

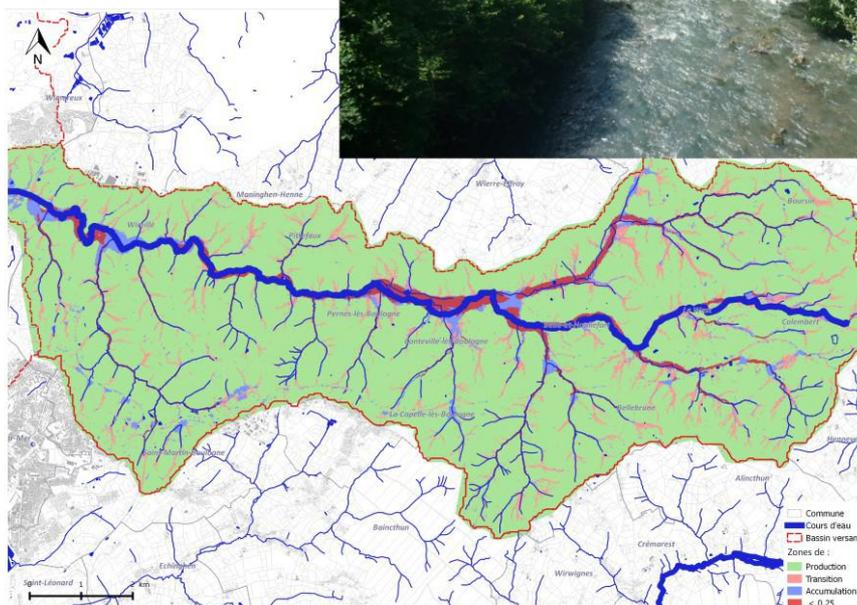
PAPI / PPRI DU BOULONNAIS



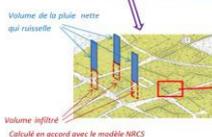
DDTM DU PAS-DE-CALAIS / SYMSAGEB MÉTHODES D'ANALYSE DU FONCTIONNEMENT ET DE DÉTERMINATION DES ALÉAS - CALAGE DU MODÈLE



PARTIE 1 - PHASE 1



Application d'une pluie nette spatialisée directement sur le modèle hydraulique 2D, représentant la topographie du bassin



Initiation du ruissellement et écoulement calculé sur chaque maille avec une dynamique de propagation dictée par :

- La morphologie du terrain, la pente
- Les obstacles naturels ou artificiels
- L'occupation du sol qui joue sur la rugosité (freinage) des eaux



LIVRABLE V0.2

W4-8

Table des matières

Partie - 1 Préambule.....	6
Partie - 2 Aléa débordement	8
2.1 Approche pluie-débit à l'échelle du bassin versant.....	9
2.1.1 Objectifs et limites de la modélisation pluie-débit.....	9
2.1.2 Le découpage en sous bassins versants.....	9
2.1.3 Mise en œuvre de la méthode pluie-débit.....	14
2.1.4 Choix de la fonction de transfert.....	16
2.1.5 Mise en œuvre opérationnelle de l'approche pluie-débit.....	18
2.2 Modélisation de l'aléa débordement	18
2.2.1 Principe général de la modélisation 1D-2D.....	18
2.2.2 Modélisation des écoulements du Wimereux et de ses affluents.....	21
2.2.3 Modélisation des débordements en lit majeur.....	23
2.3 Prise en compte des interactions avec la nappe.....	25
Partie - 3 Aléa ruissellement.....	26
3.1 Transformation pluie-ruissellement	27
3.2 Modélisation de l'aléa ruissellement.....	28
3.2.1 Modèle bi-dimensionnel (2D).....	28
3.2.2 Conditions aux limites.....	30
Partie - 4 Calage hydrologique et hydraulique	31
4.1 Calage des modèles débordement et ruissellement du bassin versant du Wimereux.....	32
4.1.1 Généralités.....	32
4.1.2 Principe et valeurs retenues.....	32
4.1.3 Événements de calage.....	35
4.1.4 Conclusion sur le calage.....	54

Index des illustrations

Figure 1 : Grille d'accumulation obtenue sous SAGA GIS.....	10
Figure 2 : Réseau hydrographique grossier obtenu sous SAGA GIS.....	11
Figure 3 : Découpage topographique des sous bassins versants par SAGA GIS.....	12
Figure 4 : Sous bassins versants du Wimereux.....	13
Figure 5 : Représentation schématique de l'hydrogramme unitaire.....	16
Figure 6 : Principe de construction du modèle hydraulique 1D/2D.....	20
Figure 7 : Localisation des levés et profils complémentaires des principaux affluents du Wimereux	22
Figure 8 : Deux types de modélisation des écoulements en zones inondable.....	24
Figure 9 : Fonctionnement global de la transformation pluie-ruissellement.....	27
Figure 10 : Localisation des points de mesures sur le bassin versant du Wimereux.....	36
Figure 11 : Hydrogrammes mesuré et simulé en W1 (crue de janvier 2016).....	37
Figure 12: Hydrogrammes mesuré et simulé en W2 (crue de janvier 2016).....	37
Figure 13: Hydrogrammes mesuré et simulé en WP1 (crue de janvier 2016).....	37
Figure 14: Hydrogrammes mesuré et simulé en WG1 (crue de janvier 2016).....	37
Figure 15 : Hydrogrammes mesuré et simulé en WD2 (crue de janvier 2016).....	38
Figure 16 : Hydrogrammes mesuré et simulé en W4 (crue de janvier 2016).....	38
Figure 17 : Hydrogrammes mesuré et simulé à la station de Wimille (crue de janvier 2016).....	38
Figure 18 : Hydrogrammes mesuré et simulé à la station de Wimille (crue de novembre 2012).....	41
Figure 19 : Emprise inondable au niveau de la commune de Wimille pour la crue de novembre 2012.....	43
Figure 20 : Emprise inondable au niveau des communes de Pernes-les-Boulogne et Conteville-lès- Boulogne pour la crue de novembre 2012.....	44
Figure 21 : Emprise inondable en amont du Denacre pour la crue de novembre 2012.....	45
Figure 22 : Points de jaugeages et hydrogramme simulé à la station de Wimille au cours de la crue de novembre 2009.....	46
Figure 23 : Emprise inondable maximale au sein de la commune de Wimille pour la crue de	

novembre 2009.....	49
Figure 24 : Emprise inondable maximale au sein des communes de Pernes-lès-Boulogne et Conteville-lès-Boulogne pour la crue de novembre 2009.....	50
Figure 25 : Emprise inondable maximale au sein de la commune du Wast pour la crue de novembre 2009.....	51
Figure 26 : Emprise inondable maximale en amont du Denacre pour la crue de novembre 2009...	52
Figure 27 : Comparaison des emprises inondables le 27/11/2009 à 16h30 à Wimille.....	53
Figure 28 : Comparaison des emprises inondables le 27/11/2009 à 16h30 à Pernes-lès-Boulogne.	53
Figure 29 : Comparaison des emprises inondables le 27/11/2009 à 16h30 à Conteville-lès-Boulogne	54

Index des tables

Tableau 1 : Étapes de construction du maillage de calcul 2D.....	29
Tableau 2 : Classes de validité du calage hydraulique du modèle.....	33
Tableau 3 : Valeurs de CN en fonction de l'occupation des sols (la ligne grisée correspond à la classe retenue pour le calage hydrologique des événements de novembre 2009 et 2012).....	34
Tableau 4 : Rugosité différenciée du lit majeur.....	34
Tableau 5 : Comparaison des débits de pointe modélisés et mesurés pour l'événement de janvier 2016.....	39
Tableau 6 : Comparaison des niveaux max mesurés et modélisés pour l'événement de janvier 2016	40
Tableau 7 : Comparaison du niveau mesuré et modélisé au droit de la station hydrométrique de Wimille.....	42
Tableau 8 : Comparaison des niveaux historiques et modélisés sur le bassin versant du Wimereux pour la crue de novembre 2012.....	42
Tableau 9 : Comparaison du niveau mesuré et modélisé au droit de la station hydrométrique de Wimille.....	47
Tableau 10 : Comparaison des niveaux historiques et modélisés sur le bassin versant du Wimereux pour la crue de novembre 2009.....	48

Partie - 1

Préambule

L'objectif du présent livrable est de définir la méthodologie de modélisation des différents phénomènes d'inondation touchant le bassin versant du Wimereux ainsi que le calage.

