



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 L2.1 : MÉTHODE DE DÉTERMINATION DE L'ALÉA DE RÉFÉRENCE

Affaire n° : 19-454-01			
Version	Date	Rédigé par	Vérifié par
0	06/03/2020	JUC	FAD
0.1	17/07/2020	JUC	FAD
0.2	23/09/2020	JUC	FAD
Remarques :			

PROLOG

INGENIERIE

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.....	3
1.1. Contexte et objet de l'étude.....	3
1.2. Objectifs.....	3
1.3. Contenu du livrable.....	4
1.4. Synthèses-conclusions.....	4
2. Données sources utilisées pour l'étude et hypothèses de travail.....	6
2.1. Études antérieures.....	6
2.2. Données cartographiques.....	6
2.3. Version des logiciels utilisés.....	6
3. Analyse hydrologique.....	7
3.1. Données disponibles.....	7
3.1.1. Données pluviométriques.....	7
3.1.2. Données hydrométriques et limnimétriques.....	12
3.2. Analyse des événements pluvieux.....	13
3.2.1. Analyse des principaux événements et principaux enseignements hydrologiques.....	13
3.2.2. Sélection des événements de référence.....	30
3.3. Analyse des données.....	30
3.3.1. Comparaison données RADAR et postes pluviométriques terrestres.....	30
3.3.2. Analyse statistique des débits à la station de Dompierre-sur-Authie.....	36
4. Modélisation de l'aléa débordement de cours d'eau.....	37
4.1. Approche pluie-débit à l'échelle du bassin versant.....	37
4.1.1. Mise en œuvre de la modélisation pluie-débit.....	38
4.1.1.1. Les principes théoriques de l'approche.....	38
4.1.1.2. Découpage du territoire en sous-bassins versants.....	38
4.1.1.3. Choix de la fonction de production.....	39
4.1.1.4. Choix de la fonction de transfert.....	39
4.1.2. Mise en œuvre opérationnelle de l'approche pluie-débit.....	40
4.1.2.1. Exploitation des données pluviométriques.....	40
4.1.2.2. Génération des hydrogrammes.....	40
4.2. Modélisation de l'aléa débordement.....	41
4.2.1. Principe général de la modélisation 1D-2D.....	41
4.2.2. Modélisation des écoulements de l'Authie et de ses affluents.....	43
4.2.2.1. Modélisation 1D / 2D des écoulements.....	43
4.2.2.2. Conditions aux limites.....	46
4.2.3. Prise en compte des interactions avec la nappe.....	46
4.2.4. Le calage du modèle hydraulique.....	46
5. Modélisation de l'aléa ruissellement.....	48
5.1. Spécificité du ruissellement et territoire d'étude.....	48
5.2. Transformation pluie-ruissellement.....	49
5.3. Modélisation de l'aléa ruissellement.....	50
5.3.1. Modèle 2D.....	50
5.3.2. Calage du modèle hydraulique de ruissellement.....	50
6. Exploitation des résultats et rendu cartographique.....	52
6.1. Définition des aléas.....	52
6.2. Méthodologie d'élaboration des cartes.....	55
6.2.1. Création des contours de hauteurs et vitesses.....	55
6.2.2. Zones de recouvrement entre aléa débordement de cours d'eau et aléa ruissellement.....	56
6.2.3. Format des rendus et exemples.....	56

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 L2.1 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 double. Il s'agit d'une part de faire une première analyse hydrologique du secteur d'étude et, d'autre part, de définir la méthodologie qui sera mise en place au cours de la phase 2 pour caractériser l'aléa de référence. L'enjeu est de disposer d'une méthode qui permette d'une part de caractériser l'ensemble des phénomènes, et d'autre part de les cartographier de manière homogène en phase 3.

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 description de la méthodologie envisagée pour modéliser les écoulements sur le bassin versant de l'Authie dans le cas du débordement de cours d'eau. Seront alors détaillés le modèle hydrologique envisagé ainsi que les principes de construction du modèle hydraulique de représentation des lits mineur et majeur ;
- la cinquième partie quant à elle présente la méthodologie envisagée pour 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 vitesses maximales, envisagée 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.

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

Le débordement de cours d'eau sera 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/D pour la partie hydraulique. Au vue des données historiques récoltées et des données pluviométriques, hydrométriques et limnimétriques disponibles, les événements de mars 2001, mai et juin 2016 seront retenus pour le calage du modèle « débordement ». Une fois calé et validé, ce dernier pourra être exploité pour simuler l'aléa de référence.

Afin de pouvoir cartographier de manière homogène les aléas débordement et ruissellement, l'aléa ruissellement sera 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 sera 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. Le modèle sera calé à partir des informations récoltées pour les événements historiques de mai et juin 2016 et de mai 2018.

Les résultats bruts de modélisation seront traités à l'aide du logiciel SIG GrassGIS 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 sera réalisé, afin de restreindre le poids des fichiers géomatiques produits en sortie et de conserver uniquement les informations pertinentes portées par les couches SIG.

Les cartographies suivantes seront produites (à la fois pour les problématiques débordement de cours d'eau et ruissellement sachant que pour les communes impactées par les deux phénomènes , elles seront représentées sur une seule et même carte) :

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



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

2.1. ÉTUDES ANTÉRIEURES

La liste des études antérieures collectés et utilisés 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 permettra 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 :

PROLOG INGÉNIERIE

Étude d'opportunité pour la réalisation d'un PPRi de la vallée de l'Authie – Phase 2
- Livrable L2.1 : Méthode de détermination de l'aléa de référence -

R19-454-01_L2-1_v02.odt

09/2020

Localisation station	Id station	Type station / État	Type données	Période des données			
				1999	2000-2001	2016	2018
SAULTY	62784001	1 Ouvvert	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 Ouvvert	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 Ouvvert	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 Ouvvert	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 Ouvvert	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 Ouvvert	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

PROLOG INGÉNIERIE

Étude d'opportunité pour la réalisation d'un PPRi de la vallée de l'Authie – Phase 2
- Livrable L2.1 : Méthode de détermination de l'aléa de référence -

R19-454-01_L2-1_v02.odt

09/2020

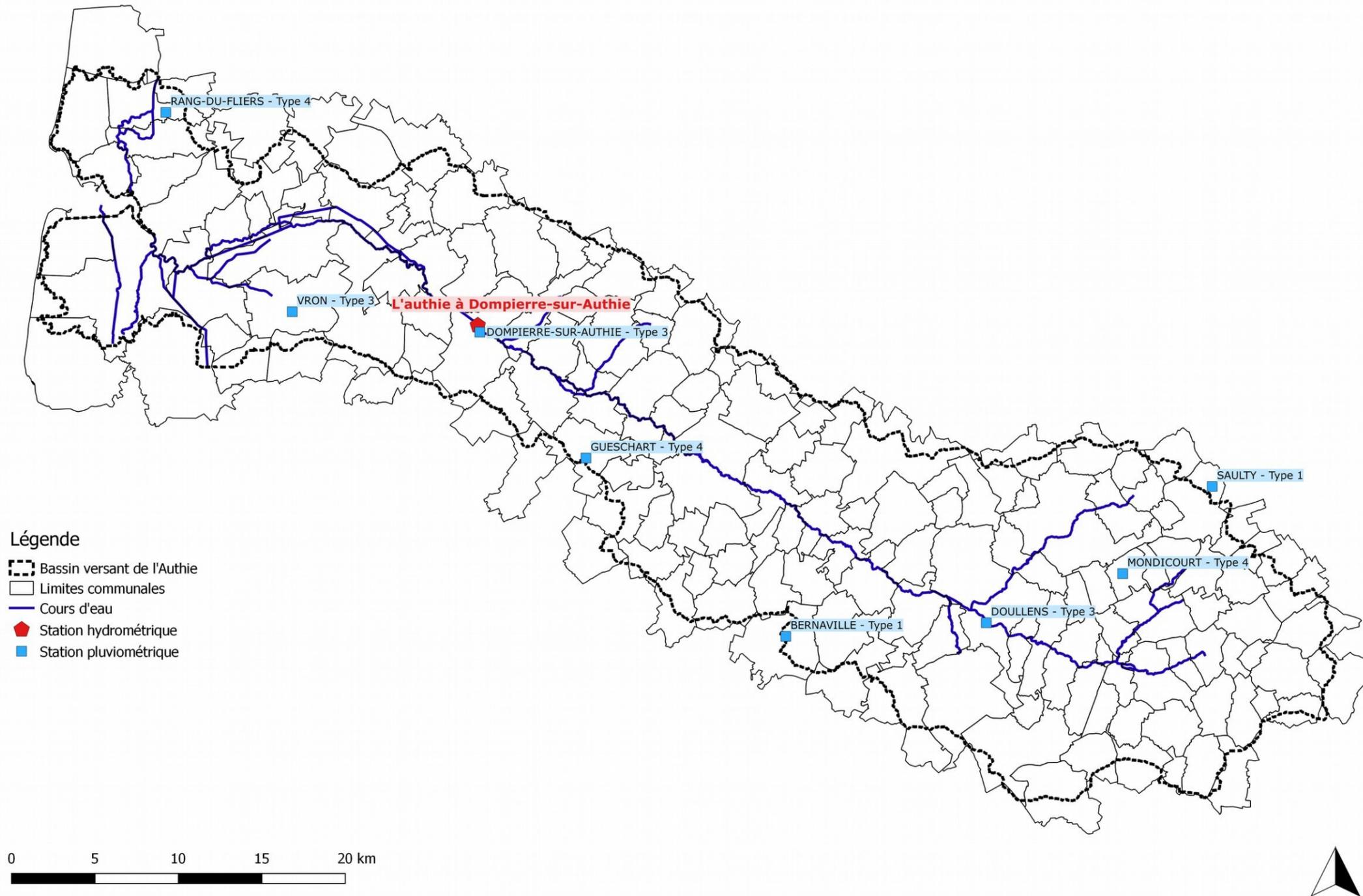


Figure 1: Localisation des stations pluviométriques et hydrométrique sur et à proximité du bassin versant de l'Authie

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 Dompierre-sur-Authie sur la période 1970-2016 (source : Météo-France)

TOUQUET	Durée de la pluie		
	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 vont être récupérées sur les périodes suivantes :

- du 30 mai 2016 minuit au 1^{er} juin 2016 minuit ;
- du 7 juin 2016 10 h au 8 juin 2016 10 h ;
- du 27 mai 2018 22 h au 28 mai 2018 4 h ;
- du 28 mai 2018 22 h au 29 mai 2018 4 h ;
- du 31 mai 2018 16 h au 1^{er} juin 2018 0 h.

