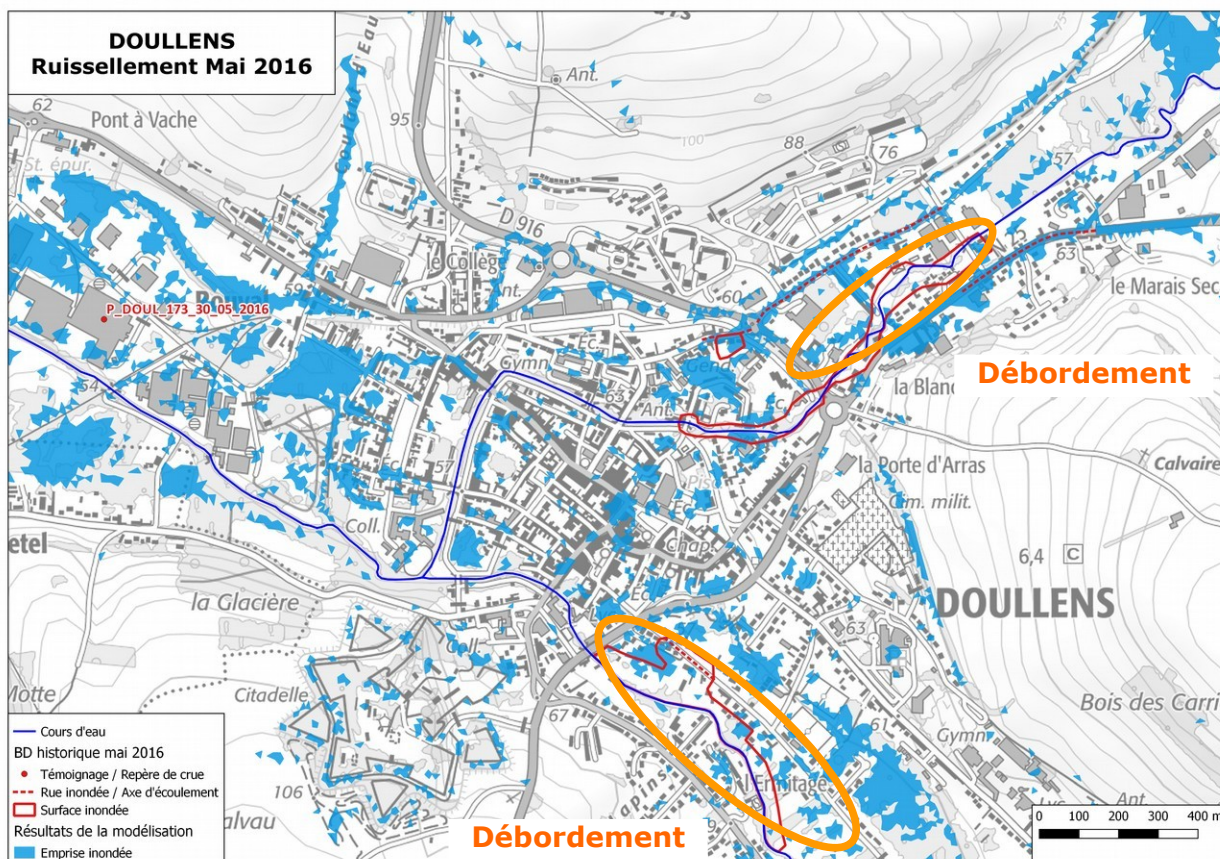


Figure 52: Résultats bruts du modèle ruissellement pour la crue de mai 2016 à Doullens

Les inondations par ruissellement sur le chemin de Milly, le secteur rue Henri Dunant et l'avenue Flandre Dunkerque sont bien représentées par le modèle hydraulique.

Les autres témoignages sur la commune de Doullens concernent le phénomène de débordement, c'est pourquoi ils ne sont pas reproduits ici par le modèle de ruissellement.

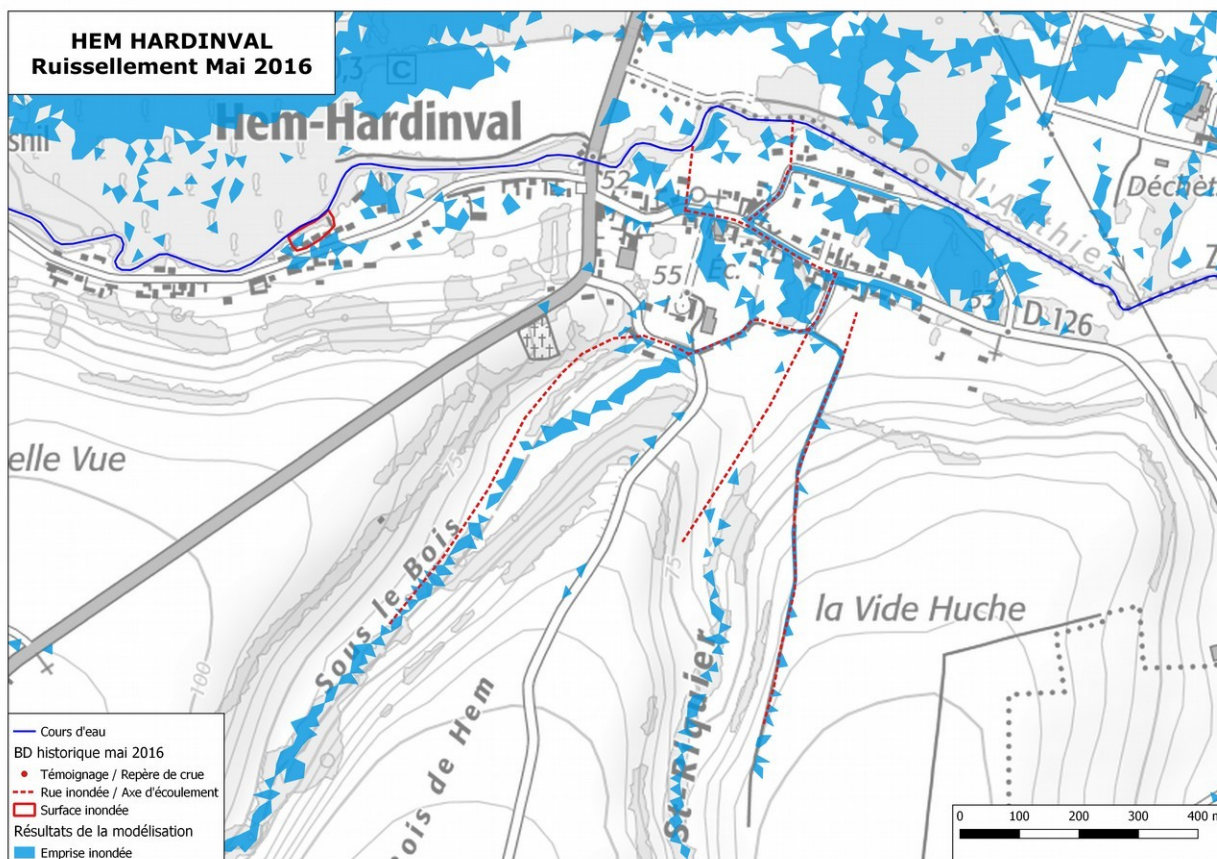


Figure 53: Résultats bruts du modèle ruissellement pour la crue de mai 2016 à Hem-Hardinal

Les inondations par ruissellement (axes d'écoulement et rues inondées) à Hem-Hardinal sont bien représentées par le modèle hydraulique.

5.4.2.2. Calage de la crue de juin 2016

Calage hydraulique

Les niveaux d'eau et zones inondées calculés par le modèle ont été confrontés aux repères de crue reconstitués ainsi qu'aux témoignages récoltés lors de l'analyse historique pour l'événement de juin 2016.

Pour mémoire, la figure suivante (extraite de la Phase 1) présente les communes touchées lors de l'événement de juin 2016 (soit car elles disposent d'un arrêté de catastrophe naturelle, soit car des témoignages ont été recensés sur ces communes).

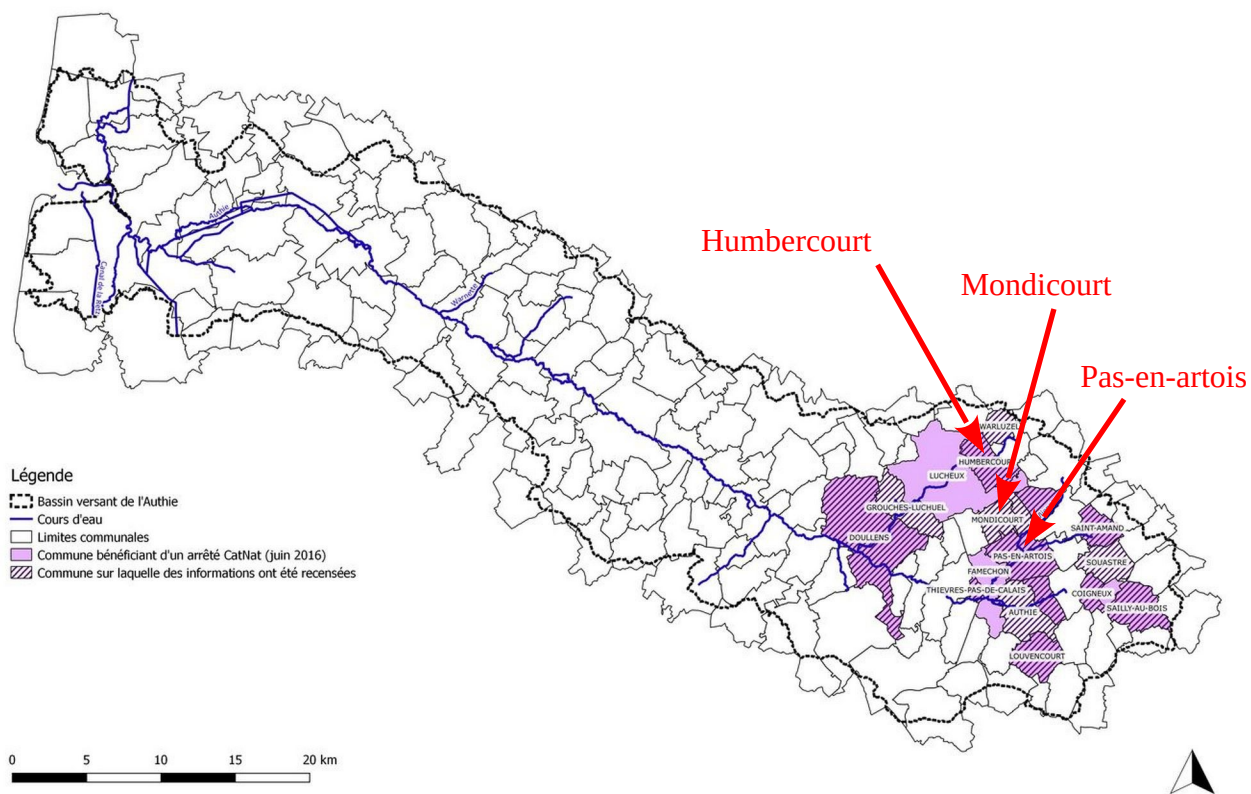


Figure 54: Communes touchées lors de l'évènement de juin 2016 (rappel Phase 1)

Les tableaux ci-après synthétisent les résultats obtenus.