En effet, le modèle hydrologique et hydraulique sera utilisé pour analyser le fonctionnement hydraulique sur la base des événements historiques retenus pour le calage et des scénarios de référence (fréquent, moyen et extrême). Cela permettra, en particulier, d'identifier les zones de débordement, les sous-bassins versants les plus productifs, les temps de propagation et l'écrêtement de l'onde de crue, etc. La compréhension du fonctionnement hydraulique sera décrite dans le livrable W5.

Le présent document se décompose ainsi en trois parties :

- la première partie est consacrée à la description du modèle dédié à l'aléa débordement. Elle s'attache à décrire le modèle hydrologique envisagé, ainsi que les principes de construction du modèle hydraulique 1D, ainsi que de la zone 2D représentant les zones inondables ;
- Le second chapitre décrit la transformation de la pluie brute en lame d'eau ruisselée, ainsi que la construction de la zone de maillage propre au modèle ruissellement ;
- enfin, le dernier chapitre est consacré au calage hydrologique et hydraulique du modèle.

Le logiciel utilisé pour construire les modèles hydrologiques et hydrauliques (débordement et ruissellement) du bassin versant du Wimereux est le logiciel ICM V6,5 développé par INNOVYZE.

Partie - 2 Aléa débordement

Ce chapitre s'attache à décrire les méthodes qui seront mises en place pour représenter au mieux le débordement du Wimereux et de ses affluents principaux. Pour cela, le modèle réalisé au cours de « l'étude hydrologique et hydraulique des bassins versants du Boulonnais » en 2014-2015, pour le compte de la DDTM62, sera utilisé et mis à jour. Aussi, la méthodologie présentée ci-dessous reste inchangée au regard de celle décrite au sein de cette même étude.

2.1 Approche pluie-débit à l'échelle du bassin versant

L'approche numérique retenue consistera à modéliser **la transformation de la pluie en débit sur le bassin versant du Wimereux**, au moyen d'une (ou plusieurs) fonction(s) de production (estimation de la pluie nette à partir de la pluie brute, modélisation des pertes au ruissellement), associée(s) à une fonction de transfert (transport de cette pluie nette à l'exutoire des bassins versants d'apport).

Cette méthode permettra d'exploiter les données pluviométriques des stations situées sur ou à proximité du bassin versant et d'utiliser les caractéristiques topographiques et surfaciques locales pour générer les hydrogrammes.

2.1.1 Objectifs et limites de la modélisation pluie-débit

Les objectifs de la modélisation pluie-débit à l'échelle du bassin versant sont d'évaluer et de fournir les hydrogrammes de crue pour les scénarios de référence retenus sur le Wimereux pour tous les apports (têtes de bassin versant, affluents principaux et secondaires), afin de représenter la dynamique de formation et de propagation des crues.

Le modèle pluie-débit (modèle hydrologique) est intégré au modèle hydraulique, qui sera présenté plus loin dans le présent document, et qui permet quant à lui d'estimer les niveaux au sein du réseau hydrographique modélisé, et de cartographier les débordements et l'aléa induit.

La partie ci-après décrit les données utilisées et la structure du modèle pluie-débit couplé au modèle hydraulique.

2.1.2 Le découpage en sous bassins versants

L'objectif du découpage en sous-bassins est de représenter finement la contribution intrinsèque à chaque bassin de drainage tout au long du linéaire du Wimereux. La particularité du bassin versant du Wimereux est de posséder un « chevelu » hydrographique très dense. Il est donc nécessaire de représenter finement les surfaces d'apports de ces différents affluents pour que la réponse globale du modèle hydraulique soit la plus fidèle possible.

2.1.2.1 Préparation du MNT

Le MNT de base a un pas de 25 m et est issu de la BD Alti. Avant de réaliser tout traitement de ce MNT, il faut combler les « puits », qui sont en fait des défauts du MNT. Cette étape est essentielle car ces dépressions entraînent une accumulation de l'eau, et la continuité du chemin hydraulique sera donc perturbée.

Cette étape se fera sous SAGA GIS par le module Terrain Analysis > Preprocessing. Plusieurs méthodes sont possibles pour éliminer ces « puits ». La méthode « Fill Sinks (Planchon et Darboux 2001) a été retenue». A l'issue de cette étape, le MNT est donc exploitable.

Remarque : Pour le découpage des bassins versants, le MNT au pas de 25 m (précision de 50 cm) sera utilisé plutôt que les levés LIDAR au pas de 1 m (précision de 10 cm) car cette opération ne nécessite pas une précision aussi fine qu'un pas de 1 m. Par contre, dans le cadre de la modélisation, ce sont bien les données LIDAR qui seront utilisées.

2.1.2.2 Création d'une grille d'accumulation

A partir de la topologie de la zone étudiée, SAGA GIS va déterminer l'accumulation d'eau dans chaque cellule, et mettre ainsi en évidence les cellules drainant une grande surface (les cellules des cours d'eau) et les cellules ne drainant quasiment rien (les cellules les plus élevées). Cette étape va donc mettre en évidence les cours d'eau.

La grille d'accumulation obtenue, donnant pour chaque cellule du MNT le nombre de cellules s'écoulant vers cette dernière, est présentée dans la figure suivante.

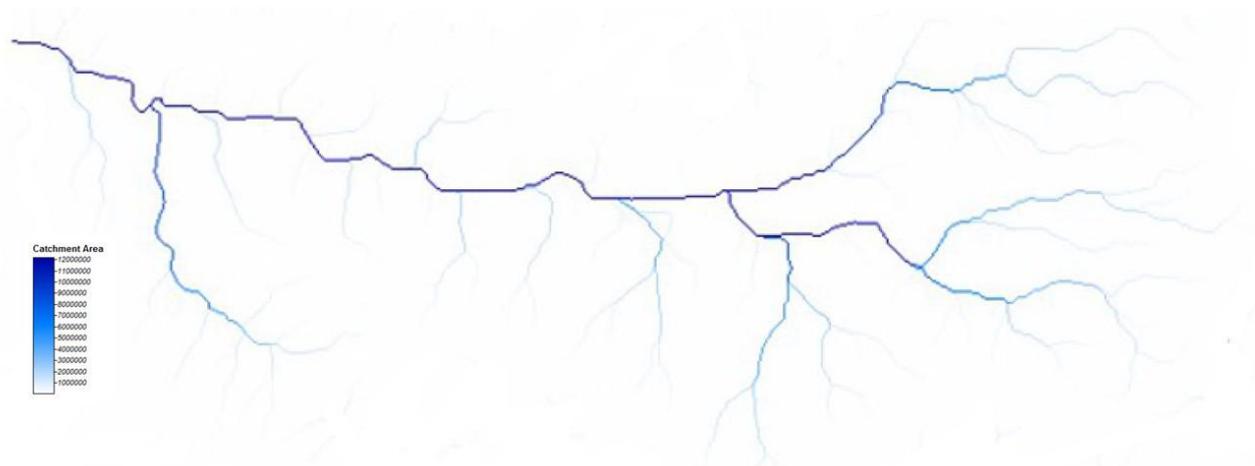


Figure 1 : Grille d'accumulation obtenue sous SAGA GIS

On retrouve bien ci-dessus le tracé du Wimereux et de ses affluents.