3.1.2. Données hydrométriques et limnimétriques

Le Tableau 6 présente l'unique station hydrométrique du bassin versant de l'Authie.

PROLOG INGÉNIERIE

Étude d'opportunité pour la réalisation d'un PPRi de la vallée de l'Authie – Phase 2
- Livrable L2.1 : Méthode de détermination de l'aléa de référence -

R19-454-01_L2-1_v02.odt

09/2020

Code	Nom station	Dept	Données disponibles	
			Hauteurs	Débits
E5505720	L'Authie à Dompierre-sur-Authie	80	1963 - 2019	1963 - 2019

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

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 ÉVÈNEMENTS PLUVIEUX

3.2.1. Analyse des principaux évènements 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'évènement, 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-	RANG-DU-
-----------------	-------------------	-----------------

		SUR-AUTHIE	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.

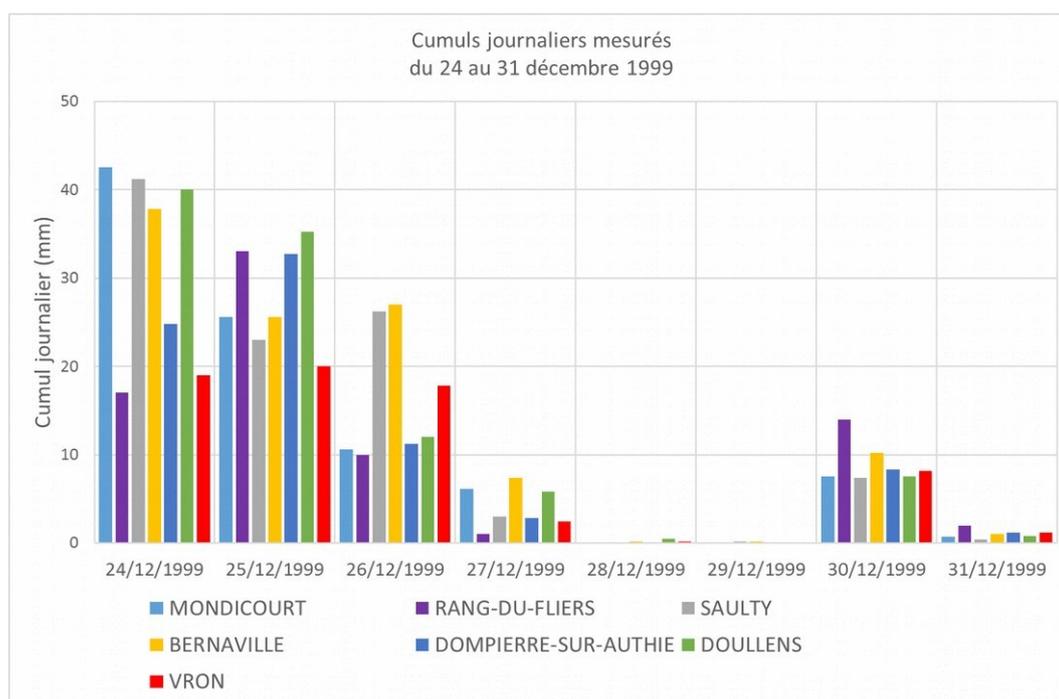


Figure 2: Cumuls journaliers mesurés du 24 au 31 décembre 1999

	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).

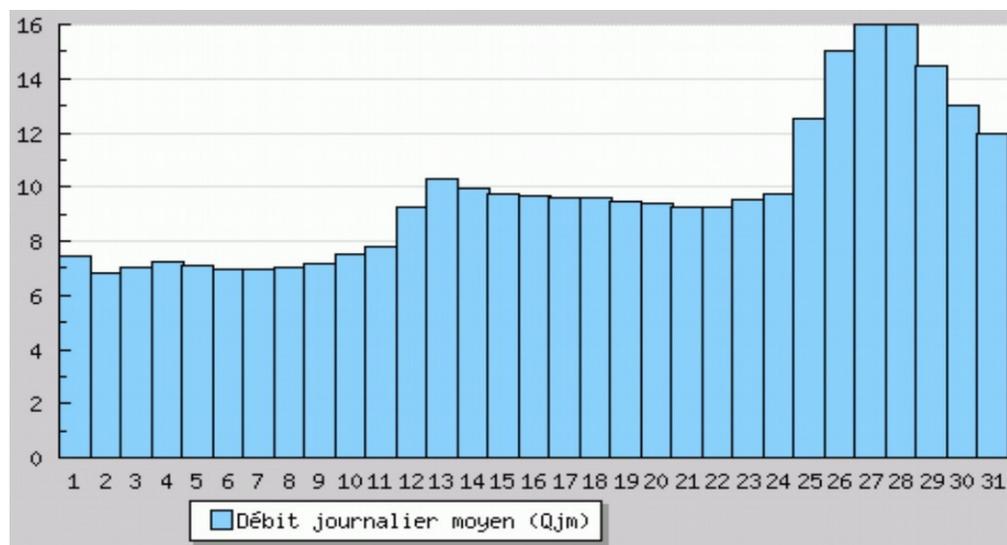


Figure 3: Mesure du débit journalier moyen de l'Authie à la station de Dompierre-sur-Authie - décembre 1999 (source : Banque hydro)

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.

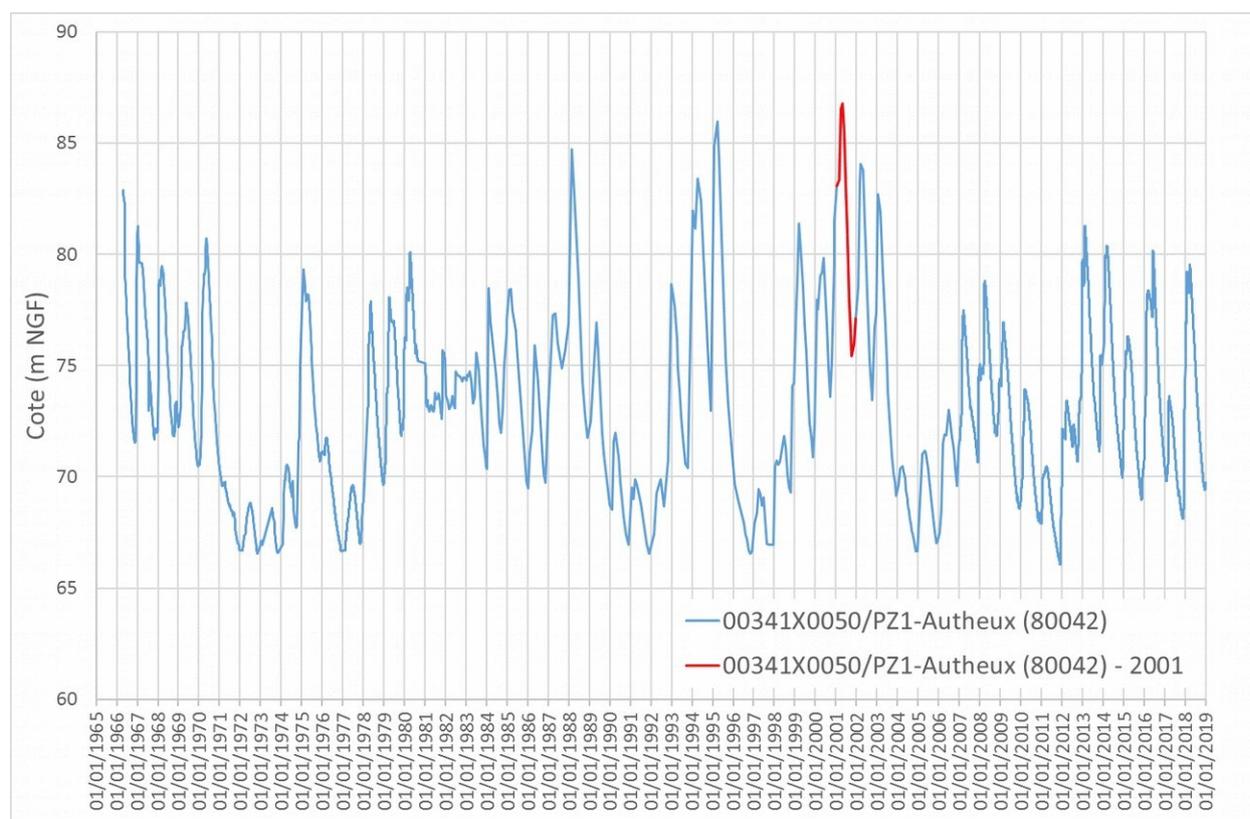


Figure 4: Chronique piézométrique enregistrée à Authieux entre 1965 et 2019 (source : ADES)

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.

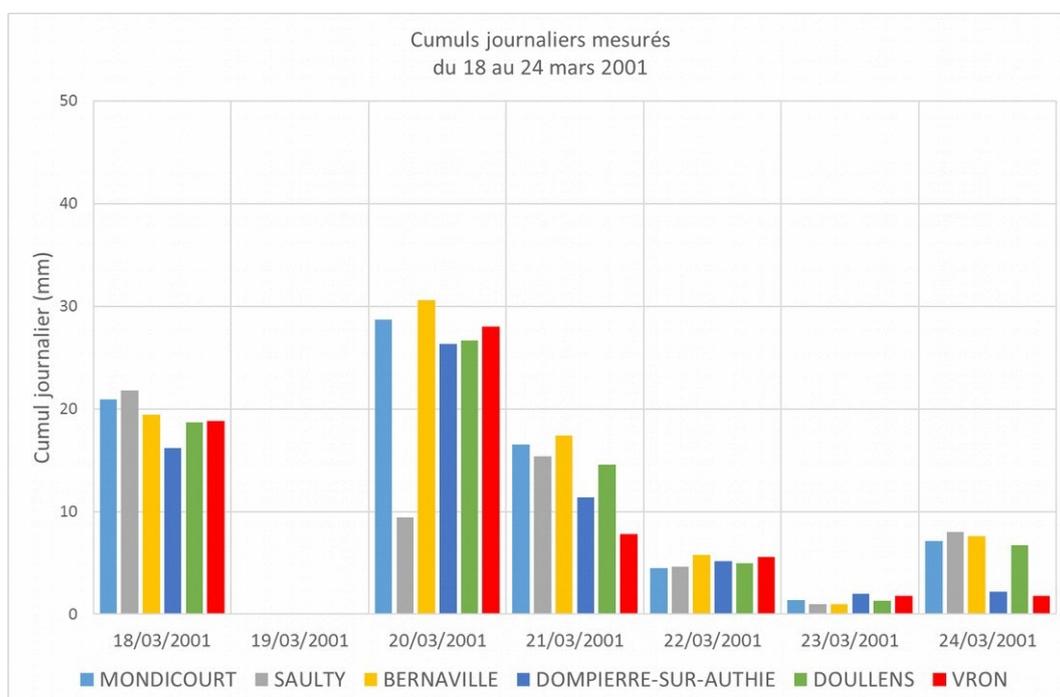


Figure 5: Cumuls journaliers mesurés du 18 au 24 mars 2001

	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.