ID	Commune	Localisation	Observation (mesure/témoignage)	Résultat du modèle (écart en cm / observation)
S_AUT1_18_07_06_2016	AUTHIE	face au moulin		Oui (touché)
L_AUT1_464_07_06_2016	AUTHIE	route de Marieux	Rue inondée	Non (non inondé)
L_COI_217_07_06_2016	COIGNEUX	rue de Sailly	Rue inondée	Oui (touché)
L_COI_218_07_06_2016	COIGNEUX	rue de Sailly	Axe d'écoulement	Oui (touché)
P_DOUL_30_07_06_2016	DOULLENS	rue de Rouval	Nutribio touché en 2016	Cf. ruissellement mai 2016
S_DOUL_40_07_06_2016	DOULLENS	route d'Albert		Cf. ruissellement mai 2016
L_DOUL_343_07_06_2016	DOULLENS	chemin de Milly	Rue inondée	Cf. ruissellement mai 2016
L_DOUL_347_07_06_2016	DOULLENS	rue Henri Dunant	Rue inondée	Cf. ruissellement mai 2016
L_DOUL_351_07_06_2016	DOULLENS	avenue Flandre Dunkerque	Rue inondée	Cf. ruissellement mai 2016
S_DOUL_50_07_06_2016	DOULLENS	rue Henri Dunant		Cf. ruissellement mai 2016
P_DOUL_34_07_06_2016	DOULLENS	chemin de Milly		Cf. ruissellement mai 2016
P_GRI_138_07_06_2016	GRINCOURT-LES-PAS	Route Nationale 25 #1	153.07 mNGF	0.19
L_GRI_130_07_06_2016	GRINCOURT-LES-PAS	rue de l'Eglise	Rue inondée	Oui (touché)
L_GRI_129_07_06_2016	GRINCOURT-LES-PAS	rue Principale	Rue inondée	Oui (touché partiellement)
L_GRI_132_07_06_2016	GRINCOURT-LES-PAS	les Longuigneules	Axe d'écoulement	Oui (touché)
L_GRI_133_07_06_2016	GRINCOURT-LES-PAS	rue de Pas	Axe d'écoulement	Oui (touché)
L_GRI_134_07_06_2016	GRINCOURT-LES-PAS	rue de la Bellevue	Axe d'écoulement	Oui (touché)
S_GRI_20_07_06_2016	GRINCOURT-LES-PAS	ravin de l'Equignart		Oui (touché)
S_GRI_21_07_06_2016	GRINCOURT-LES-PAS	rue Principale et rue de l'Eglise		Oui (touché)
L_GROU_367_07_06_2016	GROUCHES-LUCHUEL	RN25	Axe d'écoulement	Cf. ruissellement mai 2016
L_HUMO_333_07_06_2016	HUMBERCOURT	rue de Mondicourt	Rue inondée	Oui (touché partiellement)
L_HUMO_332_07_06_2016	HUMBERCOURT	rue de Lucheux	Rue inondée	Oui (touché)
L_LOU_207_07_06_2016	LOUVENCOURT	Grande Rue	Rue inondée	Oui (touché)
L_LOU_210_07_06_2016	LOUVENCOURT	rue de la Villette	Rue inondée	Oui (touché)
L_LOU_213_07_06_2016	LOUVENCOURT	rue Gactoire	Rue inondée	Oui (touché)
P_MOND_137_07_06_2016	MONDICOURT	Rue de la Barrière #1	147.6 mNGF	0.30
P_MOND_136_07_06_2016	MONDICOURT	Rue de la Barrière #2	147.74 mNGF	0.14
P_MOND_135_07_06_2016	MONDICOURT	Route Nationale 25 #2	157.67 mNGF	-0.22
P_MOND_143_07_06_2016	MONDICOURT	Route Nationale 25 #3	157.77 mNGF	-0.32
P_MOND_142_07_06_2016	MONDICOURT	Route Nationale 25 #4	157.56 mNGF	-0.11
L_MOND_120_07_06_2016	MONDICOURT	en provenance du nord	Axe d'écoulement	Oui (touché partiellement)
L_MOND_121_07_06_2016	MONDICOURT	vers l'ouest	Axe d'écoulement	Non (non inondé)
L_MOND_122_07_06_2016	MONDICOURT	vers l'ouest	Axe d'écoulement	Oui (touché)
L_MOND_123_07_06_2016	MONDICOURT	Bois du Mondhier	Axe d'écoulement	Oui (touché partiellement)
L_MOND_124_07_06_2016	MONDICOURT	RN25	Rue inondée	Oui (touché)
L_MOND_131_07_06_2016	MONDICOURT	ravin de l'Equignart	Axe d'écoulement	Oui (touché)
P_MOND_8_07_06_2016	MONDICOURT	croisement RN25 et RD6	hauteur d'eau indiquée par la commune : 4 m	Oui (touché)
P_MOND_9_07_06_2016	MONDICOURT	rue des Saules	hauteur d'eau indiquée par la commune : 2,1 m	Oui (touché)

ID	Commune	Localisation	Observation (mesure/témoignage)	Résultat du modèle (écart en cm / observation)
P_PAS_141_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	45 rue d'en Bas (Centre de secours) #1	90.18 mNGF	0.10
P_PAS_140_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	Rue d'en Haut (ancien moulin) #1	90.26 mNGF	-0.42
P_PAS_139_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	Rue d'en Haut (ancien moulin) #2	90.28 mNGF	-0.25
P_PAS_134_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	45 Rue d'en Bas (Centre de secours) #2	90.22 mNGF	0.11
P_PAS_133_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	24 Rue d'en bas (mur du bâtiment agricole)	90.43 mNGF	0.20
P_PAS_125_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	1 Ruelle Nuché (portail) #1	90.76 mNGF	0.12
P_PAS_132_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	1 Ruelle Nuché (portillon) #2	91.02 mNGF	-0.24
P_PAS_131_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	2 Rue Delphine (portail à gauche) #1	90.83 mNGF	0.07
P_PAS_130_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	2 Rue Delphine (portail à droite) #2	90.84 mNGF	0.05
P_PAS_129_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	1 bis Rue Basse Boulogne	93.08 mNGF	-0.07
P_PAS_128_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	4 Rue Basse Boulogne #1	92.91 mNGF	0.01
P_PAS_127_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	2 Rue des Fossés (arrière des ateliers municipaux)	93.29 mNGF	-0.07
P_PAS_126_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	11 Rue Basse Boulogne (école La Providence) #1	93.54 mNGF	-0.14
P_PAS_154_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	21/23 Rue Basse Boulogne	93.52 mNGF	-0.08
P_PAS_146_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	12 Rue Basse Boulogne	93.55 mNGF	-0.34
P_PAS_156_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	2 Rue d'en Bas	92.55 mNGF	0.01
P_PAS_145_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	19 Rue d'en Bas	91.4 mNGF	0.14
P_PAS_153_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	1 Grand'Place	93 mNGF	0.05
P_PAS_144_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	5 bis Grand'Place	93.09 mNGF	-0.09
P_PAS_152_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	12 Grand'Place	94.12 mNGF	-1.08
P_PAS_151_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	8 Rue de l'Aumône	93.32 mNGF	0.27
P_PAS_150_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	7 Rue de l'Aumône #1	94.27 mNGF	-0.39
P_PAS_149_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	7 Rue de l'Aumône #2	non levé	non levé
P_PAS_148_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	26 Rue du Châtelet (Collège) #1	95.71 mNGF	-0.12
P_PAS_147_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	26 Rue du Châtelet (Collège) #2	96.07 mNGF	-0.46
P_PAS_158_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	26 Rue du Châtelet (Collège) #3	95.58 mNGF	0.11
P_PAS_157_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	26 Rue du Châtelet (Collège) #4	95.75 mNGF	-0.20
P_PAS_155_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	26 Rue du Châtelet (Collège) #5	95.86 mNGF	-0.05
P_PAS_160_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	26 Rue du Châtelet (Collège) #6	95.81 mNGF	-0.05
P_PAS_165_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	26 Rue du Châtelet (Collège) #7	95.41 mNGF	-0.04
P_PAS_164_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	26 Rue du Châtelet (Collège) #8	95.32 mNGF	-0.28
P_PAS_163_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	17 Rue de l'Aumône #2	non levé	non levé
P_PAS_162_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	4 Rue du Châtelet	non levé	non levé
P_PAS_161_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	4 Rue Basse Boulogne (église) #2	92.84 mNGF	0.08
P_PAS_159_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	11 Rue Basse Boulogne (Pont de la Quilienne) #2	91.62 mNGF	1.63
P_PAS_56_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	Grand Place	93.2 mNGF	-0.20
L_PAS_125_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	rue de Pas	Rue inondée	Oui (touché)
L_PAS_488_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	rue de Gaudiempré	Rue inondée	Oui (touché partiellement)
L_PAS_489_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	rue de Verdun	Rue inondée	Oui (touché)
L_PAS_420_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	rue d'en Bas	Rue inondée	Oui (touché)
L_PAS_421_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	rue Basse Boulogne	Rue inondée	Oui (touché)
L_PAS_422_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	rue du Chatelet	Rue inondée	Oui (touché)
L_PAS_423_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	rue du Onze Novembre	Rue inondée	Oui (touché)
L_PAS_424_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	rue des Eglantines	Rue inondée	Oui (touché)
L_PAS_425_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	voie des Bleuets	Rue inondée	Oui (touché)
L_PAS_426_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	rue du Muguet	Rue inondée	Oui (touché)
L_PAS_435_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	rue de l'Aumône	Rue inondée	Oui (touché)
S_PAS_61_07_06_2016	PAS-EN-ARTOIS	bourg		Oui (touché)

ID	Commune	Localisation	Observation (mesure/témoignage)	Résultat du modèle (écart en cm / observation)
L_SAI_184_07_06_2016	SAILLY-AU-BOIS	rue aux Cailloux	Rue inondée	Oui (touché)
L_STAM_141_07_06_2016	SAINT-AMAND	rue du Four	Rue inondée	Oui (touché partiellement)
L_STLE_114_07_06_2016	SAINT-LEGER-LES-AUTHIE	rue de l'Eglise	Axe d'écoulement	Oui (touché)
L_STLE_115_07_06_2016	SAINT-LEGER-LES-AUTHIE	rue des Prêtres	Axe d'écoulement	Oui (touché partiellement)
L_STLE_119_07_06_2016	SAINT-LEGER-LES-AUTHIE	en provenance du sud	Axe d'écoulement	Non (non inondé)
P_STLE_6_07_06_2016	SAINT-LEGER-LES-AUTHIE	rue des Prêtres	5 cm d'eau indiqué par la commune	Non (non inondé)
L_STLE_108_07_06_2016	SAINT-LEGER-LES-AUTHIE	rue du Bas	Rue inondée	Non (non inondé)
L_SOU_177_07_06_2016	SOUASTRE	rue de Bienvillers au Bois	Rue inondée	Oui (touché)
L_THIP_150_07_06_2016	THIEVRES-PAS-DE-CALAIS	rue Saint-Ladre	Rue inondée	Oui (touché)
L_THIP_151_07_06_2016	THIEVRES-PAS-DE-CALAIS	Grand rue	Rue inondée	Oui (touché partiellement)
L_THIP_152_07_06_2016	THIEVRES-PAS-DE-CALAIS	Grand Rue	Rue inondée	Non (non inondé)
L_THIP_153_07_06_2016	THIEVRES-PAS-DE-CALAIS	rue des Fontaines	Rue inondée	Oui (touché)
S_THIP_23_07_06_2016	THIEVRES-PAS-DE-CALAIS	Grand Rue et rue des Fontaines		Oui (touché partiellement)
P_THIP_13_07_06_2016	THIEVRES-PAS-DE-CALAIS	rue des Fontaines	hauteur d'eau indiquée par la commune : 60 cm d'eau dans le garage	Oui (touché)
L_WARI_135_07_06_2016	WARLINCOURT-LES-PAS	rue de la Bellevue	Axe d'écoulement	Oui (touché partiellement)
L_WARI_136_07_06_2016	WARLINCOURT-LES-PAS	la Couture	Axe d'écoulement	Oui (touché partiellement)
L_WARI_137_07_06_2016	WARLINCOURT-LES-PAS	Fonds Rogez	Axe d'écoulement	Oui (touché partiellement)
L_WARI_138_07_06_2016	WARLINCOURT-LES-PAS	Fonds Rogez	Axe d'écoulement	Oui (touché partiellement)
L_WARI_127_07_06_2016	WARLINCOURT-LES-PAS	rue de l'Eglise	Rue inondée	Oui (touché)
L_WARI_128_07_06_2016	WARLINCOURT-LES-PAS	rue de la Vallée	Rue inondée	Oui (touché)
S_WARU_24_07_06_2016	WARLUZEL	au croisement rue Principale / rue du Bois		Oui (touché)
P_WARU_14_07_06_2016	WARLUZEL	rue Principale	cour de la maison inondée	Oui (touché)

Parmi ces témoignages, plusieurs concernent des secteurs, notamment à Doullens, qui ne semblent pas avoir été inondés par ruissellement en juin 2016 mais plutôt en mai 2016 (Cf. 5.4.2.1).