2.1.2.3 Création du réseau hydrographique

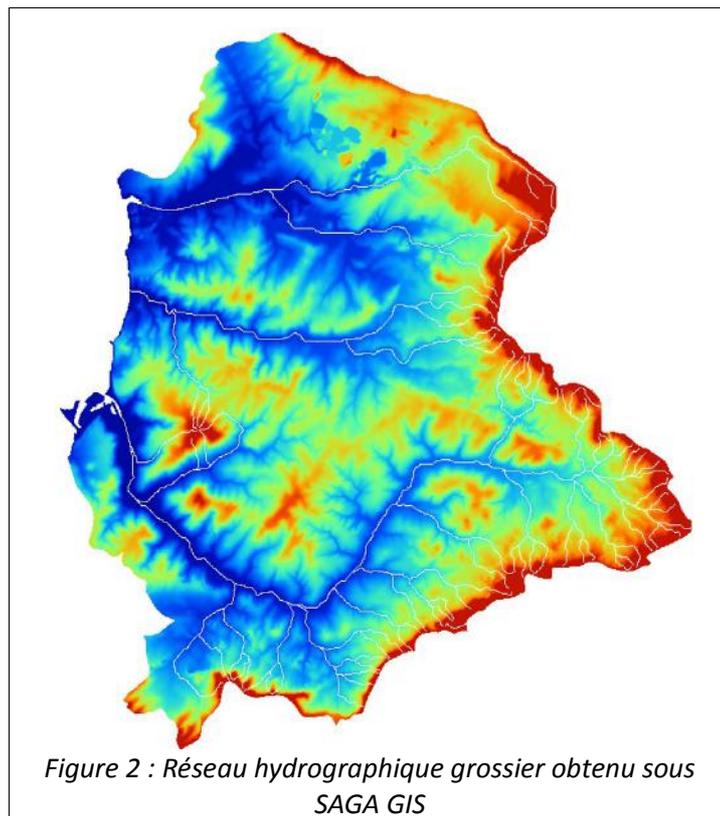
Une fois la grille d'accumulation réalisée, SAGA GIS va pouvoir construire le réseau hydrographique. Cette étape est importante car elle déterminera la finesse de la découpe en bassins versants.

Deux paramètres sont à déterminer au cours de cette étape :

- Initiation Threshold : c'est la surface minimale de drainage que doit avoir un cours d'eau pour être pris en compte. Plus ce seuil sera élevé, moins le nombre de cours d'eau pris en compte dans le réseau sera grand ;
- Minimum Segment Length (optionnel) : c'est la longueur minimale d'un cours d'eau pour qu'il soit pris en compte dans le réseau hydrographique.

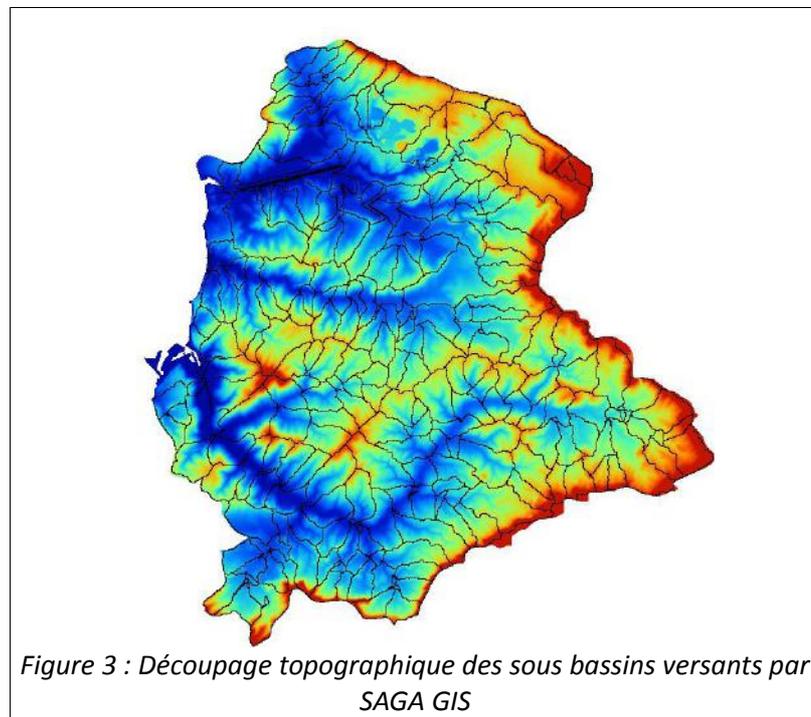
Ces deux paramètres détermineront la finesse du réseau hydrographique, et donc le nombre de sous-bassins versants créés.

Dans notre cas, ces paramètres permettront de prendre en compte les cours d'eau de rang 1, 2, 3 et 4, tout en ne sélectionnant que ceux d'une certaine importance.



2.1.2.4 Découpage automatique des sous-bassins versants

SAGA GIS propose un découpage en sous-bassins versants basé sur la topographie comme l'illustre la figure suivante.



2.1.2.5 Correction manuelle du découpage

Le découpage ainsi basé sur la topographie ne prend pas nécessairement en compte toutes les modifications anthropiques (remblais, déblais, etc...) qui peuvent être présentes au sein du bassin versant global. Dans les zones où la déclivité est particulièrement faible, une attention particulière sera nécessaire et une reprise du découpage automatique pourra être à envisager.

Une étape de correction des limites des sous-bassins en fonction de la présence ou non d'éléments anthropiques est alors réalisée suivie d'un regroupement de certains sous-bassins versants pour lesquels le découpage automatique pouvait être trop fin.

2.1.2.6 Découpage final en sous bassins versants d'apports

Lors de l'étude de 2014-2015 le bassin versant du Wimereux a été découpé en 69 sous-bassins versants, représentés ci-après. Après intégration des affluents, dans le cadre de la présente étude, ce découpage sera éventuellement adapté.

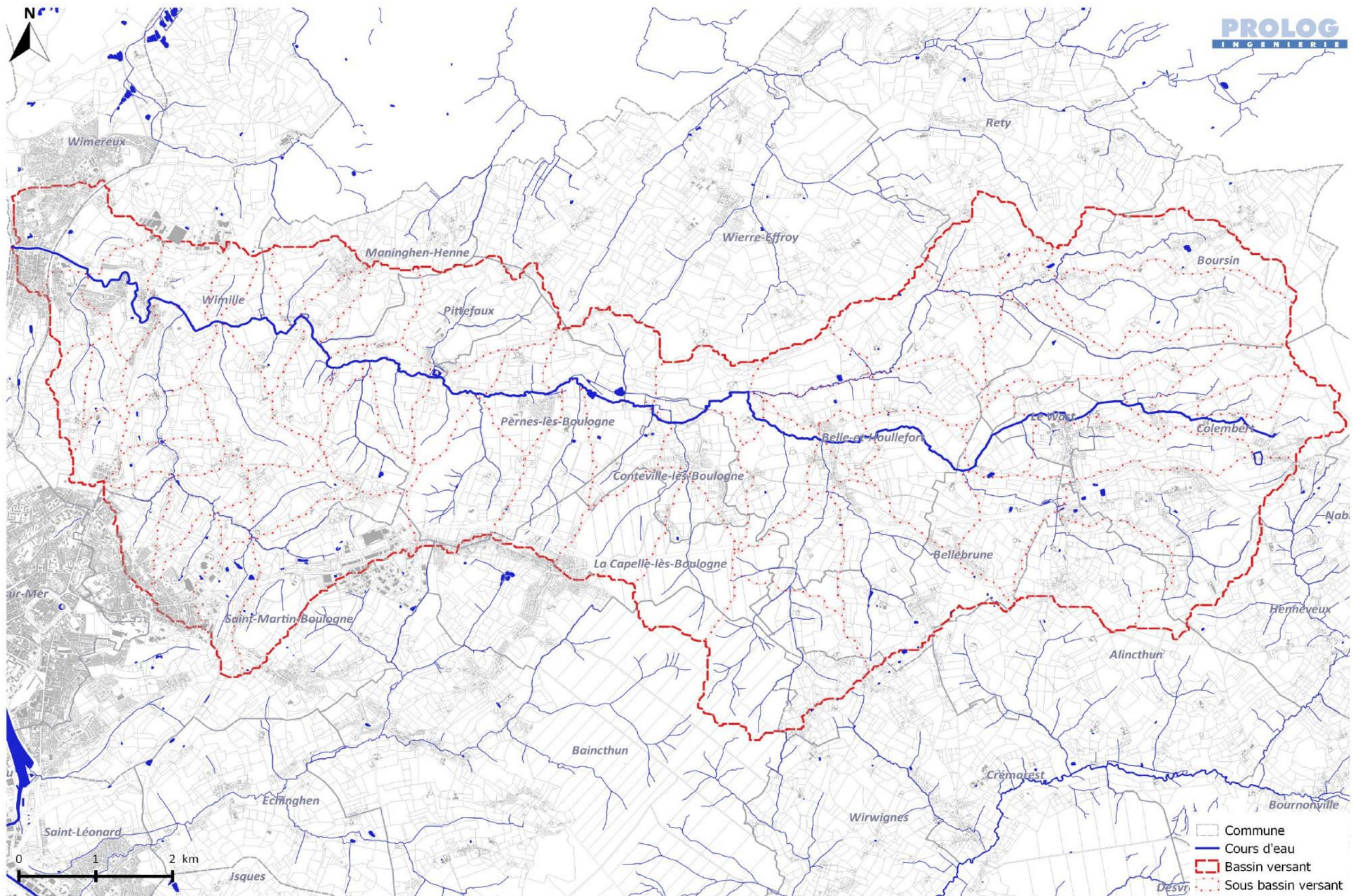


Figure 4 : Sous bassins versants du Wimereux

2.1.3 Mise en œuvre de la méthode pluie-débit

2.1.3.1 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 bassin versant, à un hydrogramme représentant le débit restitué par ce bassin versant.