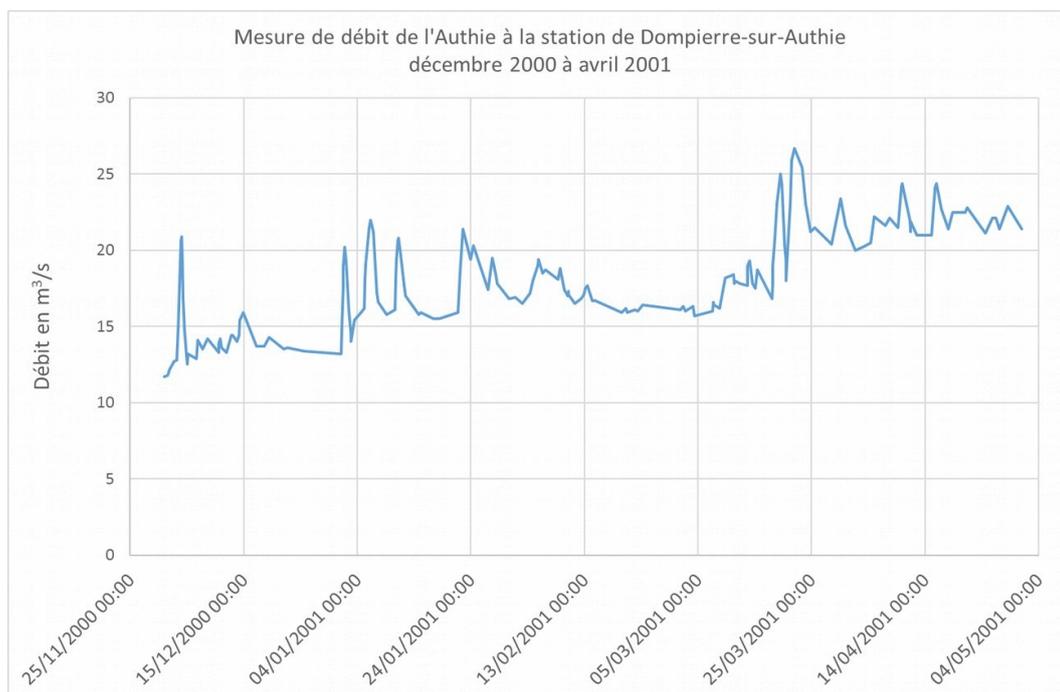


Figure 6: Mesure de débit de l'Authie à la station de Dompierre-sur-Authie - décembre 2000 à avril 2001

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.

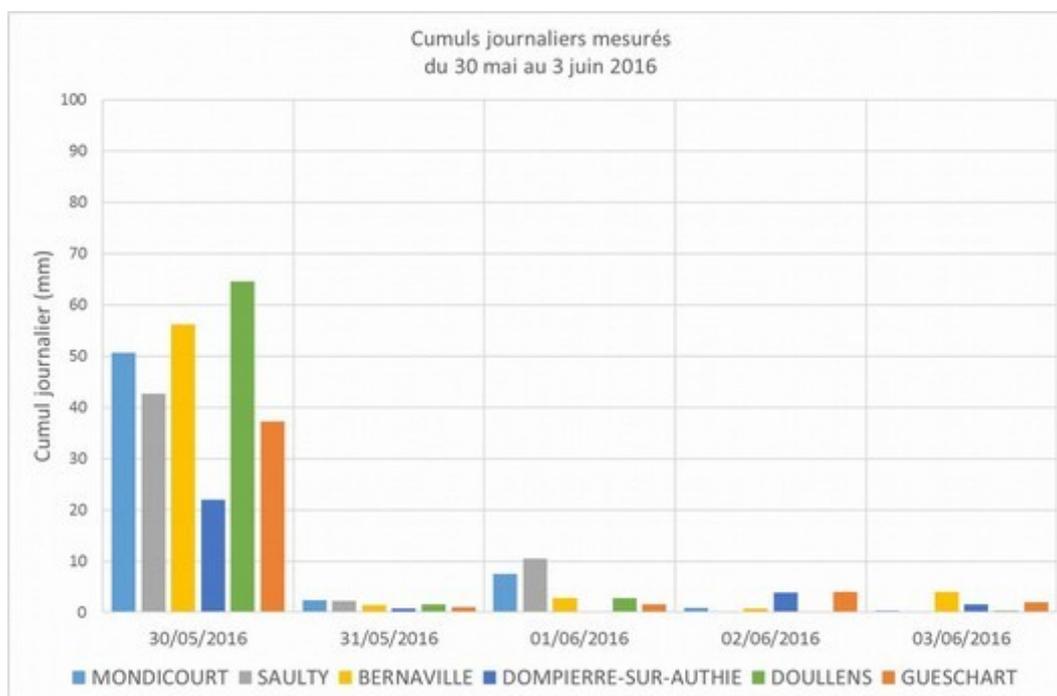


Figure 7: Cumuls journaliers mesurés du 30 mai au 3 juin 2016

	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).

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.

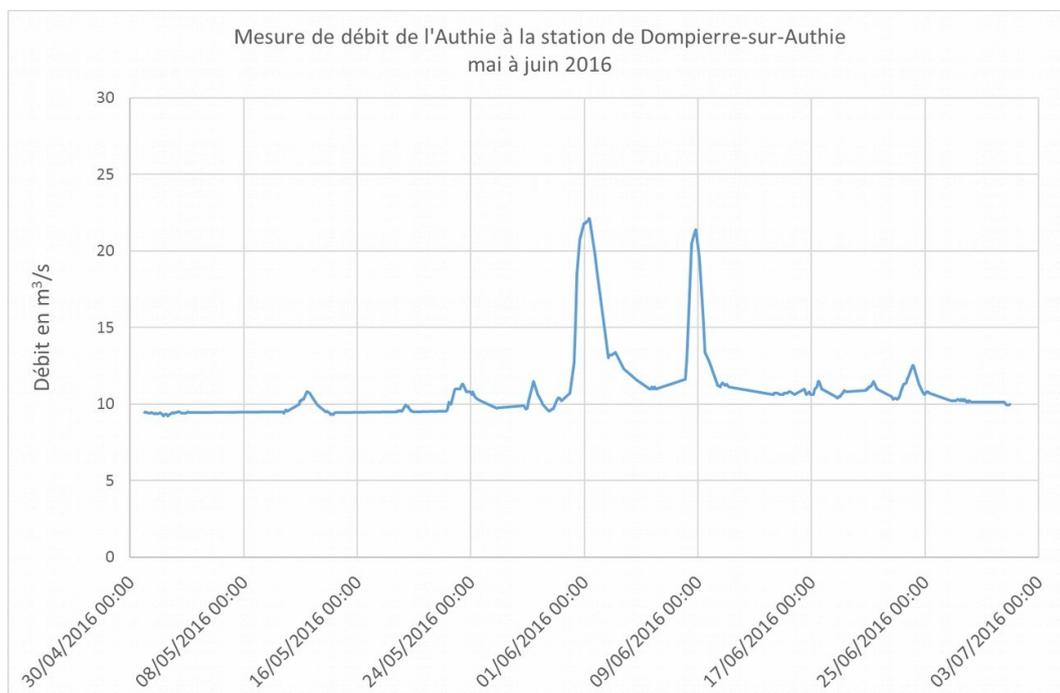


Figure 8: Mesure de débit de l'Authie à la station de Dompierre-sur-Authie - mai à juin 2016

➤ **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.

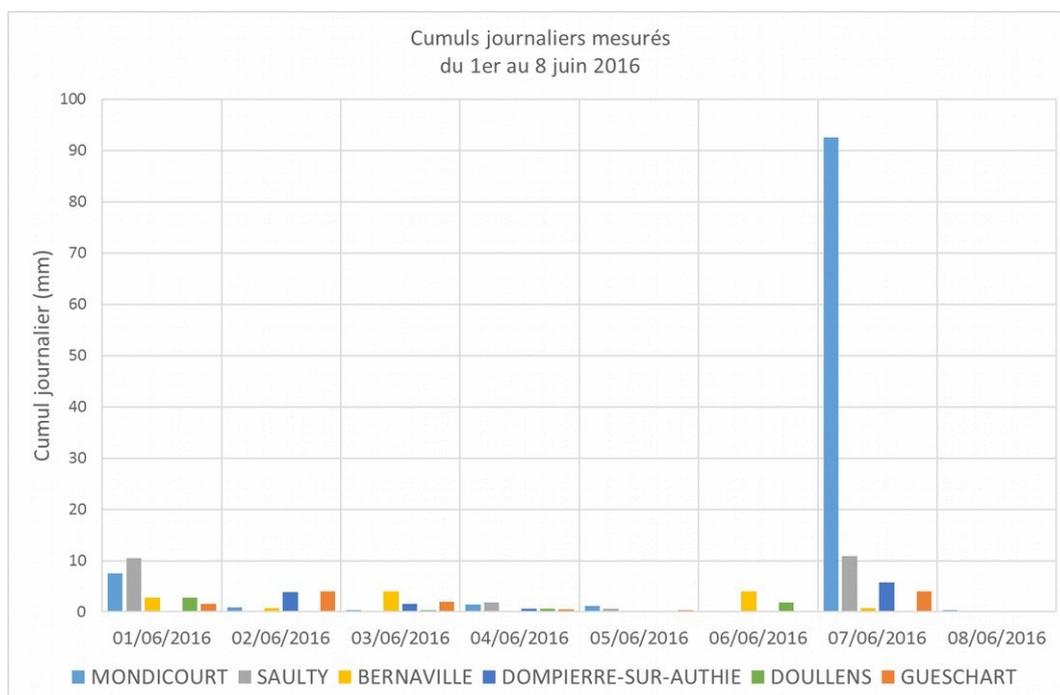


Figure 9: Cumuls journaliers mesurés du 1er au 8 juin 2016

	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**.