La majorité des témoignages relatifs à l'événement de juin 2016 se rapporte au phénomène de ruissellement.

Concernant ce phénomène, le modèle reproduit de manière satisfaisante les mesures et observations historiques :

- 22 repères de crue sur 39 sont très bien calés ;
- 7 repères de crue sur 39 sont bien calés ;
- 8 repères de crue sur 39 sont moyennement bien calés ;
- 2 repères de crue sur 39 sont mal calés ;
- 39 témoignages sur 58 sont très bien reproduits par le modèle ;
- 13 témoignages sur 58 sont bien reproduits par le modèle ;
- 6 témoignages sur 58 sont mal reproduits par le modèle.

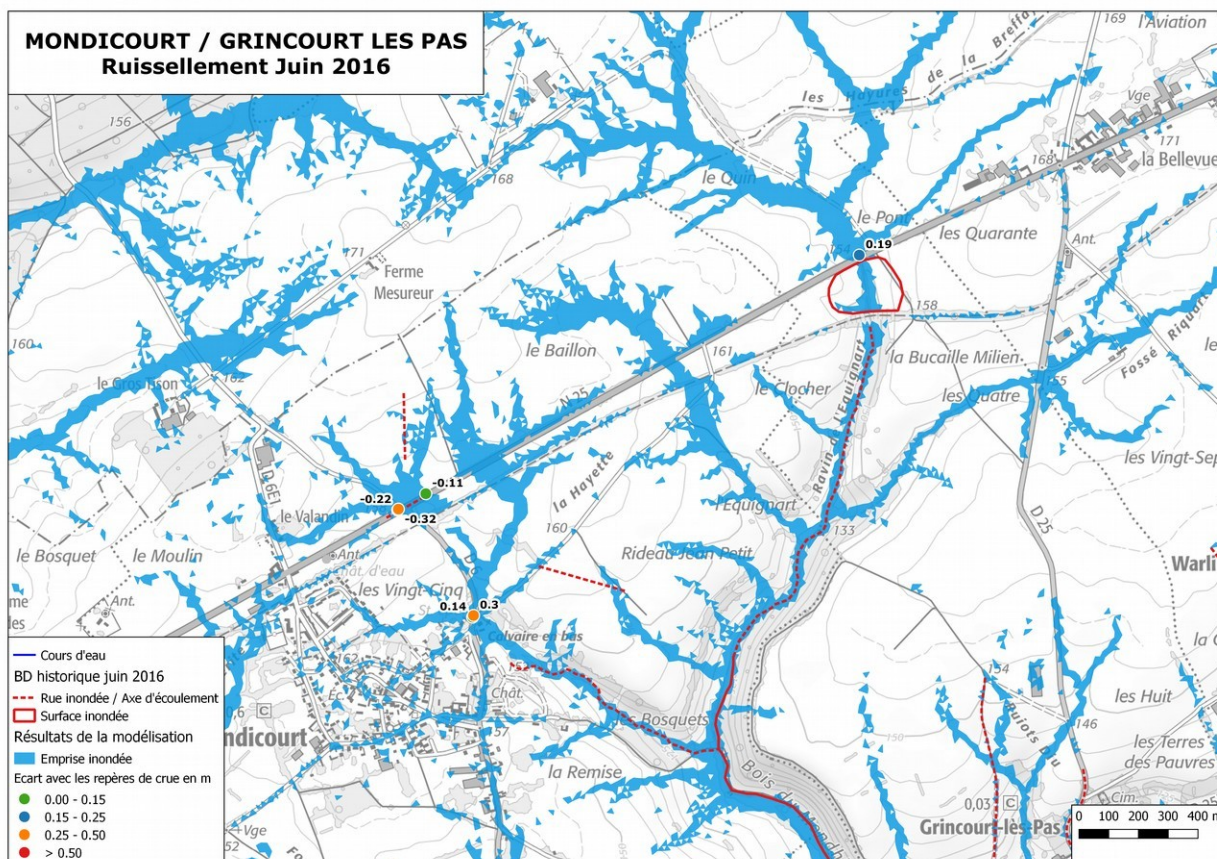


Figure 56: Résultats bruts du modèle ruissellement pour la crue de juin 2016 à Mondicourt / Grincourt-les-Pas

On note une bonne représentation, par le modèle, des inondations par ruissellement (axes d'écoulement et rues inondées) sur le secteur de Mondicourt / Grincourt-les-Pas.

Les hauteurs d'eau calculées sur la RN25 à Mondicourt atteignent 1 m environ.

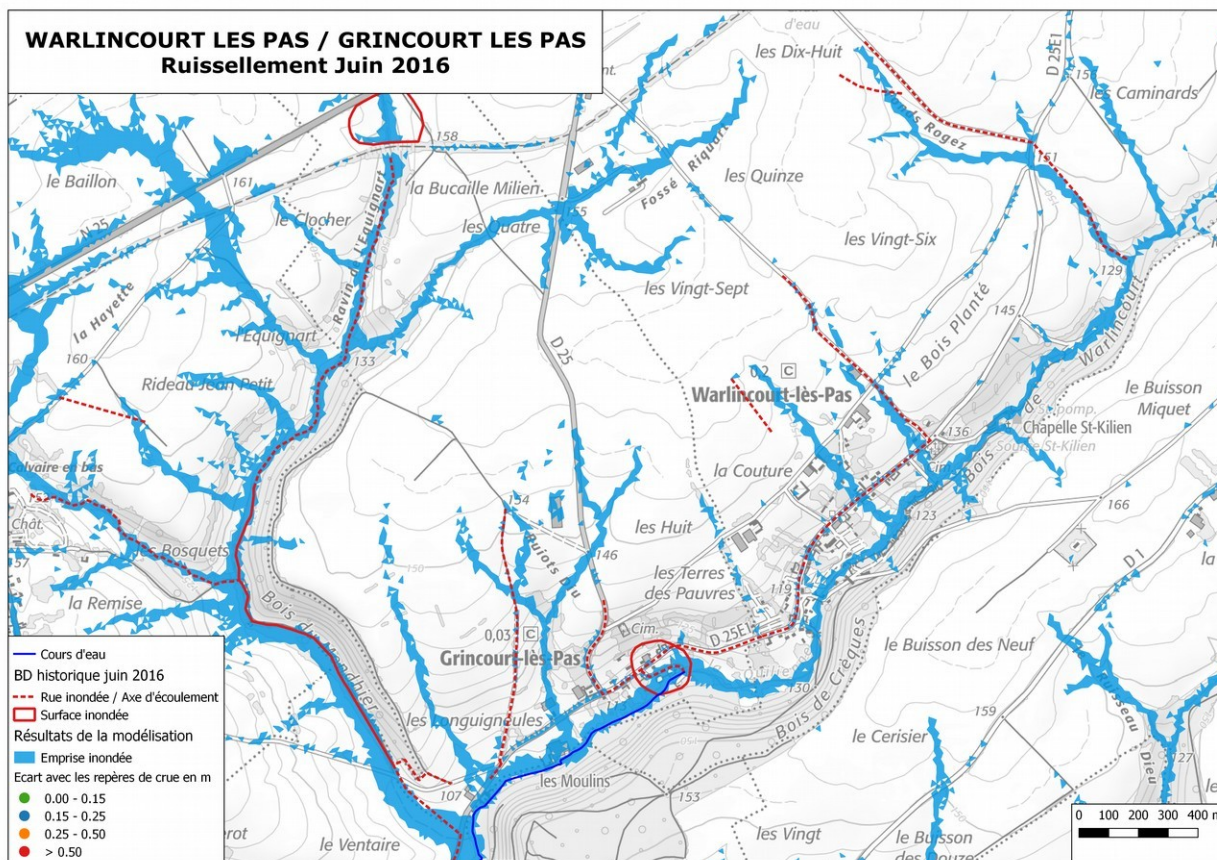


Figure 57: Résultats bruts du modèle ruissellement pour la crue de juin 2016 à Warlincourt-les-Pas / Grincourt-les-Pas

Les inondations par ruissellement (axes d'écoulement et rues inondées) sur le secteur de Warlincourt-les-Pas / Grincourt-les-Pas sont bien représentées par le modèle hydraulique.

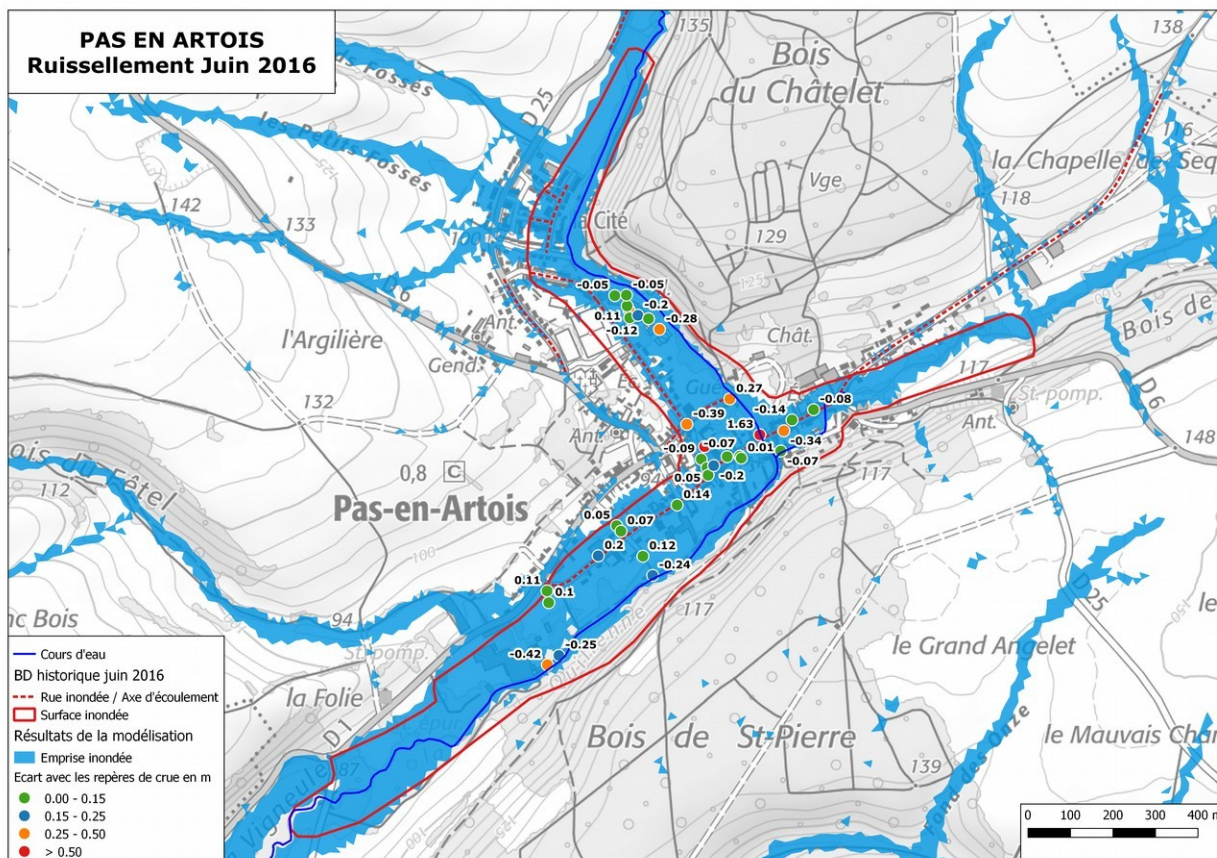


Figure 58: Résultats bruts du modèle ruissellement pour la crue de juin 2016 à Pas-en-Artois - Vue générale

A Pas-en-Artois, qualitativement, le modèle reproduit bien les inondations par ruissellement (zone inondée, axes d'écoulement et rues inondées).