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.

2.1.3.2 Choix de la fonction de production

En raison des caractéristiques du bassin versant du Wimereux (occupation des sols principalement rural sauf au niveau des communes de Wimille et Wimereux), deux fonctions de production seront utilisées :

- **pour les sous-bassins d'apport ruraux**, la fonction de production utilisée se basera sur le modèle du NRCS (National Resources Conservation Service, ex-Soil Conservation Service) qui permet de rendre compte des pertes initiales et est particulièrement adaptée aux surfaces rurales peu imperméabilisées. Toutefois, lors du calage du modèle, si cette méthode s'avère peu adaptée, une autre fonction de production (modèle de Horton par exemple) sera utilisée.

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

- 4 types de sol A, B, C et D définis en fonction des caractéristiques géologiques des sols et notamment de leur perméabilité (forte, moyenne, faible et très faible) ;
- 3 hypothèses de conditions pluvieuses antécédentes :
 - I : conditions sèches ;
 - II : conditions normales ;

■ III : conditions très humides

En se basant sur le profil géologique de son sous-sol, le bassin versant du Wimereux **peut être globalement caractérisé par des sols peu perméables de type C**. Le calage des crues historiques permettra de valider ce type de sols. Les hypothèses sur les conditions antécédentes sont propres à chaque événement pluvieux. Elles seront définies, pour un événement donné, sur la base d'une analyse des conditions pluviométriques antécédentes.

La pluie nette est calculée de la façon suivante :

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

Où :

- Pbrute et Pnette sont exprimés en mm,
- S est le paramètre de rétention (mm), calculé à partir du Curve Number :

$$S = 33,8 \times \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)^{1,15}$$

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

La détermination des valeurs du paramètre CN se basera sur l'hypothèse de sol mentionnée précédemment si elle s'avère pertinente et sera réalisée à l'échelle de chaque sous-bassin versant d'apport en fonction de l'occupation du sol, de la pratique agricole et de la végétation.

- **pour les sous-bassins d'apports urbains** (imperméabilisation supérieure à 25%), une fonction de production à coefficient de ruissellement constant sera utilisée. Ce coefficient de ruissellement constant Cr sera égal à Cp x IMP où IMP est le coefficient d'imperméabilisation du sous-bassin versant considéré (rapport de la surface imperméabilisée sur la surface totale) et Cp le coefficient de production.

Le coefficient de production Cp traduit le fait que l'ensemble des surfaces imperméables ne contribue pas au ruissellement (stockage dépressionnaire, pertes continues, etc.).

Les pertes initiales Pi sont typiquement comprises entre 0,5 mm et 2 mm et seront ajustées lors du calage du modèle.

La pluie nette (hauteur d'eau ruisselée Hr) sera alors calculée à partir de la pluie brute (hauteur d'eau précipitée Hp) selon la formule suivante :

$$Hr = Cr \times (Hp - Pi)$$

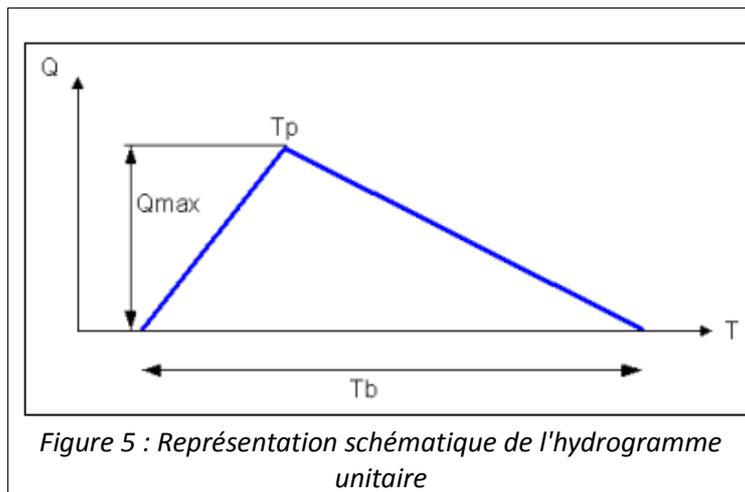
Ce modèle hydrologique est le plus classiquement utilisé en hydrologie urbaine et est adapté aux bassins versants fortement urbanisés de la partie aval du territoire d'étude.

L'imperméabilisation de chaque sous-bassin versant sera évaluée à partir de l'occupation des sols. Cette dernière est égale au rapport de la surface imperméabilisée (route, toits, ...) sur la surface totale. Les valeurs de ces coefficients seront ajustés sur la base du calage des épisodes de crues historiques.

2.1.4 Choix de la fonction de transfert

Là encore deux fonctions de transfert seront utilisées pour différencier les sous bassins versant ruraux et urbains :

- **pour les sous-bassins d'apports ruraux**, la fonction de production du NRCS sera associée au modèle de l'hydrogramme unitaire afin de calculer les hydrogrammes à l'exutoire des sous-bassins versants du Wimereux. Ce modèle se base sur trois paramètres :
 - le temps de montée au pic (**Tp**) ;
 - le temps de base de l'hydrogramme (**Tb**) ;
 - le débit de pointe de l'hydrogramme (**Qmax**).



Ces trois paramètres sont définis à partir des caractéristiques géométriques des sous-bassins versant (temps de concentration) ainsi que des caractéristiques propre à la pluie étudiée (notamment la durée de la pluie nette après infiltration).

La formulation retenue pour définir le temps de concentration (Tc) des sous-bassins versants est celle du SCS-RURAL, adaptée au caractère rural des sous-bassins, et qui définit Tc comme

$$T_c = \frac{T_L}{0.8} = \frac{1}{0.8} \times 2.7 \times \left(\frac{L}{\sqrt{P}} \right)^{0.221}$$

avec :

- T_c le temps de concentration en heures ;
- T_L le décalage temporel en heures ;
- L la longueur hydraulique du sous-bassin en km ;
- p la pente du sous-bassin en m/km

Les différents paramètres de l'hydrogramme unitaire sont ensuite calculés de la façon suivante :

$$T_p = f_{ts} + f_{tp} \times T_c \quad (1)$$

avec :

- T_p : temps de montée au pic ;
- T_c : temps de concentration du sous-bassin ;
- f_{ts} le facteur pas de temps qui pour l'approche SCS retenue se calcule comme étant la durée de la pluie nette (après infiltration) divisée par 2 ;
- f_{tp} le facteur de montée au pic fixé à 0,8 (valeur couramment utilisée)

$$T_b = 2,67 \times T_p \quad (2)$$

avec :

- T_b : temps de base de l'hydrogramme ;
- T_p : temps de montée au pic

Le débit de pointe de l'hydrogramme est ensuite défini très simplement via la formulation suivante :

$$Q_{max} = 2/T_b \quad (3)$$

- **pour les sous-bassins d'apports urbains**, la fonction de transfert classiquement utilisée en hydrologie urbaine est celle du réservoir linéaire, utilisée pour des sous-bassins avec une imperméabilisation supérieure à 25%. Cette fonction représente le bassin versant comme un réservoir qui se vidange.