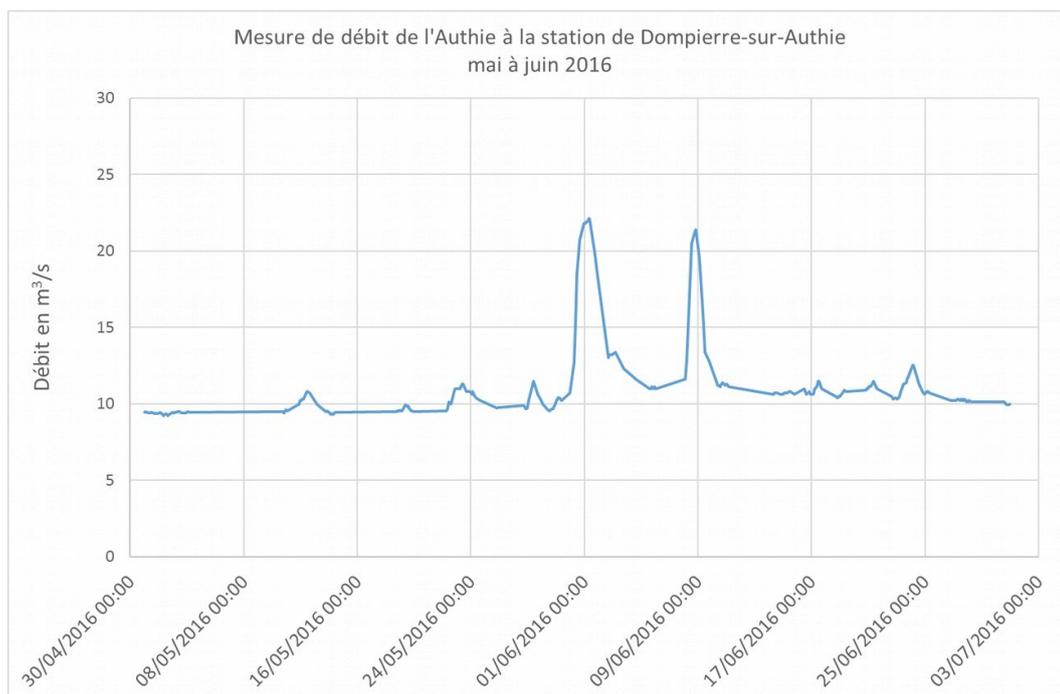


Figure 10: Mesure de débit de l'Authie à la station de Dompierre-sur-Authie - mai à juin 2016

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 événements 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 Gézaincourtoise 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

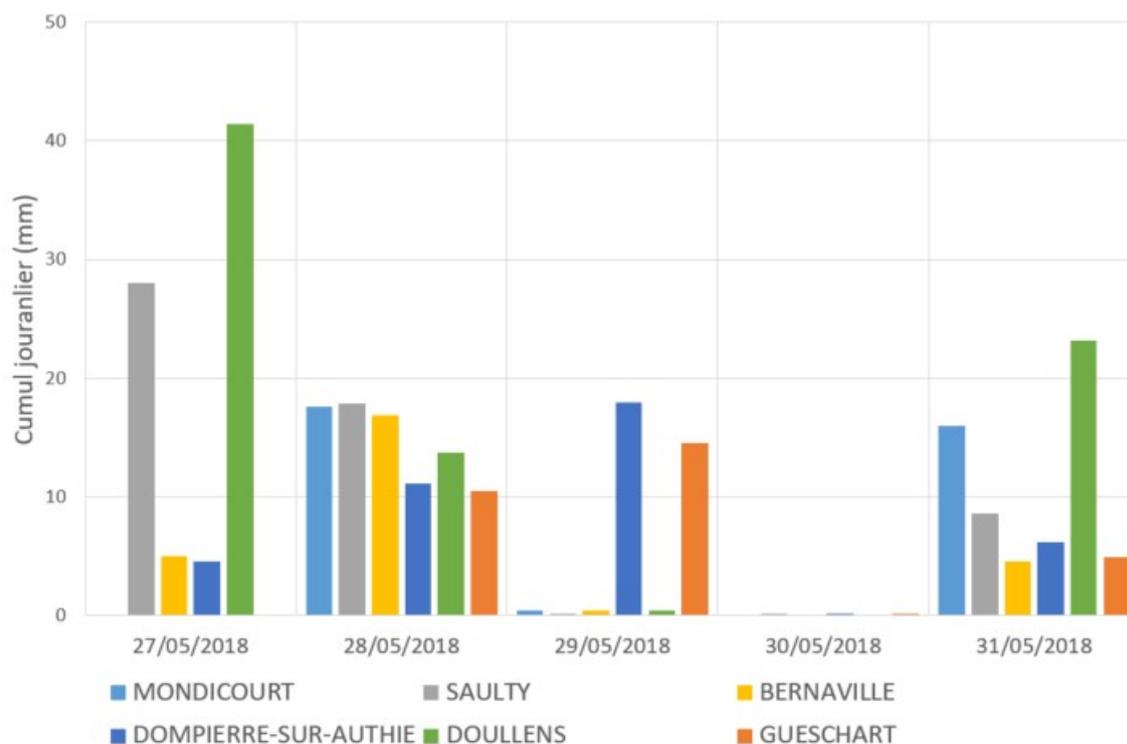


Figure 11: Cumuls journaliers mesurés du 27 au 31 mai 2018

	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 Saulty (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.

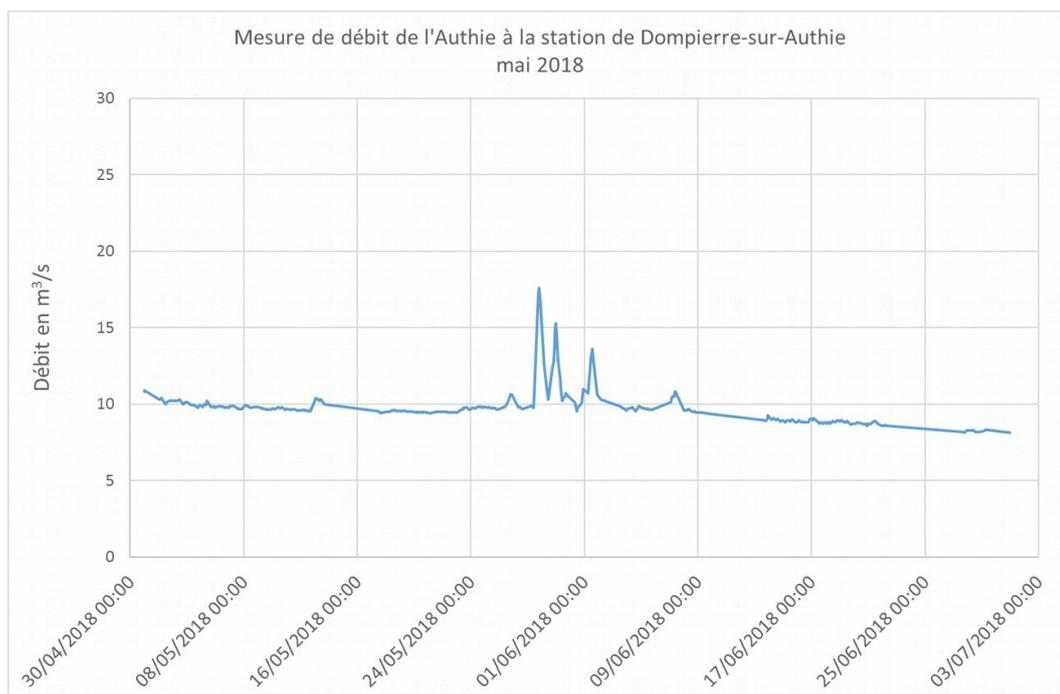


Figure 12: Mesure de débit de l'Authie à la station de Dompierre-sur-Authie - mai 2018



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. [Sélection des événements de référence](#)

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

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.

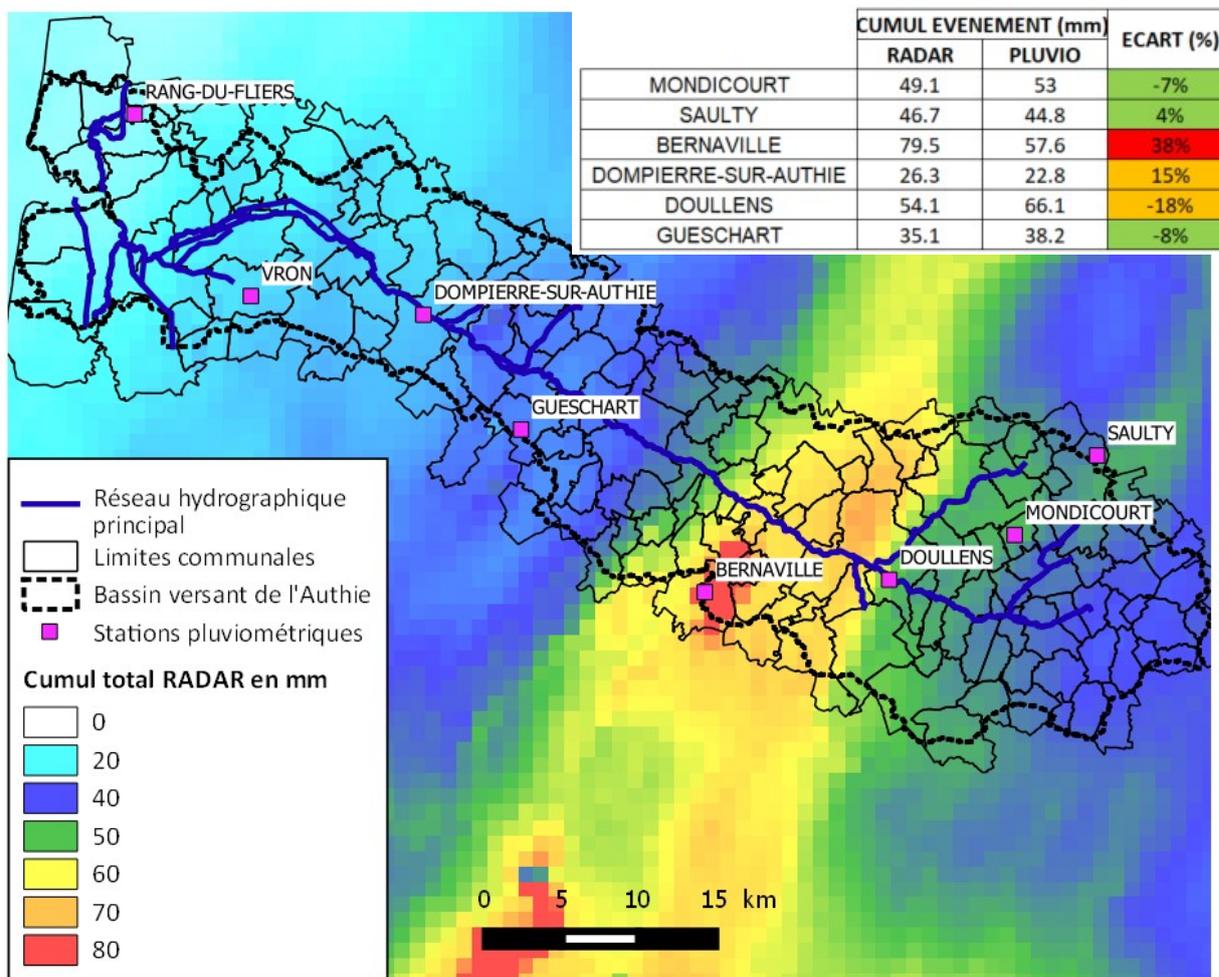


Figure 13 : Comparaison entre les données RADAR PANTHERE et les pluviomètres terrestres (30-31/05/16)

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.