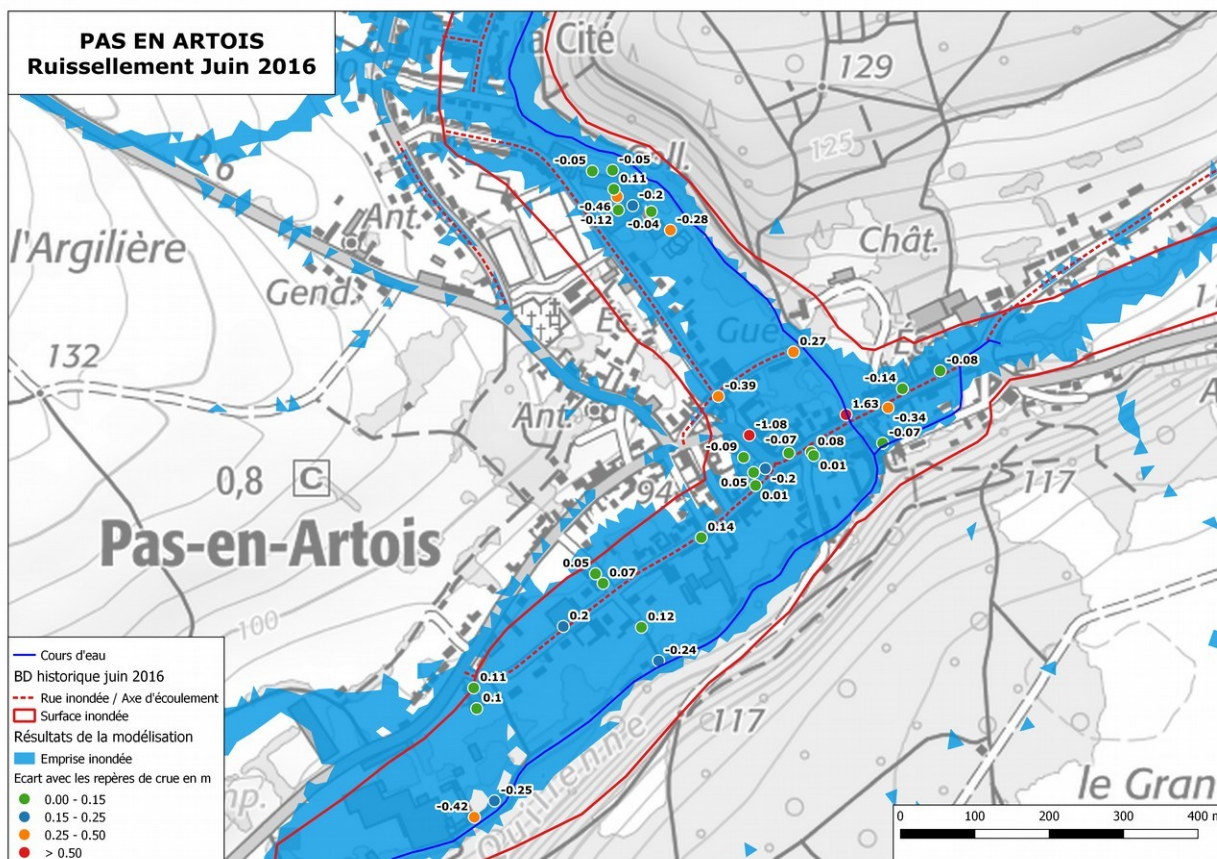


Figure 59: Résultats bruts du modèle ruissellement pour la crue de juin 2016 à Pas-en-Artois - Vue centrée sur le centre-bourg

Quantitativement, les niveaux d'eau au droit des repères de crue sont majoritairement très bien représentés (écart entre la mesure et le calcul inférieur à 15 cm). On observe localement quelques écarts plus grands qui sont soit incohérents avec les repères de crue voisins (problème de référence du repère au niveau du terrain naturel par exemple) soit liés à des comportements hydrauliques locaux pouvant rehausser localement la ligne d'eau.

5.4.2.3. Calage des crues de fin mai 2018

Pour mémoire, la figure suivante (extraite de la Phase 1) présente les communes touchées lors des événements de mai 2018 (soit car elles disposent d'un arrêté de catastrophe naturelle, soit car des témoignages ont été recensés sur ces communes).

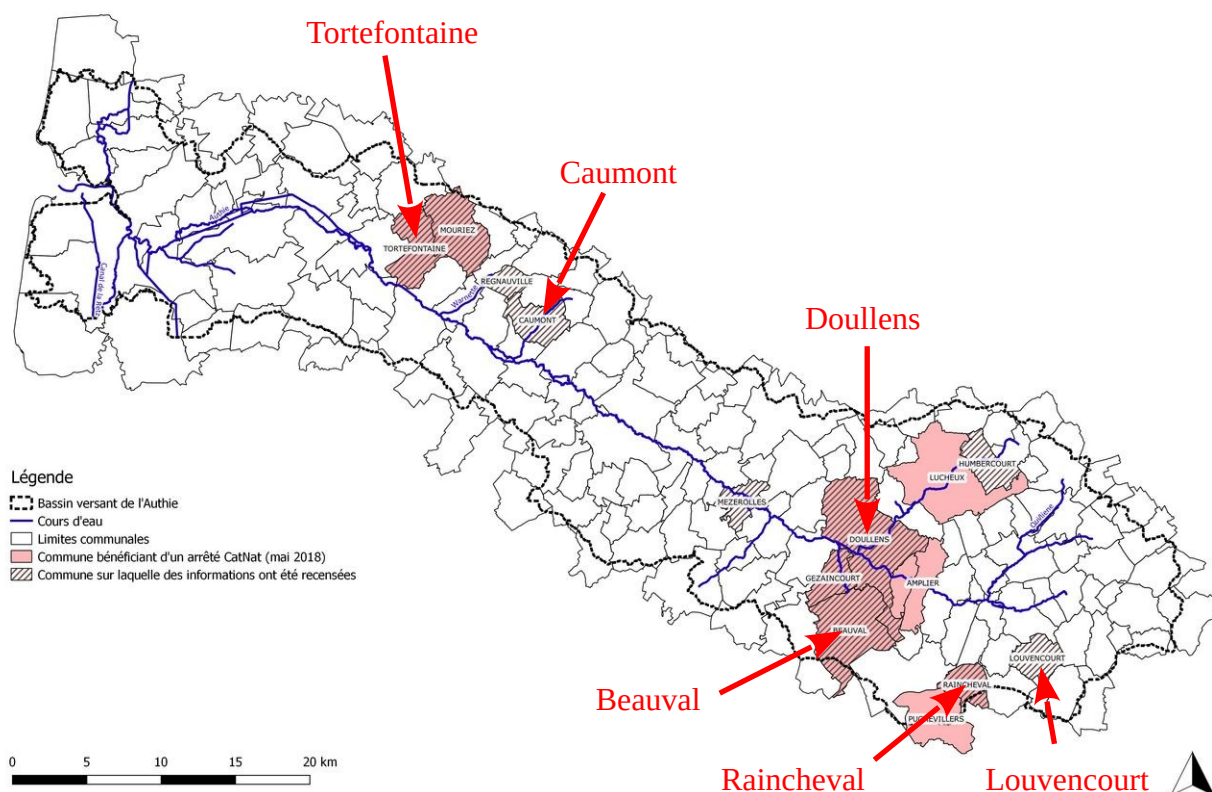


Figure 60: Communes touchées lors des événements de mai 2018 (rappel Phase 1)

Calage hydraulique – 27/28 mai 2018

Les niveaux d'eau et zones inondées calculés par le modèle ont été confrontés aux repères de crue reconstitués ainsi qu'aux témoignages récoltés lors de l'analyse historique pour l'événement du 27/28 mai 2018.

Les tableaux ci-après synthétisent les résultats obtenus.

ID	Commune	Localisation	Observation (mesure/témoignage)	Résultat du modèle (écart en cm / observation)
P_BEAV_45_28_05_2018	BEAUVAL	rue de la Gare	maison inondée (n°22)	Oui (touché)
P_DOUL_31_28_05_2018	DOULLENS	route d'Albert	maison inondée, coulée de boue	Non (non inondé)
P_DOUL_32_28_05_2018	DOULLENS	route d'Albert	maison inondée, coulée de boue	Non (non inondé)
P_DOUL_33_28_05_2018	DOULLENS	route d'Albert	maison inondée, coulée de boue	Non (non inondé)
L_DOUL_358_28_05_2018	DOULLENS	rue de Rouval	Rue inondée	Oui (touché)
L_DOUL_364_28_05_2018	DOULLENS	courant d'eau	Axe d'écoulement	Oui (touché partiellement)
L_DOUL_372_28_05_2018	DOULLENS	rue des Fauvettes	Axe d'écoulement	Non (non inondé)
L_DOUL_373_28_05_2018	DOULLENS	rue des Fauvettes	Axe d'écoulement	Non (non inondé)
P_DOUL_36_28_05_2018	DOULLENS	chemin de Milly	environ 80 cm d'eau le long de l'ancienne voie ferrée	Oui (touché)
S_DOUL_56_28_05_2018	DOULLENS	rue de Rouval		Oui (touché)
L_DOUL_344_28_05_2018	DOULLENS	chemin de Milly	Rue inondée	Oui (touché)
L_DOUL_348_28_05_2018	DOULLENS	rue Henri Dunant	Rue inondée	Oui (touché)
L_DOUL_352_28_05_2018	DOULLENS	avenue Flandre Dunkerque	Rue inondée	Oui (touché)
P_DOUL_35_28_05_2018	DOULLENS	chemin de Milly		Oui (touché)
S_DOUL_51_28_05_2018	DOULLENS	rue Henri Dunant		Oui (touché)
P_GEZ_37_28_05_2018	GEZAINCOURT	chemin Vert	hauteur d'eau de 2 m en amont de la voie ferrée	Oui (touché)
P_GEZ_38_28_05_2018	GEZAINCOURT	rue du Marais	habitation inondée	Oui (touché)
L_RAI_81_28_05_2018	RAINCHEVAL	rue Principale	Rue inondée	Oui (touché)
L_RAI_85_28_05_2018	RAINCHEVAL	rue de Puchevillers	Rue inondée	Oui (touché)
P_RAI_2_28_05_2018_BIS	RAINCHEVAL	école, rue Principale	104 mNGF	0.68
L_HUMO_334_31_05_2018	HUMBERCOURT	rue de Mondicourt	Rue inondée	Oui (touché partiellement)
P_HUMO_21_31_05_2018	HUMBERCOURT	rue de Lucheux	maison touchée en 2018 et une fois il y a longtemps	Non (non inondé)
L_HUMO_328_31_05_2018	HUMBERCOURT	rue du Marais	Rue inondée	Oui (touché)
S_HUMO_38_31_05_2018	HUMBERCOURT	Grand Place		Oui (touché partiellement)