La formule reliant linéairement le débit de vidange (Q) à l'exutoire du bassin versant en fonction du volume stocké au sein du bassin versant (S) est du type :

$$S(t) = K \times Q(t)$$

K est la constante de réservoir linéaire, calculée ici à partir de la formule de Desbordes simplifiée (modèle « SPRINT » du logiciel Inforworks ICM):

$$K = 5,3 \times A^{0,30} \times \left(\frac{IMP}{100}\right)^{-0,45} \times p^{-0,38}$$

- Où :
 - A est la superficie du bassin versant (ha);
 - p est la pente du bassin versant (%);
 - IMP est le taux d'imperméabilisation du bassin versant (sans unité);

2.1.5 Mise en œuvre opérationnelle de l'approche pluie-débit

2.1.5.1 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.

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

2.1.5.2 Génération des hydrogrammes

Le processus hydrologique décrit précédemment, à savoir l'application d'une pluie brute réduite à une pluie nette par la fonction de production puis transformée en lame d'eau d'eau ruisselée par la fonction de transfert, découlera sur le calcul d'un hydrogramme de débit à l'exutoire de chaque sous-bassin versant.

Les hydrogrammes seront injectés ponctuellement au niveau du Wimereux ou de 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 et l'évacuation à la mer.

2.2 Modélisation de l'aléa débordement

2.2.1 Principe général de la modélisation 1D-2D

L'approche retenue pour représenter au mieux l'aléa débordement sur l'ensemble du linéaire du Wimereux et de ses affluents principaux se base sur une modélisation dite couplée.

- **Le Wimereux et les affluents principaux seront représentés selon une approche unidimensionnelle**, qui fait l'hypothèse dans les biefs d'un écoulement majoritairement perpendiculaire à la section du cours d'eau, 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. Les écoulements y sont calculés selon les équations de Barré de Saint Venant, basées sur la conservation de la masse et du mouvement. Aussi, la résolution de ces équations prend en compte la section mouillée, la pente des biefs ainsi que la rugosité du fond du lit.

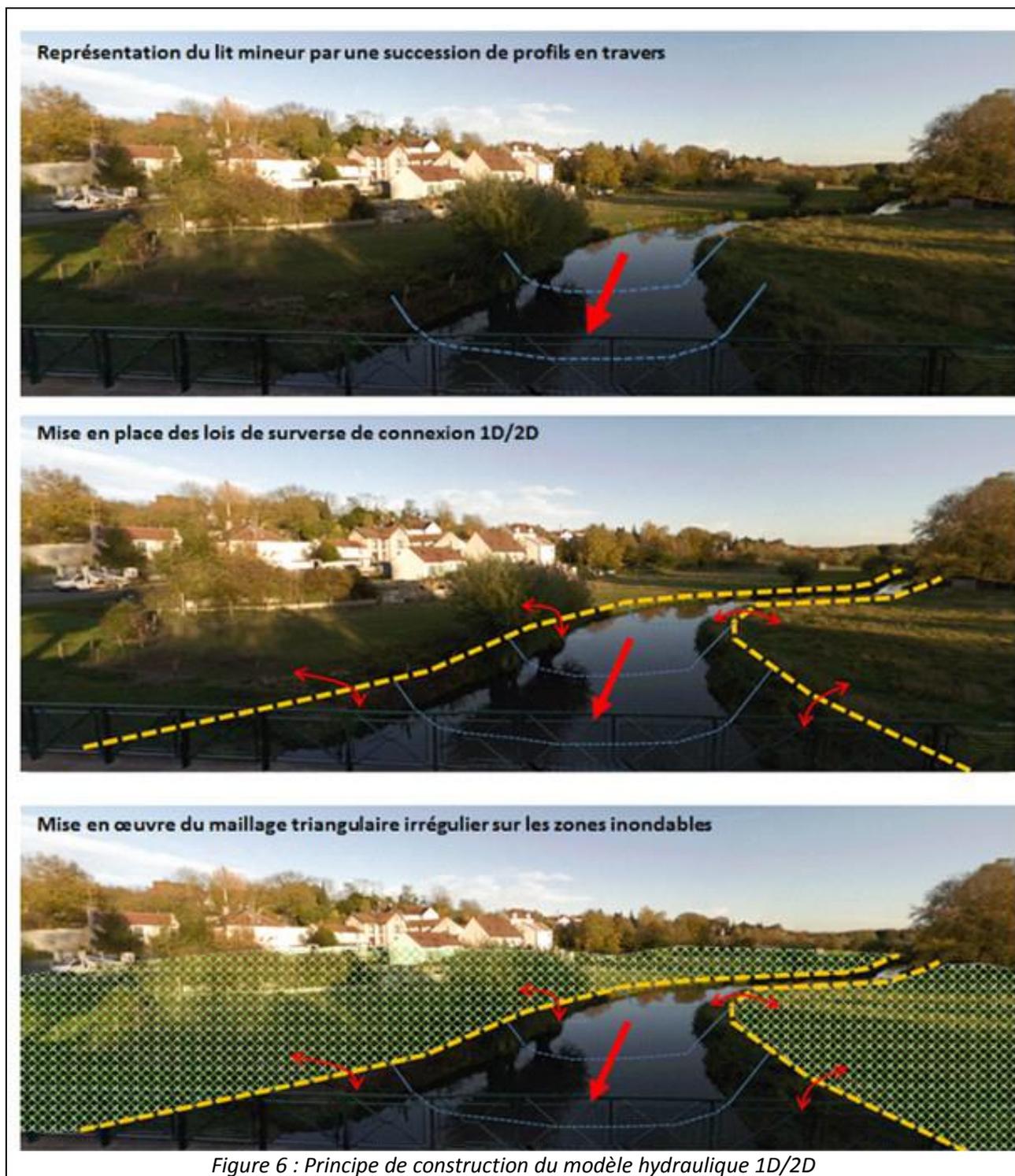
Ces hypothèses simplificatrices sont admissibles dans le lit mineur des cours d'eau et permettent de couvrir des linéaires importants en conservant des temps de calculs opérationnels. Tous les types d'ouvrages impactant la ligne d'eau et les écoulements en lit mineur pourront être intégrés dans la schématisation unidimensionnelle. Les écoulements au droit de ces ouvrages, et notamment la relation entre le débit transitant via l'ouvrage et les niveaux amont/aval correspondants, seront calculés sur la base d'équations théoriques ou empiriques éprouvées.

- **Le lit majeur sera quant à lui représenté par un schéma dit bidimensionnel sauf sur les secteurs sans enjeux (modélisation 1D étendu dans ce cas-là)**. Pour rappel, pour un tel schéma, aucune hypothèse concernant les directions prises par l'écoulement ou encore quant aux phénomènes d'inondation prédominants à l'inverse des approches unidimensionnelles n'est effectuée. 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 équations décrivant les écoulements sont celles dites de Navier-Stokes¹, avec l'hypothèse d'une vitesse constante sur toute la hauteur de l'écoulement en un point donné. Le calcul des écoulements est de ce fait bidimensionnel (selon la direction x et y).

- **L'ensemble des ouvrages (fixes, mobiles) ou obstacles** venant perturber les écoulements, au sein du lit mineur (ponts, seuils) ou dans le lit majeur (bassins de rétention, buses) peuvent être intégrés à la modélisation. Leur impact sur les écoulements sera calculé sur la base d'équations théoriques ou empiriques (loi d'orifice, loi de seuils, ...). Toutefois, l'ajout des ouvrages ayant un impact sur les temps de calculs des simulations, leur intégration dépendra de leur incidence sur l'écoulement en période de hautes eaux.
- La connexion entre ces espaces 1D et 2D, se produit principalement au droit des hauts de berge, points de transition naturelle entre ces deux fonctionnements distincts, les écoulements au sein du lit mineur d'une part et la propagation des eaux débordées. 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.

1 Equations dites « Shallow Water Equations », applicables dans tous les domaines où les variations de vitesse verticale dans la tranche d'écoulement sont négligeables, par conséquent dans les cas où la profondeur n'est pas significative par rapport aux dimensions x et y des écoulements.



2.2.2 Modélisation des écoulements du Wimereux et de ses affluents

2.2.2.1 Représentation du lit mineur

Le lit mineur du Wimereux et de l'ensemble des affluents principaux seront donc représentés par une succession de profils en travers, pour lesquels des levés géométriques précis ont été réalisés ou sont en cours de réalisation.