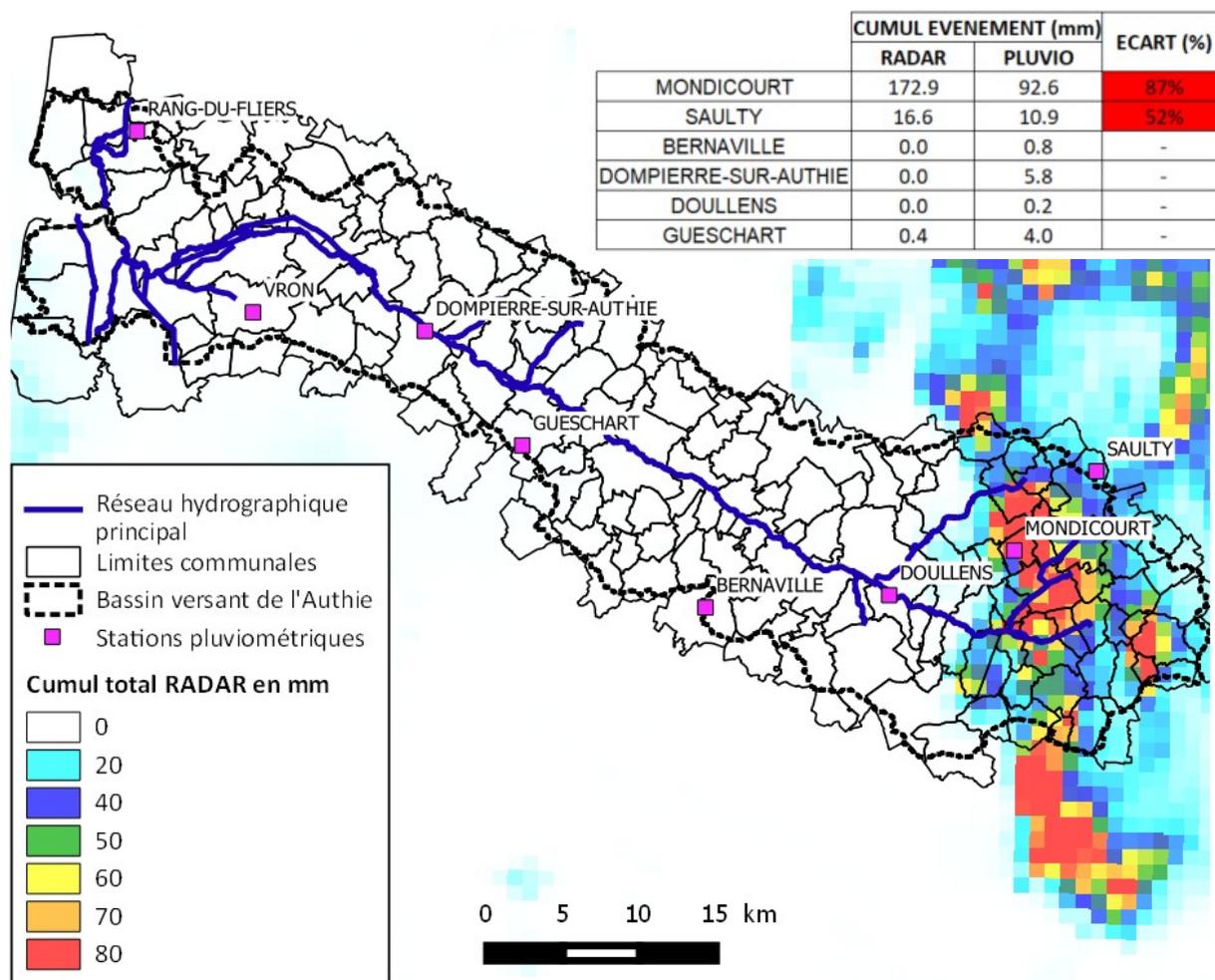


Figure 14 : Comparaison entre les données RADAR PANTHERE et les pluviomètres terrestres (07/06/16)

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.

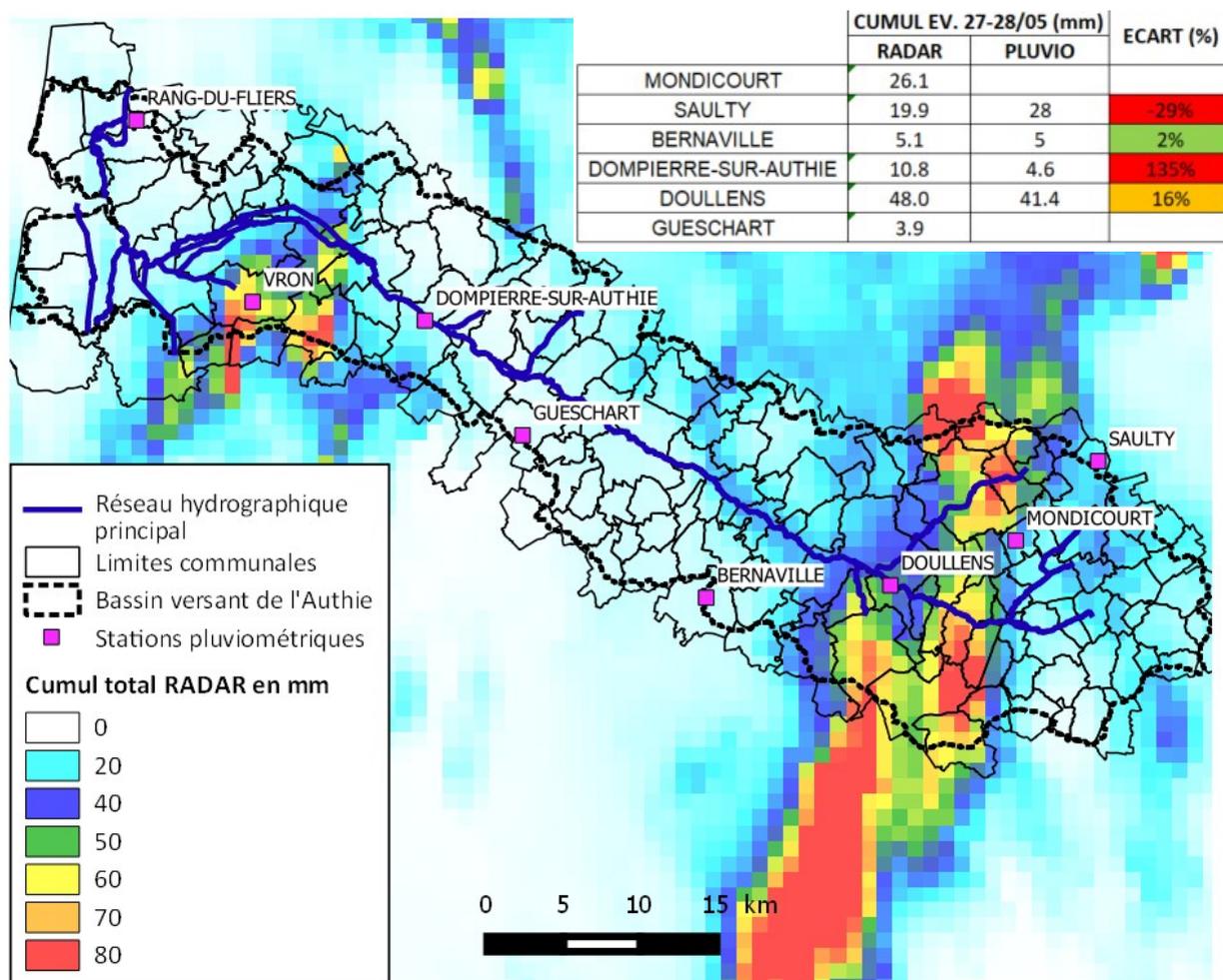


Figure 15 : Comparaison entre les données RADAR PANTHERE et les pluviomètres terrestres (27-28/05/18)