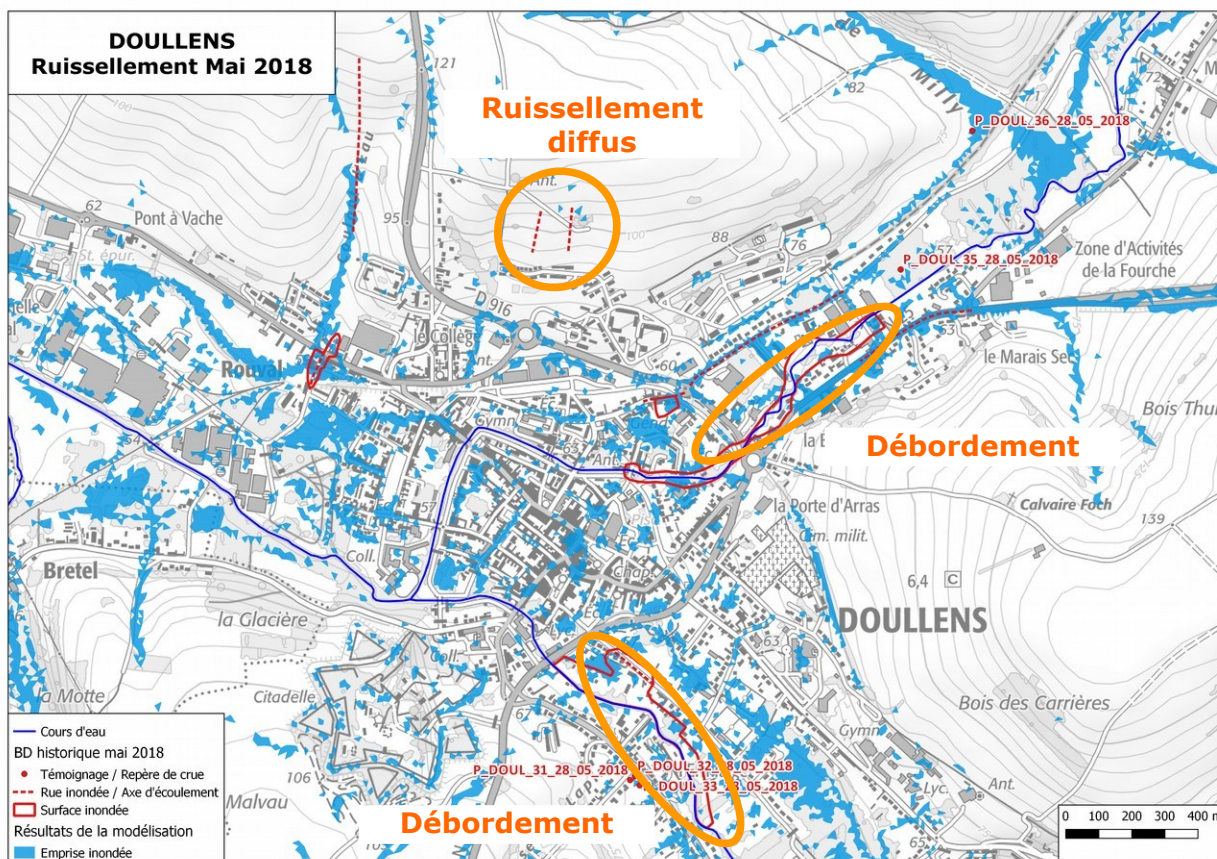
Des témoignages relatifs aux inondations par ruissellement à Humbercourt le 31 mai 2018 ont été rajoutés au tableau précédent (en rouge) car ils se rapportent plutôt à l'évènement du 27/28 mai 2018.

La majorité des témoignages relatifs à l'évènement du 27/28 mai 2018 se rapporte au phénomène de ruissellement.

Concernant ce phénomène, le modèle reproduit de manière satisfaisante les mesures et observations historiques :

- 1 repères de crue sur 1 sont mal calés ;
- 14 témoignages sur 23 sont très bien reproduits par le modèle ;
- 3 témoignages sur 23 sont bien reproduits par le modèle ;
- 6 témoignages sur 23 sont mal reproduits par le modèle.

Ces différents témoignages sont reportés, pour les communes de Doullens et Raincheval, sur les extraits de carte ci-après.



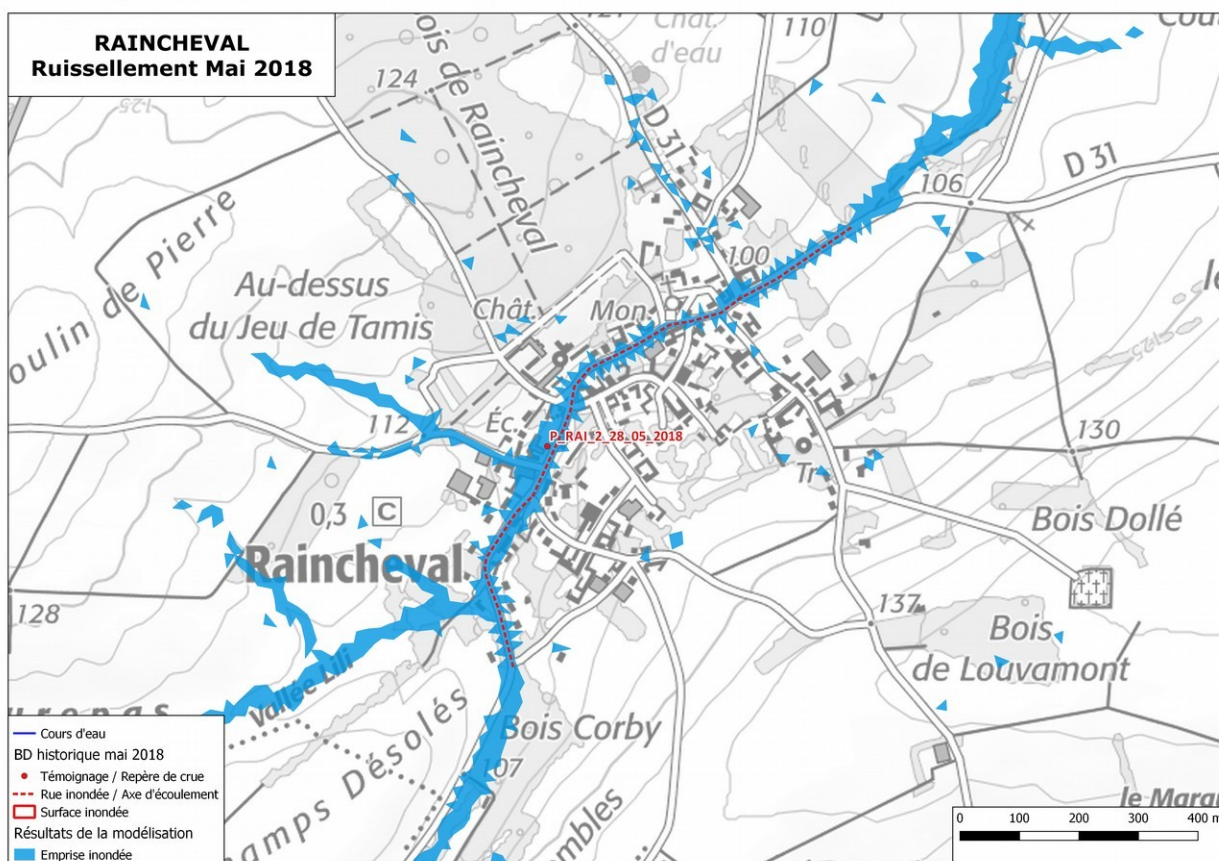


Figure 62: Résultats bruts du modèle ruissellement pour la crue de fin mai 2018 à Raincheval

Les inondations par ruissellement (axes d'écoulement et rues inondées) à Raincheval sont bien représentées par le modèle hydraulique.

Concernant le repère de crue, le niveau d'eau calculé est assez éloigné du niveau d'eau mesuré (écart supérieur à 50 cm). Cependant, les hauteurs d'eau calculée et mesurée sont cohérentes. L'écart sur les niveaux d'eau s'explique par une référence de terrain naturel différente entre le lidar (qui a servi de base à la construction du maillage 2D) et le levé géomètre.

Calage hydraulique – 28/29 mai 2018

Les zones inondées calculées par le modèle ont été confrontées aux témoignages récoltés lors de l'analyse historique pour l'événement du 28/29 mai 2018. Aucun repère de crue n'a été reconstitué pour cet événement lors de l'analyse historique.

Les tableaux ci-après synthétisent les résultats obtenus.

ID	Commune	Localisation	Observation (mesure/témoignage)	Résultat du modèle (écart en cm / observation)
L_CAU_261_29_05_2018	CAUMONT	rue du Pont	Rue inondée	Oui (touché)
L_CAU_265_29_05_2018	CAUMONT	rue Neuve	Rue inondée	Oui (touché)
L_MOU_242_29_05_2018	MOURIEZ	rue Principale	Axe d'écoulement	Oui (touché)
P_REGA_176_29_05_2018	REGNAUVILLE	Grand Rue	voierie et pont touchés	Oui (touché)
L_TOR_239_29_05_2018	TORTEFONTAINE	rue d'Hesdin	Rue inondée	Oui (touché)
L_TOR_241_29_05_2018	TORTEFONTAINE	rue le Bout de Bas	Axe d'écoulement	Oui (touché)
L_TOR_243_29_05_2018	TORTEFONTAINE	ravin Bois du Harel	Axe d'écoulement	Oui (touché)
L_TOR_244_29_05_2018	TORTEFONTAINE	fond Guillaume	Axe d'écoulement	Oui (touché)
L_TOR_245_29_05_2018	TORTEFONTAINE	rue Dans Soleil	Axe d'écoulement	Oui (touché)
L_TOR_246_29_05_2018	TORTEFONTAINE	les Terrettes	Axe d'écoulement	Non (non inondé)
L_TOR_247_29_05_2018	TORTEFONTAINE	la Varnette	Axe d'écoulement	Oui (touché)
L_TOR_248_29_05_2018	TORTEFONTAINE	la Varnette	Axe d'écoulement	Oui (touché)
P_TOR_16_29_05_2018	TORTEFONTAINE	rue le Bout de Bas	maison touchée	Oui (touché partiellement)
S_TOR_25_29_05_2018	TORTEFONTAINE	place de l'Eglise	40 cm d'eau sur la place + église + 1 maison inondées	Oui (touché)
L_LOU_208_31_05_2018	LOUVENCOURT	Grande Rue	Rue inondée	Oui (touché)
L_LOU_211_31_05_2018	LOUVENCOURT	rue de la Villette	Rue inondée	Oui (touché)
L_LOU_214_31_05_2018	LOUVENCOURT	rue Gactoire	Rue inondée	Oui (touché)

Des témoignages relatifs aux inondations par ruissellement à Louvencourt le 31 mai 2018 ont été rajoutés au tableau précédent car ils se rapportent plutôt à l'évènement du 28/29 mai 2018.

Concernant ce phénomène, le modèle reproduit de manière très satisfaisante les mesures et observations historiques :

- 15 témoignages sur 17 sont très bien reproduits par le modèle ;
- 1 témoignage sur 17 est bien reproduit par le modèle ;
- 1 témoignage sur 17 est mal reproduit par le modèle.

Ces différents témoignages sont reportés, pour les communes de Caumont, Tortefontaine et Louvencourt, sur les extraits de carte ci-après.

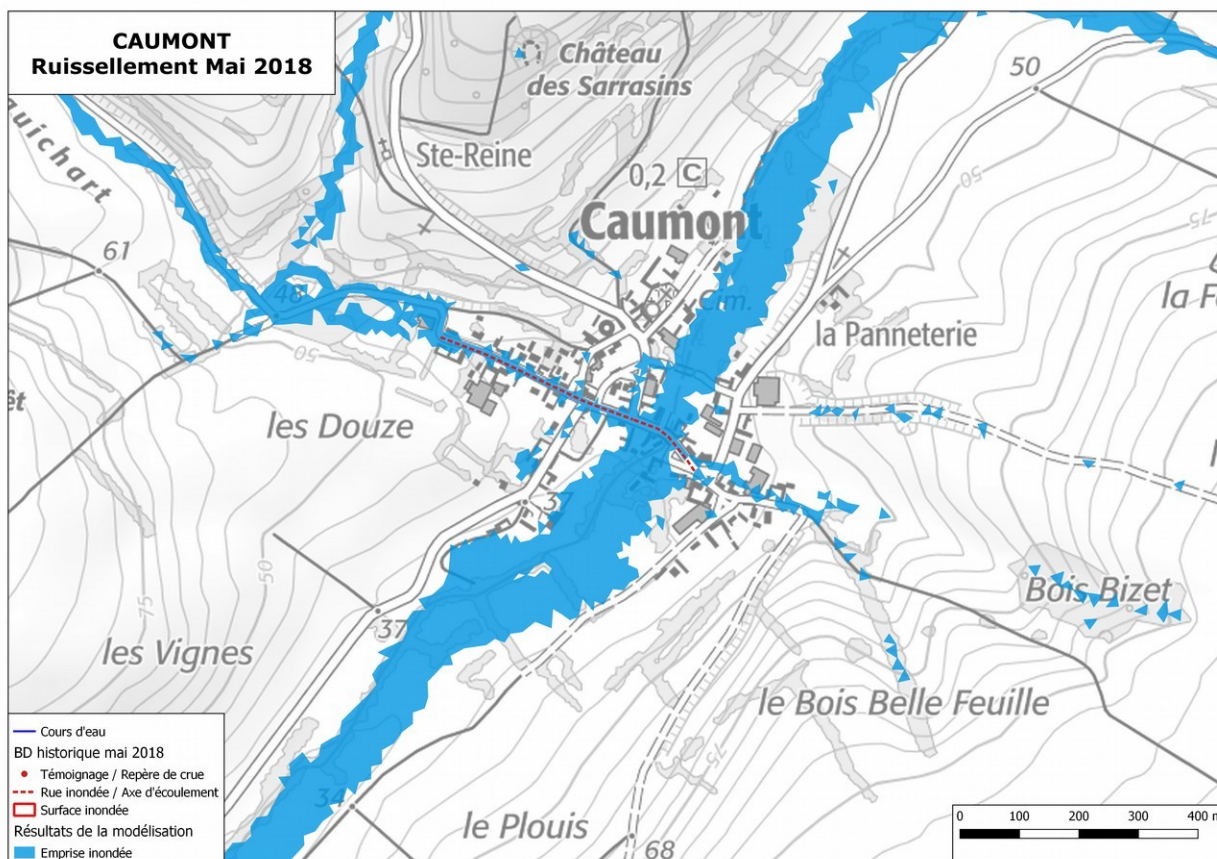


Figure 63: Résultats bruts du modèle ruissellement pour la crue de fin mai 2018 à Caumont

Les inondations par ruissellement (axes d'écoulement et rues inondées) à Caumont sont bien représentées par le modèle hydraulique.