En effet, les profils en travers sont issus de différentes sources :

- 76 profils au format Autocad sont disponibles, de Colembert (source) jusqu'à la mer, et datent de 2010 ;
- des levés complémentaires (116 profils en travers et 195 ouvrages) ont été réalisés et concernent les affluents du Wimereux, cités d'amont en aval ci-dessous :
 - le ruisseau du Plouy ;
 - le ruisseau de la fosse Tourniche ;
 - la Prêle et les ruisseaux de Bellebrune et de la Vignette ;
 - les ruisseaux de Badhuy et du Breuil se jetant dans tous deux dans le ruisseau de Grigny ;
 - les ruisseaux du Pont Jean Marck et de la Fontaine des Charmes traversant la commune de Conteville-lès-Boulogne ;
 - le ruisseau de Pernes et Cadet ;
 - le ruisseau traversant le centre-bourg de Pittefaux ;
 - le ruisseau du Denacre ;
 - le ruisseau d'Auvringhen ;

Ces affluents sont représentés au sein de la carte page suivante.

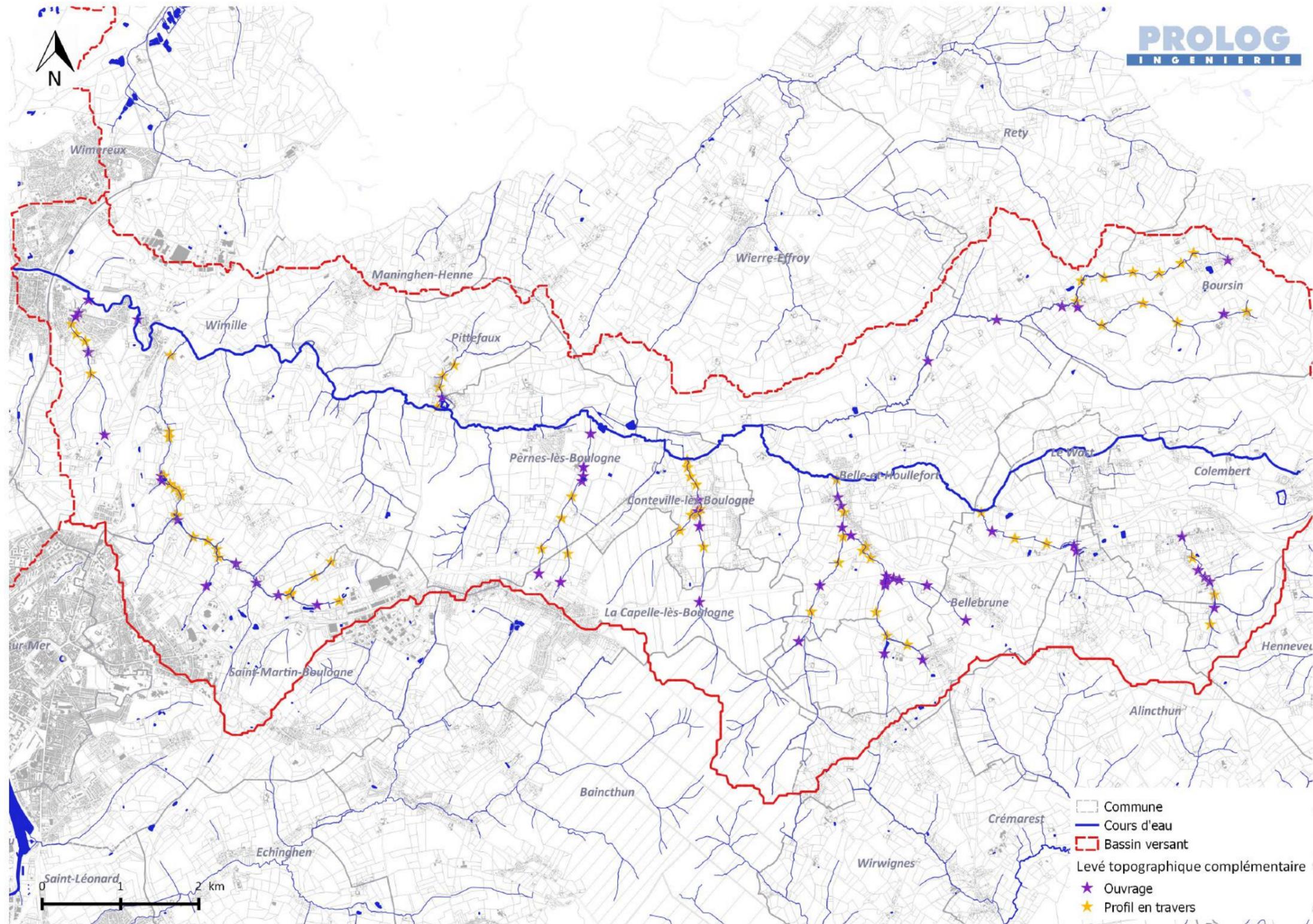


Figure 7 : Localisation des levés et profils complémentaires des principaux affluents du Wimereux

2.2.2.2 Ouvrages

Les principaux ouvrages du Wimereux ont été intégrés dans le modèle de l'étude 2014-2015. Les levés complémentaires d'ouvrages décrits précédemment et concernant essentiellement les affluents de la Liane ont été ajoutés dans le cadre de cette étude.

2.2.2.3 Conditions aux limites aval

Un marégramme prenant en compte le cycle des marées sera imposé à l'exutoire du modèle du Wimereux pour les crues de calage retenues et les scénarios de référence.

2.2.3 Modélisation des débordements en lit majeur

Les débordements en lit majeur sont représentés selon la morphologie du cours d'eau :

- dans le cas où le lit mineur est encaissé, les débordements seront représentés par le biais de profils en travers, l'hypothèse quant à un écoulement unidimensionnel donc perpendiculaires aux sections des cours d'eau restant valide ;
- en revanche lorsque le lit majeur est plus étendu (Zone d'Expansion de Crue, ou encore aux abords des confluences), l'écoulement ne pouvant être contraint selon une direction, l'ensemble de ces derniers seront représentés par une modélisation bidimensionnelle, basée 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, nécessaire à la construction du maillage sont les suivantes :
 - **la topographie**, qui caractérise le relief, les pentes et obstacles du modèle ;
 - **l'occupation des sols**, qui permet de définir leur rugosité.

Les principales étapes de construction de ce maillage sont décrites au sein du Tableau 1 : Étapes de construction du maillage de calcul 2D.

Les figures pages suivantes permettent de visualiser les différents types de modélisation pour caractériser les débordements en lit majeur pour le bassin versant du Wimereux.

La présence de clapets anti-retour au sein de la traversée de Wimille empêchant tout refoulement des eaux du Wimereux dans les réseaux, ces derniers n'ont donc pas été intégré.