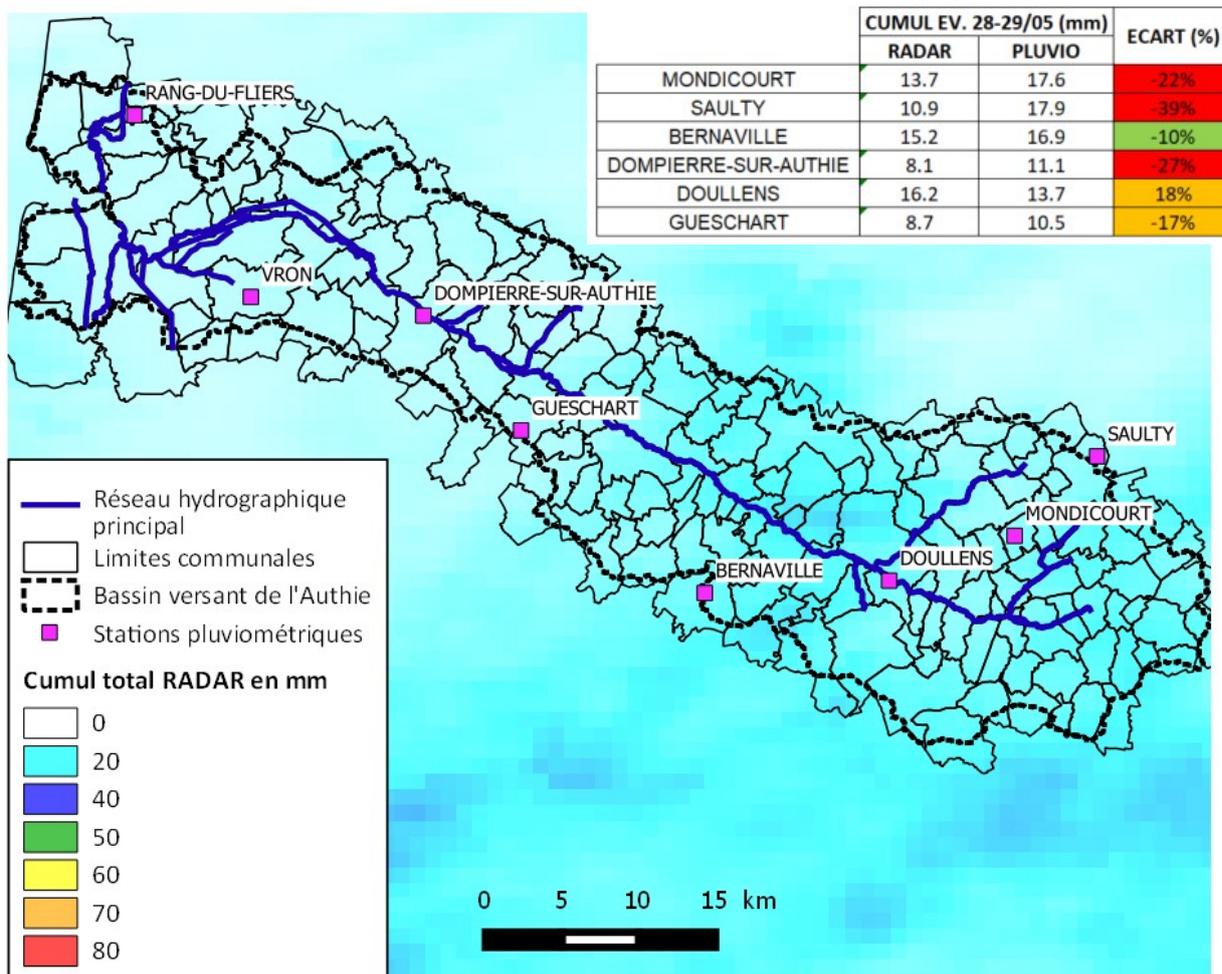


Figure 16 : Comparaison entre les données RADAR PANTHERE et les pluviomètres terrestres (28-29/05/18)

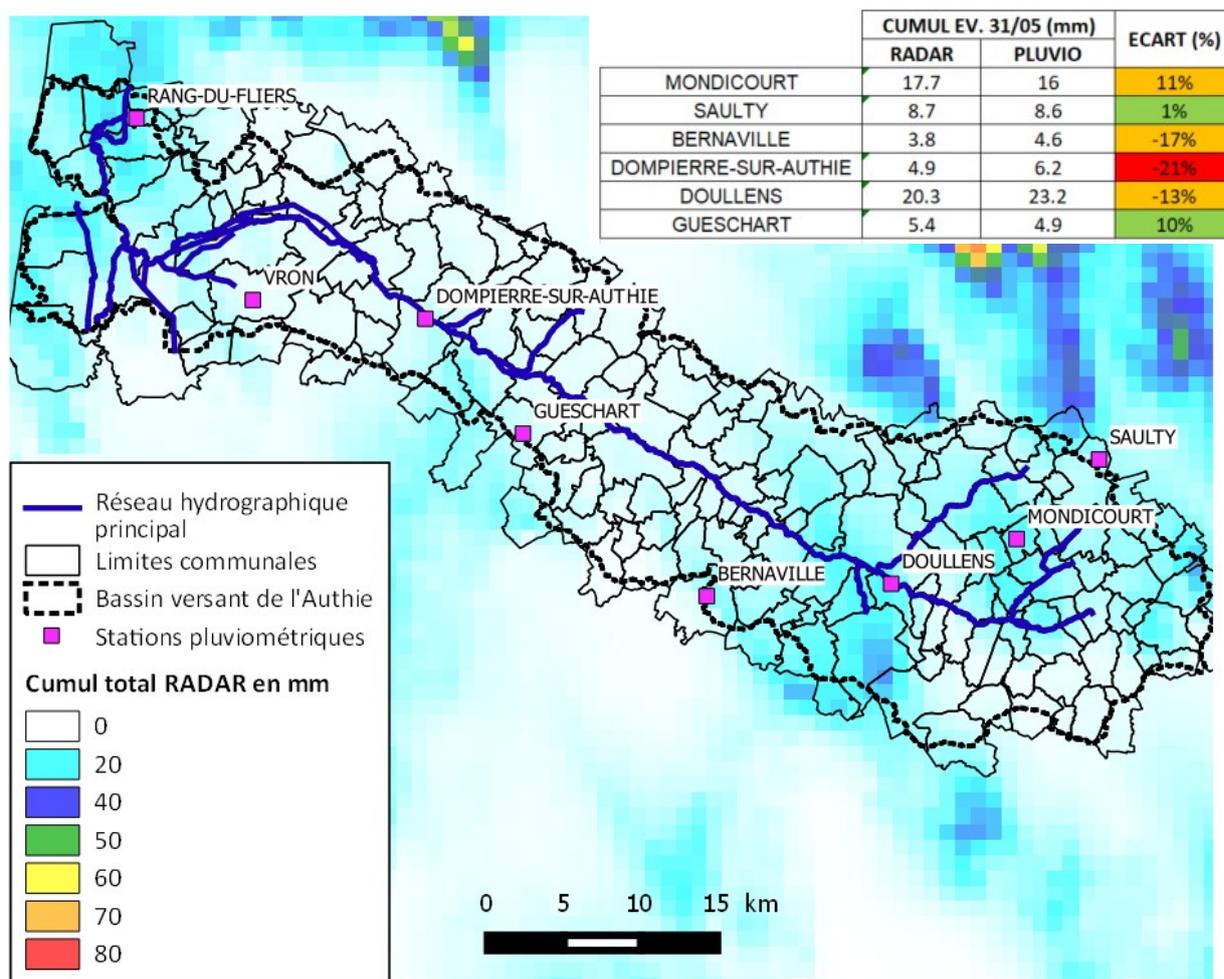


Figure 17 : Comparaison entre les données RADAR PANTHERE et les pluviomètres terrestres (31/05/18)

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

L'estimation des débits de référence (débits de crue) à une station 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.

L'analyse des données hydrométriques de la station de Dompierre-sur-Authie est complexe en raison des échanges particulièrement intenses entre le réseau superficiel et la nappe de la craie. Le réseau hydrographique secondaire étant peu développé, l'alimentation de ce fleuve est donc majoritairement constituée des apports de la nappe de la craie et du ruissellement sur le bassin versant. Cette nappe de la craie assure ainsi une très forte régularité des débits moyens mensuels et joue un rôle important sur les crues.

Ainsi, selon le contexte pluviométrique et hydrogéologique interannuel, un même débit mesuré ne présente pas nécessairement la même période de retour. Aussi, l'analyse sera faite selon deux périodes : les années avec une nappe haute et les années avec une nappe basse. La méthode Gumbel complétée par celle du Gradex « esthétique » seront utilisées pour calculer les débits de référence de la l'Authie sur ces deux périodes.

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

Ce chapitre s'attache à décrire les méthodes proposées pour représenter au mieux le débordement de l'Authie et de ses principaux affluents. Il s'agit bien de méthodes proposées, car les données restant à collecter et les différents tests qui pourront être menés dans le cadre de cette phase seront susceptibles de conduire à une évolution de ces méthodes.

Le logiciel utilisé pour la modélisation de l'aléa débordement de cours d'eau sera 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 consistera 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 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 permettra d'exploiter les données pluviométriques et d'utiliser les caractéristiques topographiques et surfaciques locales pour générer les hydrogrammes de chaque sous-bassins versants.

Ce modèle pluie-débit (ou modèle hydrologique) est intégré au modèle hydraulique, présenté au paragraphe suivant, qui permet quant à lui d'estimer les niveaux au sein du réseau hydrographique modélisé et de cartographier les débordements, et donc l'aléa, induits par les apports hydrologiques.

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 permettra 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.

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

- Surface ;
- Plus long chemin hydraulique ;
- Pente ;
- Type de sol ;

- Occupation du sol.

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 dépendra 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 envisagée 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 seront 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 seront ajustés lors du calage des épisodes de crues historiques.

Toutefois, le modèle présenté ci-avant est un modèle classiquement utilisé dans ce genre d'étude. S'il s'avère, lors de la phase de calage du modèle, que ce modèle donne des résultats peu concluants, d'autres modèles pourront alors être envisagés.

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 va calculer l'hydrogramme généré à l'exutoire du sous-bassin versant à partir de la pluie nette. La fonction de transfert envisagée, 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}).

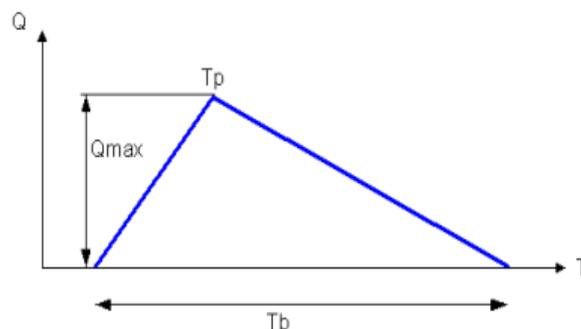


Figure 18: Représentation schématique de l'hydrogramme unitaire

Ces trois paramètres seront définis à partir des caractéristiques géométriques des sous-bassins versants (temps de concentration).

Là encore, s'il s'avère que lors de la phase de calage du modèle, ce modèle ne donne pas des résultats concluants, d'autres modèles pourront être envisagés.

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 basera avant tout sur une exploitation des données pluviométriques sous toutes les formes disponibles localement au droit du bassin versant.

L'utilisation d'un modèle de transformation pluie-débit sous-entend un calage de ce dernier sur la base de pluies réelles. L'analyse historique a permis de mettre en évidence des événements passés qui pourront être modélisés pour le calage du modèle.

L'exploitation des données RADAR permettra de reconstituer de manière très fine la dynamique spatio-temporelle des pluies et notamment le déplacement de l'onde orageuse.

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 ruisselée par le biais de la fonction de transfert, aboutira finalement au calcul d'un hydrogramme à l'exutoire de chaque sous-bassin versant.

Les hydrogrammes ainsi calculés seront 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 conditionneront la transmission des débits vers l'aval.

4.2. MODÉLISATION DE L'ALÉA DÉBORDEMENT

Le débordement de cours d'eau sera modélisé sur l'ensemble du linéaire de l'Authie et ses affluents principaux. La configuration du territoire d'étude est telle qu'il sera possible de le découper en deux modèles :

- un modèle « Authie amont » qui modélisera l'Authie et ses affluents sur la partie amont et centrale du bassin versant jusqu'à la station hydrométrique de Dompierre-sur-Authie. La modélisation proposée sera une modélisation 1D/2D, présentée dans le paragraphe ci-après ;
- un modèle « Authie aval » qui modélisera la partie aval du bassin versant située après la station hydrométrique de Dompierre-sur-Authie. La modélisation proposée sera 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 seront 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 sera quant à lui représenté par un schéma dit bidimensionnel sauf éventuellement sur les secteurs très encaissés (modélisation 1D étendu dans ce cas-là). 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 seront 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), seront 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'effectuera 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.