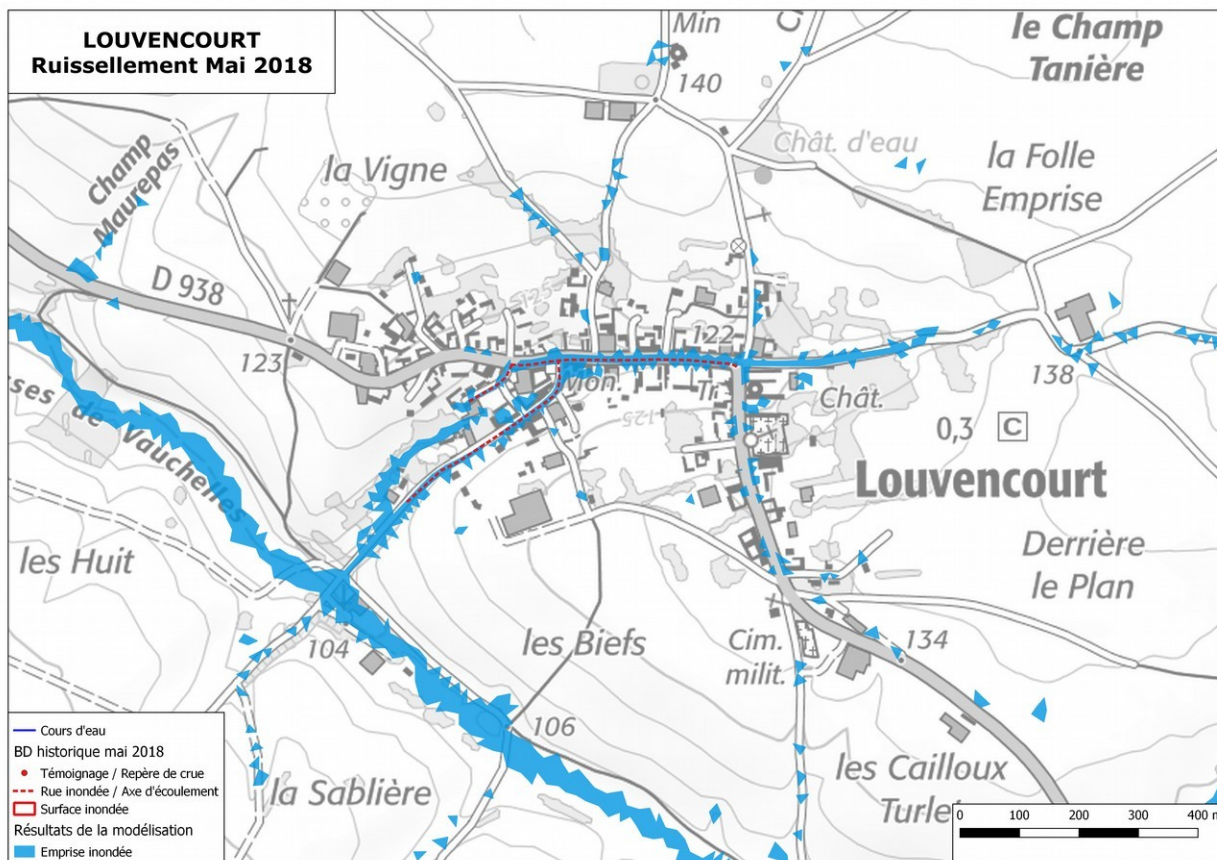


Figure 65: Résultats bruts du modèle ruissellement pour la crue de fin mai 2018 à Louvencourt

On note une bonne cohérence de la modélisation avec les inondations par ruissellement (axes d'écoulement et rues inondées) à Louvencourt pour l'évènement du 28/29 mai 2018.

Calage hydraulique – 31 mai / 1 juin 2018

Les zones inondées calculées par le modèle ont été confrontées aux témoignages récoltés lors de l'analyse historique pour l'événement du 31 mai / 1 juin 2018. Aucun repère de crue n'a été reconstitué pour cet événement lors de l'analyse historique.

Les tableaux ci-après synthétisent les résultats obtenus.

ID	Commune	Localisation	Observation (mesure/témoignage)	Résultat du modèle (écart en cm / observation)
L_BEAV_391_31_05_2018	BEAUVAL	rue Armand Devillers	Rue inondée	Non (non inondé)
L_BEAV_392_31_05_2018	BEAUVAL	RN25	Rue inondée	Oui (touché)
L_BEAV_393_31_05_2018	BEAUVAL	rue de Créqui	Axe d'écoulement	Oui (touché)
L_BEAV_394_31_05_2018	BEAUVAL	rue Minguet	Axe d'écoulement	Oui (touché partiellement)
L_BEAV_395_31_05_2018	BEAUVAL	rue du Château d'eau	Axe d'écoulement	Oui (touché partiellement)
L_BEAV_396_31_05_2018	BEAUVAL	vallée de Milly	Axe d'écoulement	Oui (touché)
L_BEAV_397_31_05_2018	BEAUVAL	rue des Prieurs	Rue inondée	Oui (touché)
L_BEAV_398_31_05_2018	BEAUVAL	rue de la Gare	Rue inondée	Non (non inondé)
L_BEAV_399_31_05_2018	BEAUVAL	Longs Fonds	Axe d'écoulement	Non (non inondé)
L_BEAV_400_31_05_2018	BEAUVAL	Longs Fonds	Axe d'écoulement	Non (non inondé)
L_BEAV_401_31_05_2018	BEAUVAL	Longs Fonds	Axe d'écoulement	Oui (touché)
L_BEAV_402_31_05_2018	BEAUVAL	Longs Fonds	Axe d'écoulement	Non (non inondé)
L_BEAV_403_31_05_2018	BEAUVAL	Longs Fonds	Axe d'écoulement	Non (non inondé)
L_BEAV_404_31_05_2018	BEAUVAL	vallée de Milly	Axe d'écoulement	Non (non inondé)
L_BEAV_405_31_05_2018	BEAUVAL	vallée de Milly	Axe d'écoulement	Oui (touché)
L_BEAV_406_31_05_2018	BEAUVAL	vallée de Milly	Axe d'écoulement	Non (non inondé)
L_BEAV_407_31_05_2018	BEAUVAL	vallée de Milly	Axe d'écoulement	Oui (touché)
L_BEAV_408_31_05_2018	BEAUVAL	ruelle Paquette	Axe d'écoulement	Oui (touché)
P_BEAV_43_31_05_2018	BEAUVAL	RN25	maison inondée	Oui (touché)
P_BEAV_44_31_05_2018	BEAUVAL	rue de la Gare	maison inondée (n°22)	Oui (touché)
P_BEAV_46_31_05_2018	BEAUVAL	rue de la Gare	cabinet médical inondé, 1 m d'eau	Oui (touché)
P_BEAV_47_31_05_2018	BEAUVAL	rue Armand Devillers	usine Saint Frères inondée	Oui (touché partiellement)
P_BEAV_48_31_05_2018	BEAUVAL	rue Armand Devillers	cave coopérative inondée, 50 cm d'eau	Oui (touché)
P_BEAV_49_31_05_2018	BEAUVAL	rue Armand Devillers	habitation inondée, accumulation d'eau jusqu'à rupture du mur	Oui (touché)
P_BEAV_50_31_05_2018	BEAUVAL	rue Armand Devillers	habitation inondée, accumulation d'eau jusqu'à rupture du mur	Oui (touché)
P_BEAV_51_31_05_2018	BEAUVAL	rue Armand Devillers	habitation inondée, accumulation d'eau jusqu'à rupture du mur	Oui (touché partiellement)
P_BEAV_52_31_05_2018	BEAUVAL	vallée du Bois Roy	1 m d'eau sur le chemin	Oui (touché)
L_LOU_208_31_05_2018	LOUVENCOURT	Grande Rue	Rue inondée	Cf. ruissellement 29 mai 2018
L_LOU_211_31_05_2018	LOUVENCOURT	rue de la Villette	Rue inondée	Cf. ruissellement 29 mai 2018
L_LOU_214_31_05_2018	LOUVENCOURT	rue Gactoire	Rue inondée	Cf. ruissellement 29 mai 2018
L_HUMO_334_31_05_2018	HUMBERCOURT	rue de Mondicourt	Rue inondée	Cf. ruissellement 28 mai 2018
P_HUMO_21_31_05_2018	HUMBERCOURT	rue de Luchaux	maison touchée en 2018 et une fois il y a longtemps	Cf. ruissellement 28 mai 2018
L_HUMO_328_31_05_2018	HUMBERCOURT	rue du Marais	Rue inondée	Cf. ruissellement 28 mai 2018
S_HUMO_38_31_05_2018	HUMBERCOURT	Grand Place		Cf. ruissellement 28 mai 2018
L_MEZ_67_31_05_2018	MEZEROLLES	route Nationale	Rue inondée	Oui (touché partiellement)

Parmi ces témoignages, certains concernent des secteurs qui ne semblent pas avoir été inondés par ruissellement le 31 mai 2018 mais plutôt le 27/28 mai 2018 pour les témoignages relatifs à Humbercourt et le 28/29 mai 2018 pour les témoignages relatifs à Louvencourt (Cf. paragraphes précédents).

Concernant ce phénomène, le modèle reproduit de manière satisfaisante les mesures et observations historiques :

- 15 témoignages sur 28 sont très bien reproduits par le modèle ;
- 5 témoignages sur 28 sont bien reproduits par le modèle ;
- 8 témoignages sur 28 sont mal reproduits par le modèle.

Ces différents témoignages sont reportés, pour la commune de Beauval, sur l'extrait de carte ci-après.