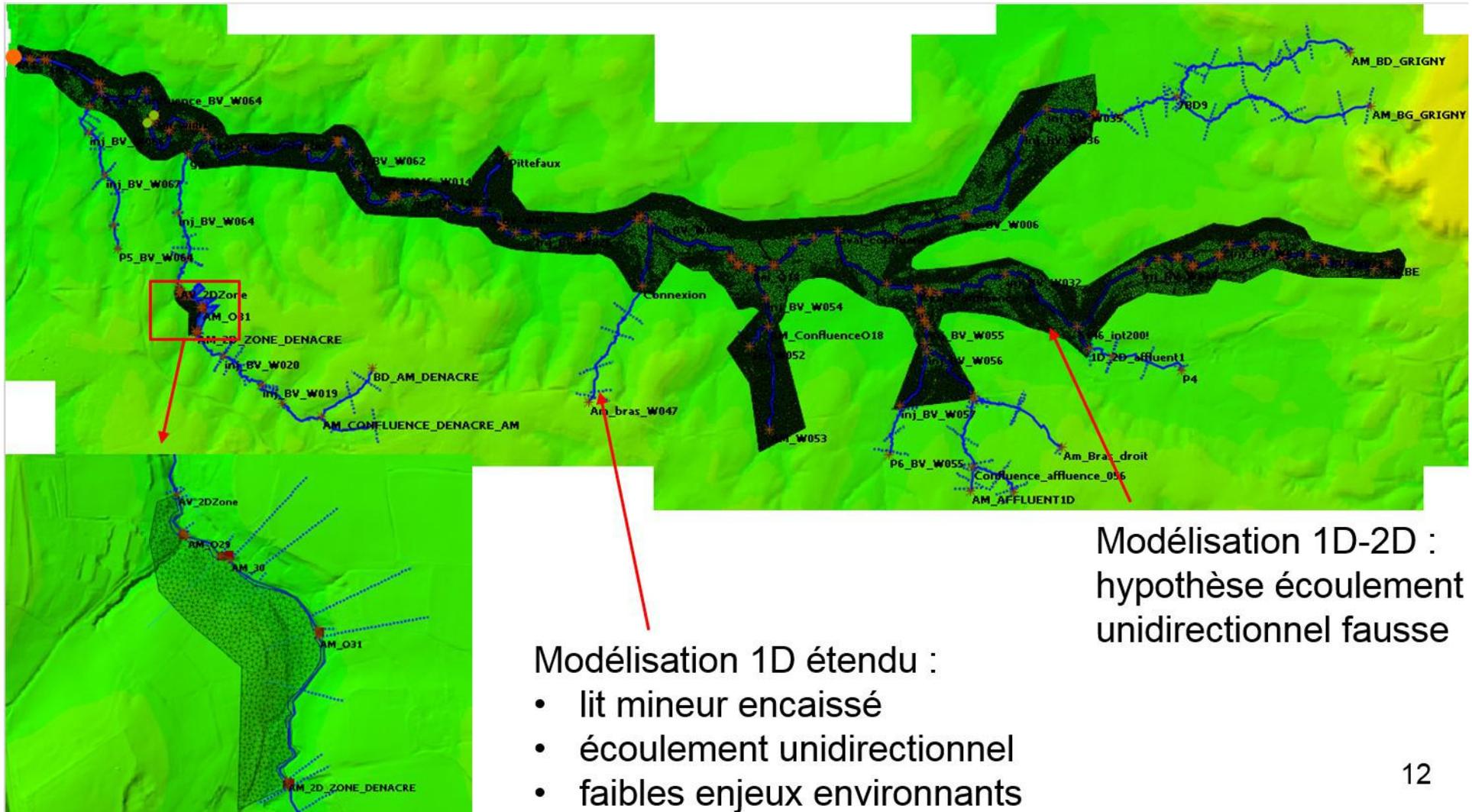


Figure 8 : Deux types de modélisation des écoulements en zones inondable

2.3 Prise en compte des interactions avec la nappe

Lors des rencontres avec les communes, des pertes et des résurgences liées à la présence de karst ont été identifiés aux abords de la commune du Wast notamment. L'absence de localisation précise et de données sur ces phénomènes ne permet pas une représentation fine de ces derniers.

Les interactions du Wimereux avec la nappe seront ainsi pris en compte par le biais d'une variation du débit de base. La campagne de mesures du SYMSAGEB donnera des informations sur la répartition des débits de base mais les valeurs devront être ajustées au regard de l'événement considéré et des conditions pluvieuses antécédentes.

Partie - 3 Aléa ruissellement

3.1 Transformation pluie-ruisellement

Il est 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.

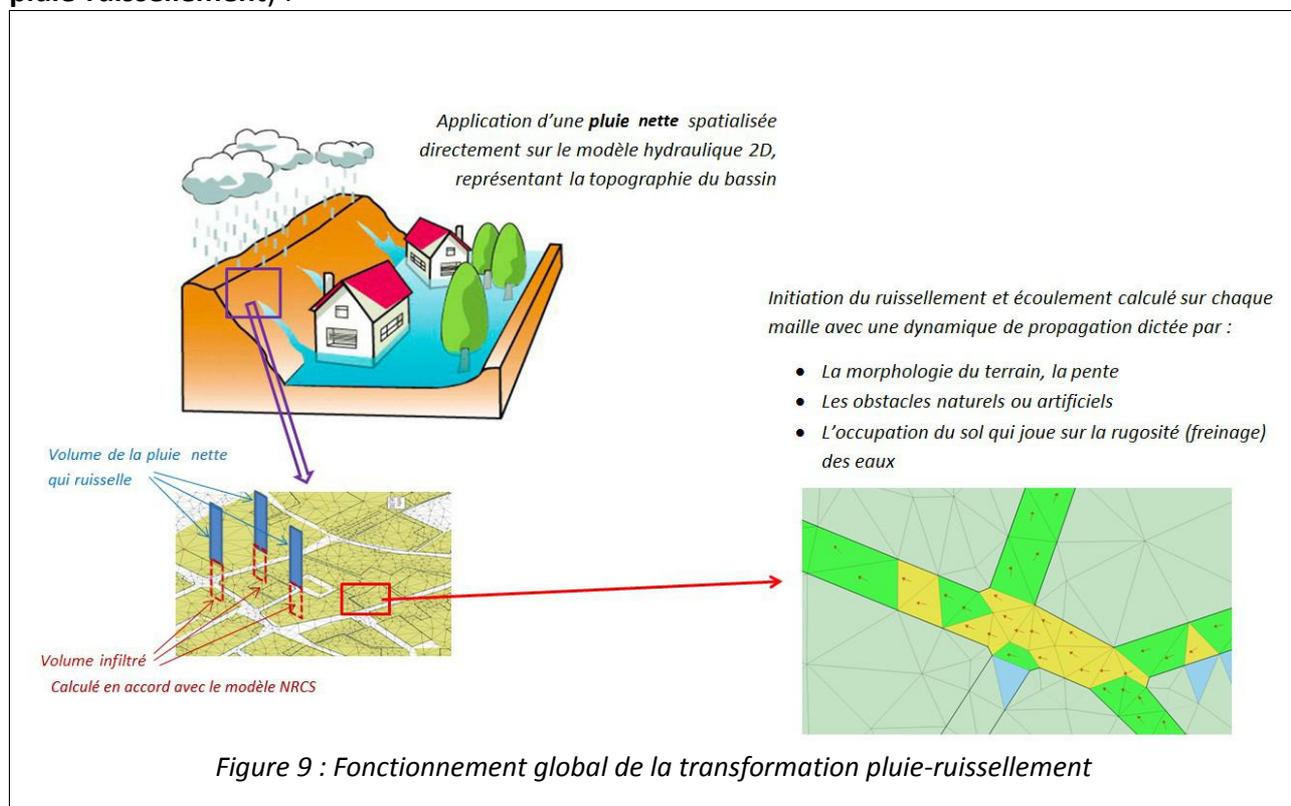
Ces phénomènes de ruissellement peuvent se produire en tout point d'un bassin versant et sont difficilement quantifiables, à l'opposé par exemple de la crue d'un cours d'eau, dont le débit peut être mesuré en un point précis du bassin-versant, à l'exutoire d'une zone de collecte.

Une étape majeure de la caractérisation de l'aléa inondation par des phénomènes de ruissellement sera donc de représenter fidèlement la transformation de la pluie tombée (pluie brute), en volume d'eau qui va ruisseler, en évaluant correctement les pertes, c'est à dire le volume d'eau qui ne participera pas au ruissellement.

La méthodologie mise en œuvre pour cette transformation est décrite dans la section suivante.

La particularité de l'approche proposée par rapport à la méthode pluie-débit décrite au chapitre précédent est que la pluie sera appliquée directement sur un modèle bi-dimensionnel de calcul des écoulements et non sur des sous-bassins versants.

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



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. La pluie nette, appliquée directement sur le maillage 2D, sera majorée afin de contrer les pertes au niveau des différents points bas du maillage.

Aussi, par le biais de cette méthode, les conditions de saturation des sols en eau au début de l'événement seront identiques à celles du modèle débordement, qui aura été calé auparavant.

3.2 Modélisation de l'aléa ruissellement

3.2.1 Modèle bi-dimensionnel (2D)

Le modèle hydraulique construit sera un modèle bidimensionnel (2D). Il couvre l'intégralité de la zone d'étude et permettra ainsi de caractériser les phénomènes de **ruissellement** sur l'ensemble du bassin versant du Wimereux. Cette modélisation permettra ensuite de différencier les zones de production, de transition et d'accumulation.