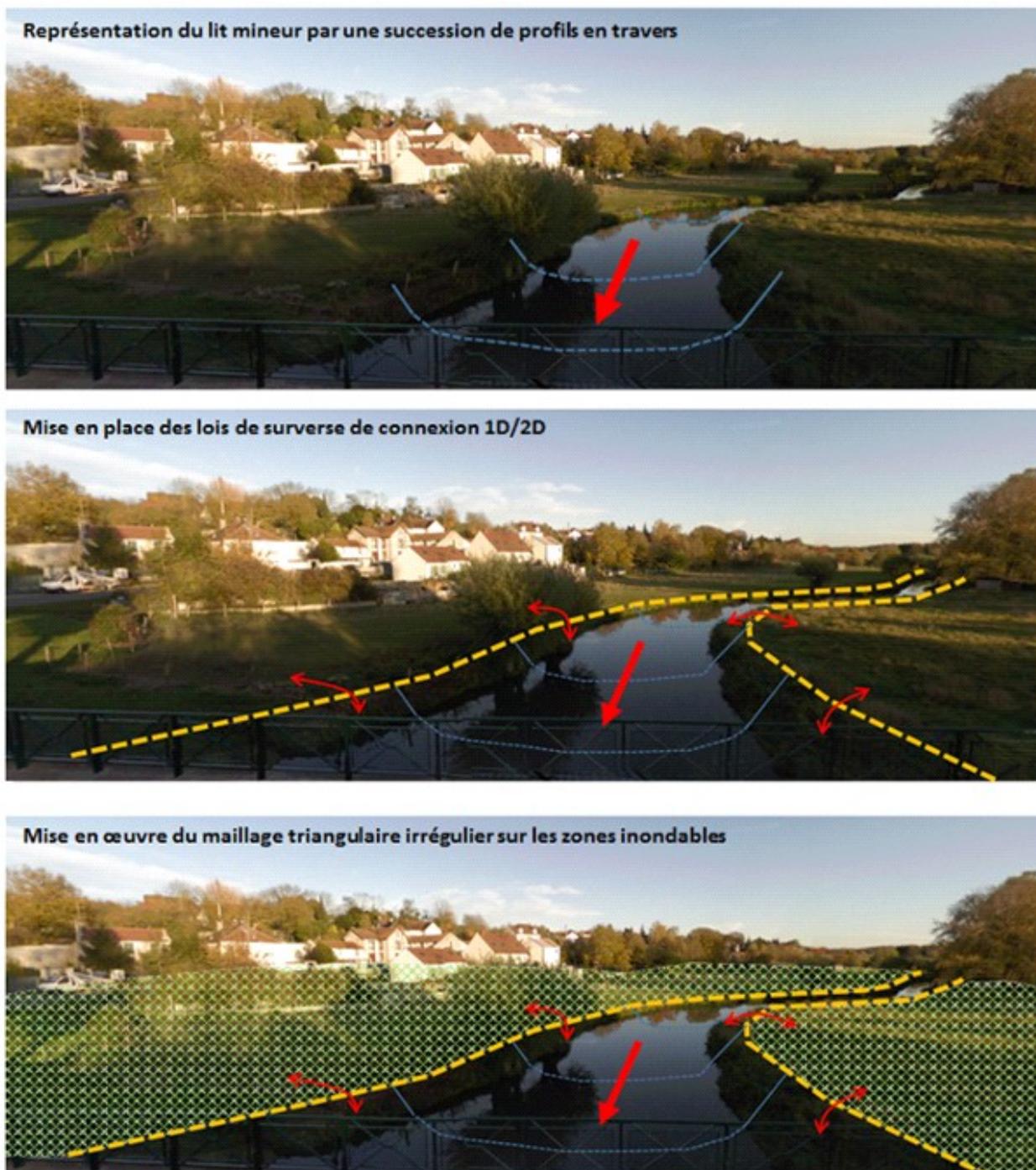


Figure 19: Principe de construction du modèle hydraulique 1D/2D

4.2.2. Modélisation des écoulements de l'Authie et de ses affluents

4.2.2.1. *Modélisation 1D / 2D des écoulements*

Représentation du lit mineur

Le lit mineur de l'Authie et de l'ensemble des affluents principaux seront 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, il est envisagé de prendre en compte dans le modèle les ouvrages suivants :

- 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. La doctrine PPR stipule toutefois que des ouvrages de type merlon ne doivent être considérés dans le calcul de l'aléa que s'ils ont effectivement été dimensionnés pour résister à un événement centennal. Les différents endiguements de l'Authie étant constitués de merlon, leur prise en compte ou non dans le modèle PPR devra être discutée et validée en Comité Technique (COTEC) ;
- le réseau d'eaux pluviales particulier de Doullens, au niveau du chemin de Milly. La phase historique a mis en évidence que le débordement de la Grouche en amont de la RD925 induisait une inondation du chemin de Milly par remontée des eaux débordées de la Grouche via le réseau. Il paraît donc opportun d'intégrer ce réseau particulier dans le cadre de la modélisation de l'aléa débordement de cours d'eau. Cette intégration sera toutefois conditionnée par la qualité et la fiabilité des données qui pourront être récupérées concernant ce réseau (tracé du réseau, dimensions des conduites, cote fil d'eau...). A ce jour, les seules données topographiques collectées concernant le réseau d'eaux pluviales de Doullens sont issues d'un plan papier (pas de données géoréférencées, pas de diamètre des conduites, pas de fil d'eau, etc.). Dans ces conditions, les caractéristiques du réseau pourront faire l'objet d'hypothèses fortes. Lors de la phase de calage du modèle, ces valeurs pourront être ajustées pour reproduire correctement les zones inondées répertoriées durant la phase historique.

La phase historique n'a pas mis en évidence d'autres problématiques de refoulement.



L'intégration de ces différents ouvrages sera toutefois discutée en COTEC à la lumière de la doctrine PPR.

Modélisation des débordements en lit majeur

Le lit majeur des cours d'eau sera 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 :

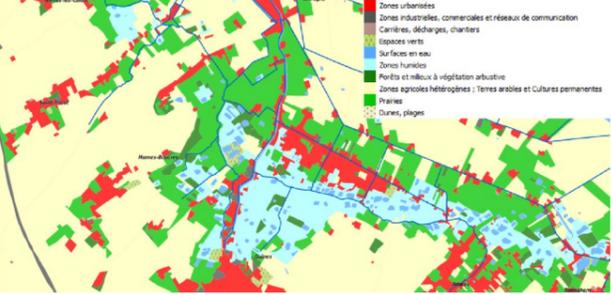
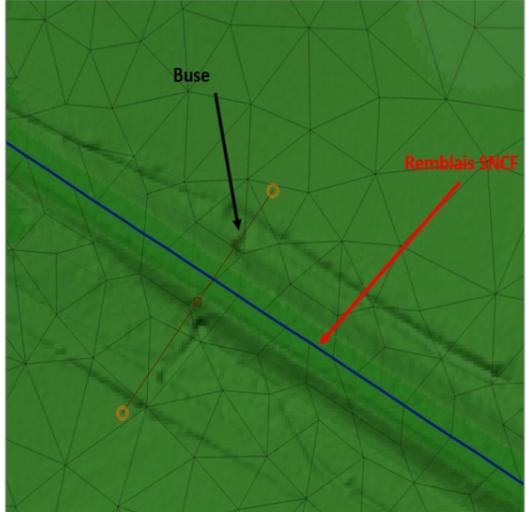
Étape	Objectifs	Détail et commentaires	Illustrations (tirées du PPRi des pieds de coteaux)
1	<p>Prise en compte de l'effet de freinage/accélération des différentes couvertures de sol</p>	<p>Il s'agit ici de sectoriser le périmètre d'étude en différentes zones d'écoulement dont les coefficients de rugosité seront 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 sera réalisé à partir de la base de données CORINE LAND COVER (2018) et du cadastre et chaque zone se verra 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	<p>Adapter le maillage aux variations topographiques du terrain naturel et identifier les surverses</p>	<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 sera appliqué une loi de seuil aux frontières des mailles concernées.</p>	
3	<p>Prise en compte des ouvrages de décharge sous remblai</p>	<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 seront intégrés dans le modèle.</p>	

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

4.2.2.2. *Conditions aux limites*

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

Les conditions aux limites aval seront constituées par la loi hauteur-débit établie à la station de Dompierre-sur-Authie ou par un limnigramme pour le modèle « Authie amont » et par un niveau marin pour le modèle « Authie aval ».

Nous nous rapprocherons toutefois du Syndicat Mixte Baie de Somme afin de faire en sorte que les conditions aux limites aval du modèle du PPRi soient cohérentes avec les conditions aux limites aval considérées dans le modèle du PAPI littoral Bresle-Somme-Authie.

4.2.3. 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 seront 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.

Cette approche pourra évoluer en fonction des conclusions de l'étude en cours menée par le BRGM sur la qualification de l'aléa remontée de nappe.

4.2.4. Le calage du modèle hydraulique

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

On distingue deux types de témoignages historiques :

- les témoignages ponctuels ou surfaciques (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 basera 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.

Les témoignages non quantifiés serviront de validation qualitative et comportementale.

Au vue des données historiques récoltées et des données pluviométriques, hydrométriques et limnimétriques disponibles, nous proposons de retenir les événements suivants pour le calage du modèle hydraulique « débordement » :

- mars 2001 pour « Authie aval » ;
- mai 2016 pour « Authie amont » ;
- juin 2016 « Authie amont ».

Les événements de 2001 et 2016, ont fait l'objet de nombreux levés sur le terrain en temps réel et de nombreux témoignages récoltés lors des entretiens avec les communes réalisés en septembre et octobre 2019. Ces différentes informations ont permis de constituer une importante base de témoignages et repères de crue qui sera donc exploitée pour le calage du modèle hydraulique.

Une fois calé et validé, le modèle pourra être exploité pour simuler l'aléa de référence.



5. MODÉLISATION DE L'ALÉA RUISSELLEMENT

Ce chapitre s'attache à décrire les méthodes proposées pour représenter au mieux les ruissellements sur le bassin versant de l'Authie. Comme pour l'aléa débordement, il s'agit bien de méthodes proposées, car les données restant à collecter et les différents tests qui pourront être menés dans le cadre de cette phase seront susceptibles de conduire à une évolution de ces méthodes.