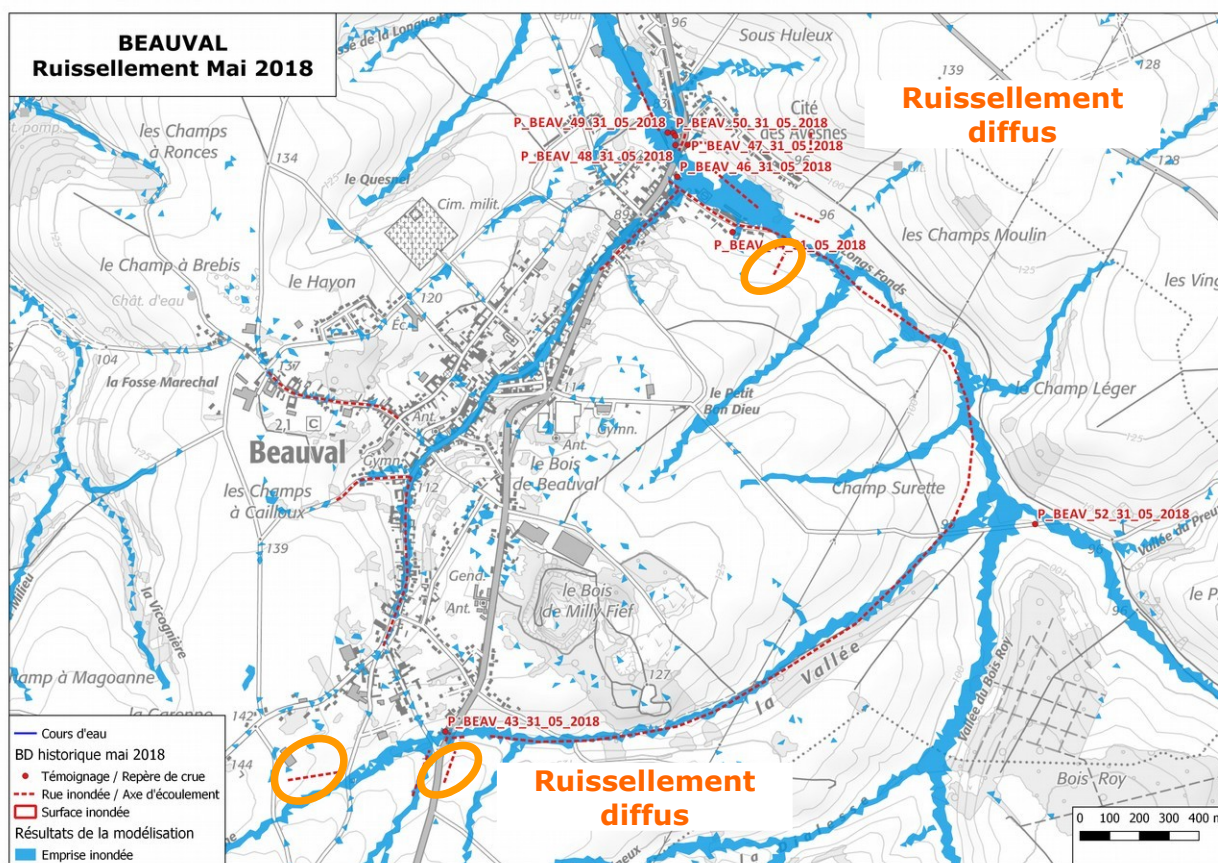


Figure 66: Résultats bruts du modèle ruissellement pour la crue de fin mai 2018 à Beauval

Les inondations par ruissellement (axes d'écoulement et rues inondées) à Beauval sont globalement bien représentées par le modèle hydraulique.

Certains témoignages, comme certains petits axes d'écoulement, qui s'apparentent à du ruissellement plus diffus, ne peuvent pas apparaître sur les résultats bruts du modèle de ruissellement (seules les hauteurs d'eau supérieures à 3 cm sont cartographiées).

Synthèse sur le calage du modèle ruissellement

Les tableaux suivant synthétisent les résultats du calage du modèle ruissellement pour les crues de mai et juin 2016 et mai 2018.

Zone inondée dans le modèle	Validité du calage									
	Mai 2016		Juin 2016		27 mai 2018		28 mai 2018		31 mai 2018	
Oui (touché)	13	65 %	39	67 %	14	61 %	15	88 %	15	54 %
Oui (touché partiellement)	7	35 %	13	23 %	3	13 %	1	6 %	5	18 %
Non (non inondé)	0	0 %	6	10 %	6	26 %	1	6 %	8	28 %
Total	20	100 %	58	100 %	23	100 %	17	100 %	28	100 %

Écart entre niveaux mesuré et calculé	Validité du calage									
	Mai 2016		Juin 2016		27 mai 2018		28 mai 2018		31 mai 2018	
0 à 15 cm	0	/	22	56 %	0	0 %	0	/	0	/
15 cm à 25 cm	0	/	7	18 %	0	0 %	0	/	0	/
25 cm à 50 cm	0	/	8	21 %	0	0 %	0	/	0	/
> 50 cm	0	/	2	5 %	1	100 %	0	/	0	/
Total	0	/	39	100 %	1	100 %	0	/	0	/

Tableau 21: Synthèse du calage du modèle ruissellement

Le modèle hydraulique construit est donc calé de manière satisfaisante. Le fonctionnement hydraulique est bien représenté. Globalement ou localement, les résultats de simulation montrent effectivement que le modèle reproduit les inondations identifiées.

Comme indiqué dans les paragraphes précédents, on observe des écarts sur certains témoignages, comme des petits axes d'écoulement, qui s'apparentent à du ruissellement plus diffus (non cartographié car les hauteurs d'eau ont été filtrées à 3 cm), ou liés à des phénomènes hydrauliques locaux. Ces écarts ne remettent pas en cause le calage du modèle.

5.5. MODÉLISATION DE L'ALÉA RUISSELLEMENT DE RÉFÉRENCE

5.5.1. Sélection de l'évènement de référence pour le risque inondation par ruissellement

5.5.1.1. *Évènements de référence retenus*

De la même manière que pour la problématique de débordement de cours d'eau, l'évènement de référence pour les phénomènes de ruissellement est un événement d'occurrence a minima centennale. La méthode pluie-ruissellement ne vise pas à calculer un débit de crue centennial (terme adapté pour les cours d'eau) mais à caractériser les phénomènes de ruissellement qui se mettent en place quand le bassin versant est soumis à une pluie a minima centennale.

Sur les secteurs de la Quilienne et de la Grouche amont, l'analyse des pluies historiques a mis en évidence un événement pluvieux possédant un caractère centennial ou supérieur, l'évènement du 7 juin 2016. En effet, les cumuls enregistrés par le RADAR PANTHERE au niveau de l'épicentre (plus de 150 mm au total et plus de 80 mm sur 20 min) témoignent d'un phénomène de période de retour largement supérieure à 100 ans d'après les statistiques de la station Météo-France de Saulty.

L'évènement du 7 juin 2016 est donc l'évènement de référence retenu sur les secteurs de la Quilienne et de la Grouche amont.

Sur le reste de l'ensemble du territoire du bassin versant de l'Authie, la pluie retenue est une pluie de type juin 2016 mise à l'échelle centennale sur 2 h à l'aide des statistiques Météo-France de la station de Bernaville, soit un cumul de 50 mm sur cette période. Cette pluie peut être qualifiée de printanière, c'est-à-dire une pluie infra-journalière à tendance orageuse. Elle est appliquée à l'ensemble du territoire d'étude selon l'hypothèse qu'un tel orage pourrait s'abattre sur une zone aléatoire du secteur d'étude (principe de précaution) et pour pouvoir ainsi faire ressortir les différents axes de ruissellement. En effet, retenir comme événement de référence une pluie réelle (en termes de cumul et de répartition spatiale) ne permettrait pas de faire ressortir les axes de ruissellement (en termes de hauteurs et surtout de vitesses) sur l'intégralité du territoire d'étude. Les axes de ruissellement se cumuleront sur une taille de bassin versant allant de quelques km² à plusieurs dizaines de km² selon la taille du sous-bassin versant homogène, ce qui correspond à la taille de la cellule orageuse.

Les conditions antécédentes pluvieuses considérées pour la modélisation de cet événement sont les mêmes que pour le calage de la crue de juin 2016.

Les hyétogrammes associés à ces deux pluies sont présentés sur les figures ci-après.

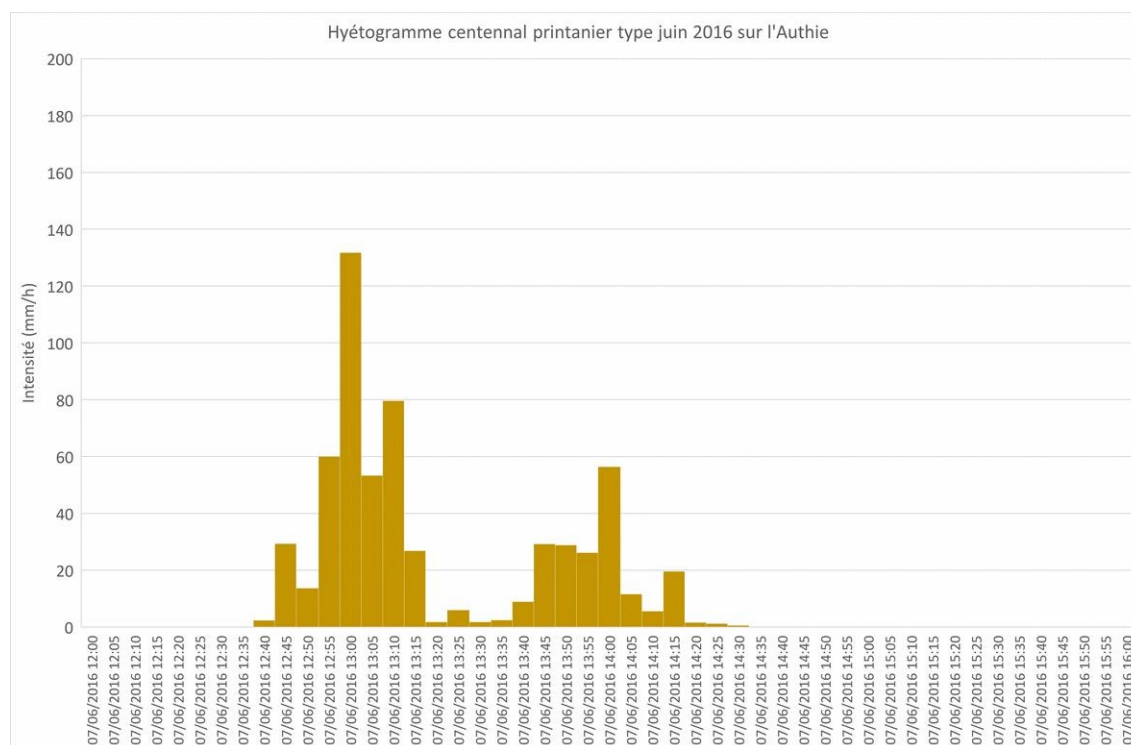


Figure 67: Hyétoqramme centennal printanier

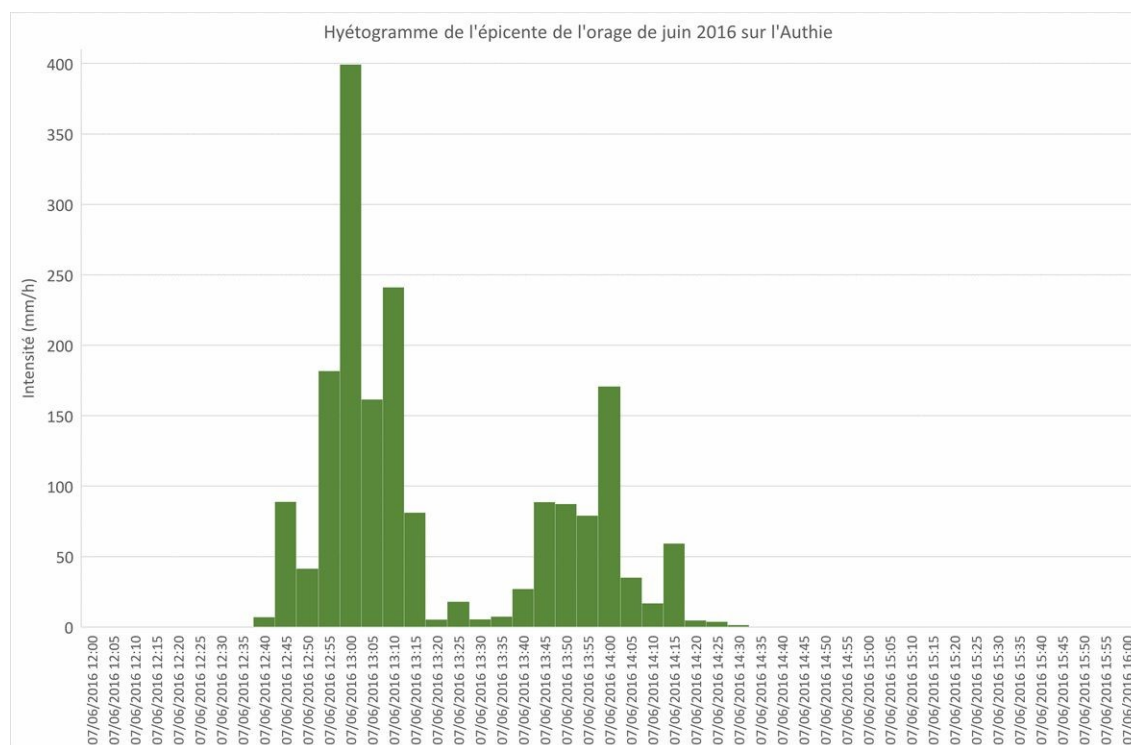


Figure 68: Hyétoqramme de l'épicentre de l'orage du 7 juin 2016 (Source : données RADAR)

5.5.1.2. Résultats de modélisation et validation des hypothèses

Les résultats de modélisation de la pluie centennale printanière ont été comparés aux témoignages recueillis concernant les événements historiques afin de s'assurer que l'hypothèse retenue permet bien de reproduire les axes d'écoulement observés et n'a pas pour effet une maximisation irréaliste de l'aléa, notamment à la confluence de petits thalwegs. Cette comparaison montre que les axes d'écoulement sont majoritairement bien reproduit.