Afin de pouvoir cartographier de manière homogène les aléas débordement et ruissellement, l'aléa ruissellement sera 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.

Là encore, le logiciel utilisé pour la modélisation de l'aléa ruissellement sera 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

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.

La modélisation de l'aléa ruissellement sera 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-RUISSÈLEMENT

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. L'approche proposée pour la modélisation du ruissellement consiste quant à elle à appliquer la pluie directement sur un maillage de calcul bi-dimensionnel.

Le modèle de transformation pluie-ruissellement retenu consiste à transformer la pluie brute en pluie nette par le biais du modèle NRCS dont les paramètres auront été calés au cours du calage hydrologique du modèle débordement. Cette pluie nette sera alors appliquée directement sur le maillage 2D.

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

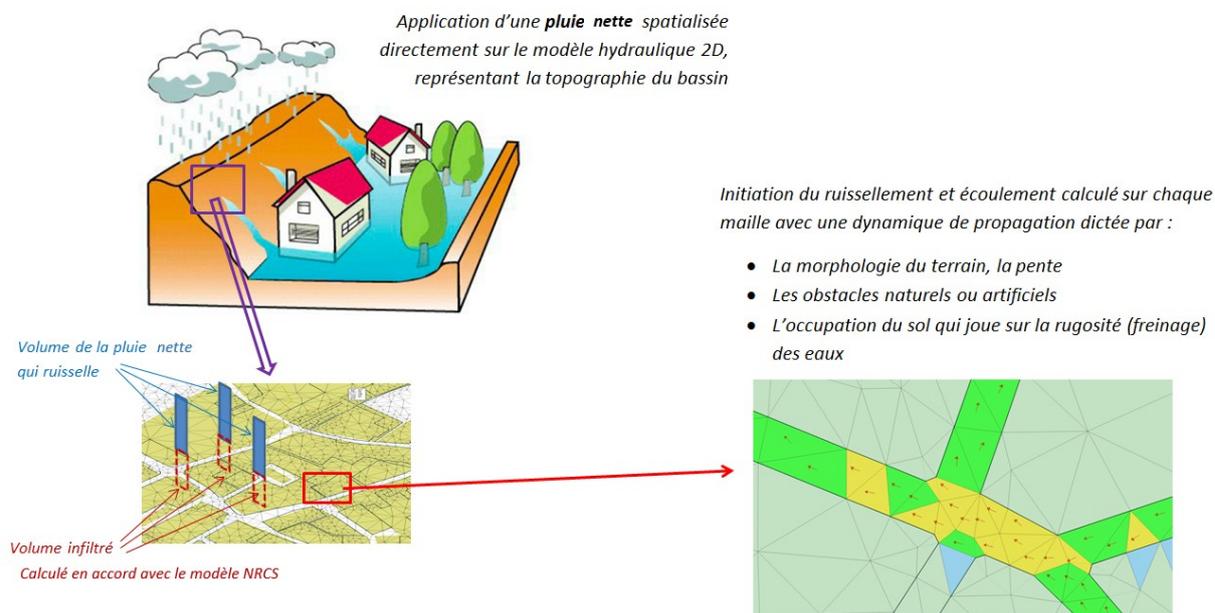


Figure 20: Fonctionnement global de la transformation pluie-ruissellement

5.3. MODÉLISATION DE L'ALÉA RUISSELLEMENT

5.3.1. Modèle 2D

Le modèle hydraulique construit sera un modèle bi-dimensionnel (2D) couvrant l'ensemble du bassin versant de l'Authie, à l'exception du littoral.

Le maillage bidimensionnel étendu sera alors construit de la même manière que celui construit dans le cadre de l'aléa débordement et présenté au § 4.2.2.1.

5.3.2. Calage du modèle hydraulique de ruissellement

Une fois le modèle ruissellement construit, il faut, 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.

Le modèle hydraulique de ruissellement sera calé à partir des informations récoltées pour les événements historiques de mai et juin 2016 et de mai 2018.

6. EXPLOITATION DES RÉSULTATS ET RENDU CARTOGRAPHIQUE

Ce chapitre s'attache à décrire les méthodes proposées pour cartographier au mieux les aléas débordement et ruissellement sur le bassin versant de l'Authie (phase 3).

Le logiciel utilisé pour la cartographie des aléas sera le logiciel QGIS V2.18.

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 4 classes :
 - inférieures à 0,2 m/s, faibles vitesses d'écoulement ;
 - comprises entre 0,2 et 0,5 m/s, vitesses d'écoulement moyennes ;
 - comprises entre 0,5 et 1m/s, fortes vitesses d'écoulement ;
 - supérieures à 1 m/s, très fortes vitesses d'écoulement.
- la vitesse de montée des eaux, divisées en 2 classes :
 - lente, supérieure à la journée ;
 - rapide, inférieure à la journée.

Une grille de dynamique de crue est proposée ci-dessous et sera soumise à validation du COTECH. Deux classes de vitesse de montée des eaux ont été définies de façon à distinguer les crues lentes (type 1999 et 2001) des crues rapides (type 2016 et 2018). La valeur limite d'une journée correspond à ce qui est habituellement utilisé pour distinguer ces deux types de crues.

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

Tableau 18: Grille de dynamique de crue envisagée

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.

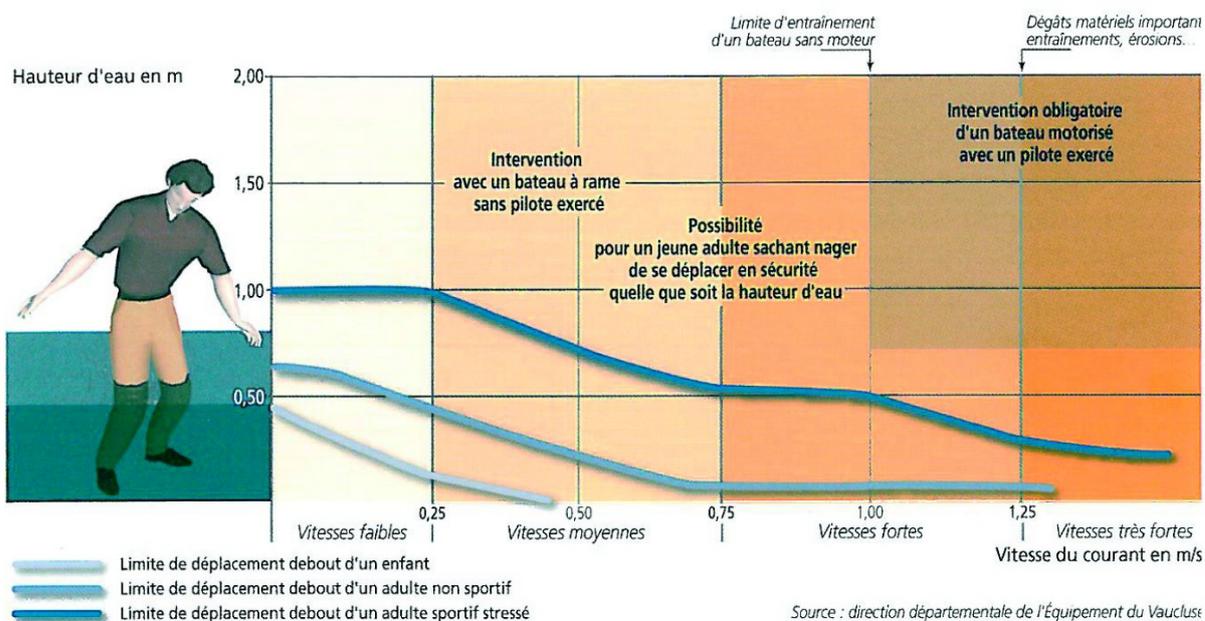


Figure 21: Possibilités de déplacement des personnes en fonction de la hauteur d'eau et de la vitesse d'écoulement (source : DDT Vaucluse)

La grille d'aléa proposée est une grille d'aléa fonctionnel qui caractérise le risque en termes de fonctionnement hydraulique et de phénomènes rencontrés et permet ainsi de caractériser le débordement de cours d'eau et le ruissellement. Pour information, cette grille a 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.

	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 19: Grille envisagée pour la caractérisation de l'aléa

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

Pour mémoire, cette grille est présentée ci-après.

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

Tableau 20: 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 seront traités à l'aide du logiciel SIG GrassGIS (version 7.2.0) afin d'obtenir les couches SIG de classes de hauteurs et de vitesses maximales. Les traitements cartographiques réalisés intègrent à la fois les résultats hydrauliques au 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 sera 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, a 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 à 3 cm de hauteur a été retenu sur les autres PPRI) ;
- un critère de surface inondée minimum pour filtrer les zones de connexion ou d'accumulation de petite taille, isolées et présentant de faibles hauteurs d'eau. Il est proposé ici de filtrer toutes les surfaces inondées de superficie inférieures à 300 m².



De même, pour le débordement, les petits polygones de surfaces inférieures à 50 m² seront supprimés pour la cartographie de l'aléa inondation.

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

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

Selon les résultats obtenus à l'issue des modélisations de l'aléa débordement et de l'aléa ruissellement, il faudra alors définir une hiérarchie entre les différentes classes d'aléa afin d'identifier les plus pénalisantes en termes de risque (qui, de la zone d' « accumulation moyenne » ou de la zone d' « écoulement », est la plus pénalisante par exemple ?) en cas de recouvrement entre aléa débordement et aléa ruissellement dans certaines zones.

6.2.3. Format des rendus et exemples

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

- au 1/5 000^e, à l'échelle communale, sur fond cadastral, selon le même format que les cartes historiques produites en phase 1 ;
- au 1/25 000^e, à l'échelle du bassin versant, sur fond SCAN 25.

Les cartographies suivantes seront produites (à la fois pour les problématiques débordement de cours d'eau et ruissellement sachant que pour les communes impactées par les deux phénomènes, elles seront représentées sur une seule et même carte) :

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



GLOSSAIRE

Hydrogéologie : science qui étudie les nappes d'eau souterraines

Hydrogramme : évolution du débit en fonction du temps

Hyétogramme : évolution de la quantité de pluie tombée en fonction du temps

Lame d'eau : quantité de pluie mesurée par un radar météorologique

Limnigramme : évolution du niveau d'eau en fonction du temps

Pluie brute : pluie tombant sur le sol

Pluie nette : part de la pluie brute qui va contribuer réellement à la génération de la crue

Station limnimétrique : station de mesure du niveau d'eau d'un cours d'eau

Station hydrométrique : station de mesure du débit d'un cours d'eau

Station pluviométrique : station de mesure de la pluie tombée au sol