Concernant les résultats de modélisation de l'évènement de juin 2016, ils sont détaillés dans le § 5.4.2.2 qui concerne le calage du modèle ruissellement.

Ces événements ont fait l'objet d'une validation lors du COTEC de Phase 2 qui s'est tenu le 3 mai 2021 et lors du COPIL de Phase 2 qui s'est tenu le 19 mai 2021.

5.5.2. Analyse de la crue de référence

L'ensemble des cartographies produites (Cf. § 6) permet de visualiser l'ampleur de la crue de référence sur les différentes communes concernées par le ruissellement.

Il est à noter que la modélisation de l'aléa ruissellement est une modélisation simplifiée à l'exception des secteurs à enjeux identifiés au § 5.1.2. Ainsi, en dehors des secteurs à

enjeux, les axes de ruissellement correspondent aux vallons topographiques. L'effet de blocage et/ou de déviation par des obstacles (murets, bâtiments, routes, chemins, etc.) n'est donc pas considéré. De plus, les fossés ne sont pas considérés mais ils ont un effet très local et n'ont pas d'influence significative sur un orage centennal.

6. EXPLOITATION DES RÉSULTATS ET RENDU CARTOGRAPHIQUE

6.1. DÉFINITION DES ALÉAS

La modélisation des événements de référence, débordement de cours d'eau et 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, le 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 3 classes :
 - inférieures à 0,2 m/s, faibles vitesses d'écoulement ;
 - comprises entre 0,2 et 0,5 m/s, vitesses d'écoulement moyennes ;
 - supérieures à 0,5 m/s, fortes vitesses d'écoulement.
- la vitesse de montée des eaux, divisées en 2 classes :
 - lente ;
 - rapide.

La vitesse de montée des eaux, lorsqu'elle est rapide, vient majorer le niveau de la dynamique.

La grille de dynamique de crue retenue dans le cadre de l'étude est présentée ci-dessous.

	Vitesse de montée des eaux lente	Vitesse de montée des eaux rapide
Vitesse d'écoulement < 0.2 m/s	Dynamique lente	Dynamique moyenne
0.2 < Vitesse d'écoulement < 0.5 m/s	Dynamique moyenne	Dynamique rapide
Vitesse d'écoulement > 0,5 m/s	Dynamique rapide	Dynamique rapide

Tableau 22: Grille de dynamique de crue

Dans le lit majeur de l'Authie, la vitesse moyenne de montée des eaux est majoritairement lente :

- inférieure à 5 cm/h sur 90 % des mailles en eau ;
- inférieure à 10 cm/h sur 98 % des mailles en eau.

Quelques valeurs plus élevées (10 à 20 cm/h) sont observées très localement, notamment au niveau du remplissage de certaines cuvettes en zone de marais.

A l'aval de l'Authie, l'hydrogramme de crue est écrêté et étalé, il n'y a donc pas de survitesses à l'arrière les endiguements.

En comparaison, sur les bassins versants voisins du Boulonnais (Liane et Wimereux), la vitesse de montée des eaux est plus élevée (supérieure à 10 cm/h sur 40 % des valeurs) et on observe des zones très étendues (sur plusieurs kilomètres) où la vitesse de montée des eaux se situe entre 10 et 20 cm/h, voire entre 20 et 30 cm/h. Ces valeurs vont dans le sens de la rapidité des crues sur le Boulonnais à l'échelle du bassin Artois-Picardie.

Sur la Lawe, le constat est similaire, avec des vitesses de montée des eaux moins élevées que celles observées sur le Boulonnais. La vitesse de montée des eaux est supérieure à 10 cm/h sur 13 % des valeurs, mais avec une vitesse de montée des eaux très élevée à l'arrière des endiguements à Bruay-la-Buissière (entre 30 et 40 cm/h en moyenne, entre 50 et 60 cm/h localement).

La vitesse de montée des eaux peut donc être qualifiée de lente sur l'Authie.

La figure ci-après illustre l'impact du couplage des paramètres hauteurs/vitesses sur les possibilités de déplacement des personnes en fonction de leur âge.

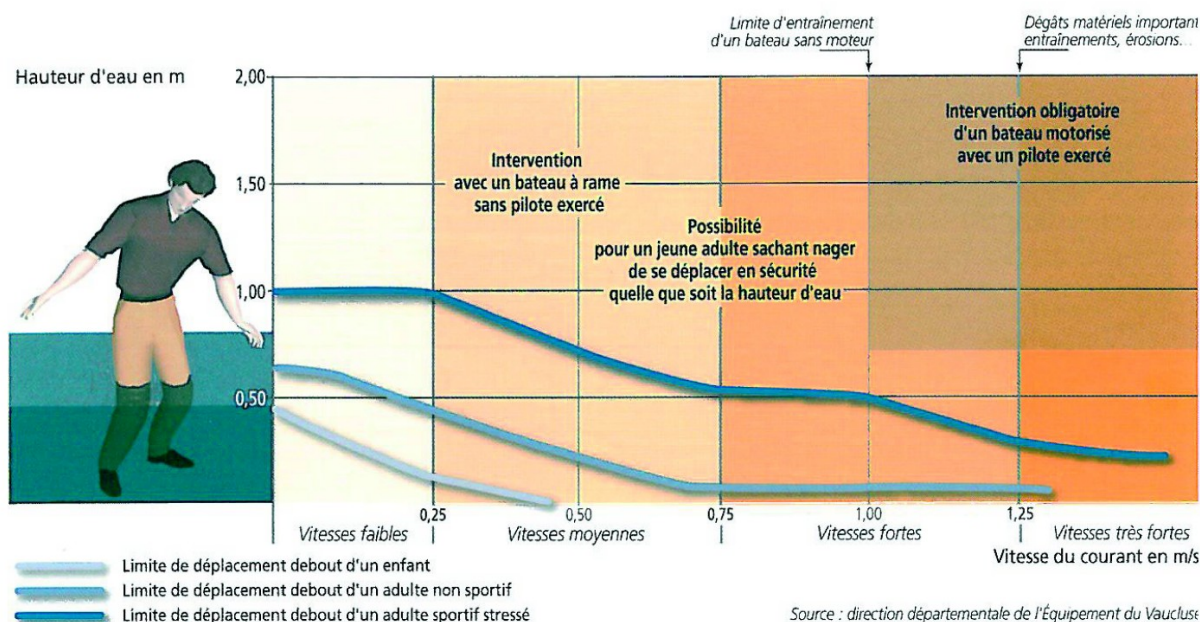


Figure 69: Possibilités de déplacement des personnes en fonction de la hauteur d'eau et de la vitesse d'écoulement (source : DDT Vaucluse)

La grille d'aléa retenue est une grille d'aléa fonctionnel. Cette grille d'aléa ne qualifie pas le risque en termes de gravité (« aléa classique » faible, moyen ou fort) mais plutôt en termes de fonctionnement hydraulique et de phénomènes prépondérants entre l'écoulement, l'accumulation voire les deux en même temps, pour une meilleure compréhension globale et une meilleure lecture des cartes. Elle permet ainsi de caractériser le débordement de cours d'eau et le 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 23: Grille d'aléa

Cette grille d'aléa a fait l'objet d'une validation lors du COPIL de Phase 2 qui s'est tenue le 19 mai 2021. Pour mémoire, cette grille a également été retenue dans le cadre des différents PPRI en cours dans le Pas-de-Calais, en accord avec la DDTM62 et les différents comités techniques de suivi.

La grille d'aléa retenue 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 24: Grille d'aléa définie dans l'arrêté du 5 juillet 2019

6.2. MÉTHODOLOGIE D'ÉLABORATION DES CARTES

6.2.1. Création des contours de hauteurs et vitesses

Les résultats bruts extraits d'ICM sont traités à l'aide des logiciels SIG GrassGIS, QGIS et ArcGIS 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 niveau des mailles 2D du modèle mais aussi ceux calculés par le modèle au niveau des profils en travers. Cela permet de cartographier l'intégralité de l'emprise inondable.

Un travail de nettoyage et de lissage des couches SIG produites est réalisé, afin de restreindre le poids des fichiers géomatiques produits en sortie et de conserver uniquement les informations pertinentes portées par les couches SIG.

En particulier, pour la problématique ruissellement, la pluie est appliquée sur tout le territoire. En termes de cartographie, cela se manifeste par la création de multiples zones inondées de petite taille (cuvettes) qui nuisent à la lecture globale de la carte et qui ne représentent pas réellement un risque à l'échelle du territoire.

Cette problématique, rencontrée dans le cadre de l'élaboration de PPRI ruissellement dans les Hauts de France, conduit à définir plusieurs critères de filtrage des résultats de modélisation :

- un critère de hauteur d'eau minimum pour filtrer les zones non significatives : un seuil de 1 cm de hauteur a été retenu ;
- 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 : un seuil de 1000 m² a été retenu (suppression des surfaces inondées isolées de superficies inférieures à 1000 m²).

De même, pour le débordement, les petits polygones de surfaces inférieures à 300 m² sont fusionnés avec les polygones voisins pour la cartographie de l'aléa inondation.

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

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

Plusieurs modèles hydrologiques et hydrauliques, deux pour le débordement et six pour le ruissellement, ont été construits pour caractériser au mieux les phénomènes de débordement de cours d'eau et de ruissellement. Un scénario a alors été défini pour chacun de ces phénomènes afin de caractériser les aléas débordement et ruissellement :

- modélisation d'un évènement centennal hivernal pour le débordement ;
- modélisation d'un évènement centennal printanier et modélisation de l'épisode de juin 2016 pour le ruissellement.

Le scénario de référence, permettant ainsi de cartographier l'aléa de référence synthèse des phénomènes étudiés, résulte alors de la fusion des résultats de modélisation des différents modèles. En cas de superposition des résultats, l'aléa le plus pénalisant entre débordement et ruissellement a été retenu selon la hiérarchie présentée ci-dessous.

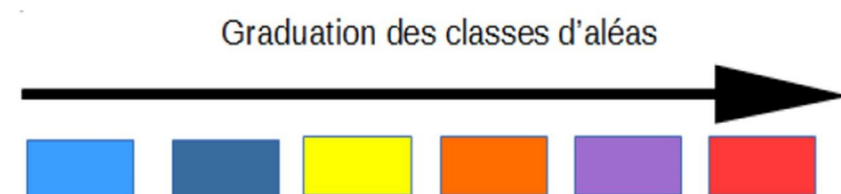


Figure 70: Hiérarchie des classes d'aléa considérées en termes de gravité

6.2.3. Format des rendus et exemples

Les cartographies suivantes sont produites :

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

Deux formats de rendu sont disponibles pour la cartographie de l'aléa de référence :

- au 1/5 000^e, à l'échelle communale, sur fond cadastral (format des cartes A0) ;
- au 1/25 000^e, à l'échelle du bassin versant, sur fond SCAN 25.