Deux représentations des phénomènes de ruissellement seront envisagées :

- la première représentera par le biais d'un modèle ruissellement indépendant du modèle débordement le ruissellement en tête de bassin, non soumis à l'aléa débordement et ne recensant que peu d'enjeux ;
- la seconde sera quant à elle couplée au modèle débordement, afin de prendre en compte l'interaction entre ces deux phénomènes et sur des zones à enjeux.

Le module bidimensionnel d'ICM se base sur un système de maillage du territoire pour sa modélisation 2D. Chaque maille est un élément de calcul qui représente la topographie et prend en compte la rugosité des sols. La forme du maillage est également influencée par les obstacles que l'on retrouve sur les versants (remblais, ouvrages, ponts, etc).

La méthodologie de construction de ce modèle est décrite pas à pas au sein du tableau ci-après :

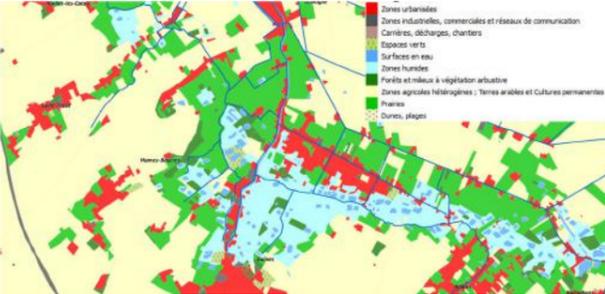
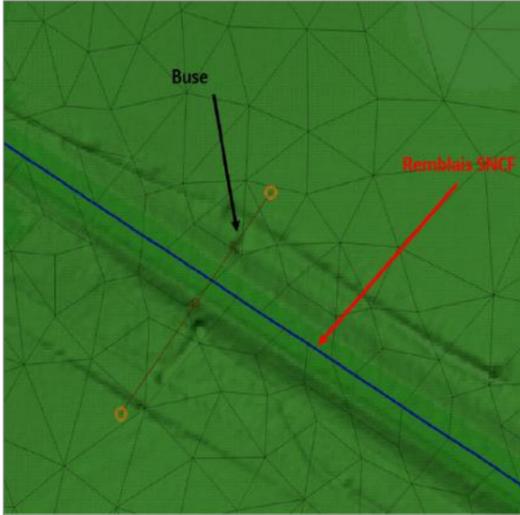
Étape	Objectifs	Détail et commentaires	Illustrations (tirées du PPRI des pieds de coteaux)
1	Prise en compte de l'effet de freinage/accélération des différentes couvertures de sol	<p>Il s'agit ici de sectoriser le périmètre d'étude en différentes zones d'écoulement dont les coefficients de rugosité seront 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 SIGALE et chaque zone se verra affecter un coefficient de Strickler correspondant à sa couverture de sol.</p> <p>Le maillage sera contraint vis-à-vis de ces zones de rugosité.</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. En effet, les équations de Saint-Venant n'étant pas adaptées pour ces phénomènes, il est donc important de mettre une loi de seuil au passage d'un remblai, d'une digue, par l'intermédiaire d'un élément spécifique du modèle qui applique 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 seront intégrés dans le modèle sur la base de leurs géométries réelles</p>	

Tableau 1 : Étapes de construction du maillage de calcul 2D

La précision du maillage de calcul 2D repose en grande partie sur la finesse du modèle numérique de terrain (MNT) utilisé. Dans le cadre du PPRI – PAPI des bassins versants du Boulonnais, les données topographiques mises à notre disposition sont :

- le MNT RGE de la BD ALTI de l'IGN (mailles de 25 m avec une précision d'environ 50 cm) ;
- les courbes de niveau à pas de 5 m de la BD ALTI de l'IGN ;
- les levés LIDAR du 29 mars 2014 réalisés par AERODATA (mailles d'un mètre avec une précision inférieure à 10 cm).

Les levés LIDAR étant les plus précis seront utilisés en priorité.

3.2.2 Conditions aux limites

Comme énoncé dans le paragraphe 2.1, l'objectif de l'approche pluie-ruissellement est d'utiliser le profil des précipitations pour simuler les écoulements dans le modèle. Les pluies nettes réelles ou théoriques seront donc appliquées directement sur la maillage de calcul 2D.

Partie - 4 Calage hydrologique et hydraulique

4.1 Calage des modèles débordement et ruissellement du bassin versant du Wimereux

4.1.1 Généralités

Une fois le modèle construit, il est nécessaire de procéder à sa validation en analysant sa réponse aux événements pluvieux réels ayant touchés le bassin versant, et le confrontant aux données historiques (repères de crues) et quantitatives (mesures de débit et de niveaux aux stations hydrométriques). Il est indispensable 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 par conséquent qu'il rend bien compte de la dynamique des débordements et des échanges lit mineur/lit majeur.

On distingue deux types de témoignages historiques :

- les témoignages ponctuels ou surfaciques (voiries ou lotissements 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 un fiabilité plus ou moins représentative) que l'on appelle « repères de crue ».

Ce calage 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). Les données limnimétriques sur les cours d'eau serviront aussi de points de comparaison.

Les témoignages non quantifiés servent de validation qualitative et comportementale, en particulier pour les phénomènes de ruissellement.

4.1.2 Principe et valeurs retenues

Le calage hydrologique se base donc sur la comparaison du débit de pointe et de la forme de l'hydrogramme (volume) calculés par le modèle et les débits aux stations de mesures. Les paramètres de calage correspondent aux coefficients qui dictent la répartition entre la part de pluie qui contribue au ruissellement et les pertes (par interception par la végétation éventuelle, par stockage dans les dépressions du sol, par infiltration dans le sous-sol). Le calage est jugé bon lorsque l'écart modèle – mesure est de +/- 10 %. Notons que la mesure est elle aussi caractérisée par une certaine incertitude, qui peut être dans certains cas bien supérieure à l'écart constaté avec le modèle.

Pour le calage hydraulique, une comparaison est faite entre les niveaux d'eau simulés par le modèle et les hauteurs reconstituées lors de l'analyse historique ou mesurées aux stations. 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. Les comparaisons sont ainsi adaptées à la qualité de la mesure ou de l'observation. Il existe ainsi une incertitude sur la hauteur d'eau dans les maisons, beaucoup plus importante que sur une laisse nivelée ou un niveau à une station de mesure.

La pertinence des points de calage hydraulique est appréciée en fonction de l'écart des résultats du modèle par rapport aux repères de crue ou stations de mesures selon trois classes.

<i>Écart (en cm) entre les niveaux historiques et modélisés</i>	<i>Validité du calage</i>
[-20 cm ; +20 cm]	Bonne
[-50 cm ; +50 cm]	Moyenne
< -50 cm ou > +50 cm	Mauvaise

Tableau 2 : Classes de validité du calage hydraulique du modèle

Pour les témoignages, en revanche la validité du calage résultera de la présence ou non d'eau au droit de ces zones.

Les points de calage présentant une validité « moyenne » ou « mauvaise » ont systématiquement été vérifiés de manière exhaustive afin d'identifier l'origine de la divergence.

Aussi, les paramètres hydrologiques et hydrauliques retenus pour représenter la dynamique des inondations sur le territoire d'étude sont présentés au sein des paragraphes suivants.

La saturation en eau des sols, correspond pour les événements de novembre 2009, de novembre 2012 à un CN de type sol imperméable présentant des conditions pluvieuses antécédentes très soutenues soit un CN CIII. Pour l'épisode de hautes eaux de janvier 2016, une moyenne entre les conditions pluvieuses II et III a été retenue.

Le tableau page suivante présente les valeurs des CN en fonction de l'occupation des sols.

La rugosité différenciée sur laquelle s'appuie le maillage de calcul bidimensionnel, et autorisant une représentation fine des débordements dans le lit majeur est également présentée ci-dessous.

Le coefficient de frottement au sein du cours d'eau principal, à savoir le Wimereux et des affluents principaux définis par le biais des coefficients de Strickler à été fixé à $15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

Une fois calé et validé sur plusieurs événements, le modèle sera exploité pour simuler l'aléa de référence.

		Coefficients CN														
		Autres céréales	Chantiers	Commercial	Eau	Espace ouvert	Forêts	Friche	Industriel	Paturages	Routes	Serres	Urbain dense	Urbain moyen	Verger	
Coefficients CN	AMC I	A	43.0	53.4	76.4	0.0	30.2	19.8	59.4	64.4	12.0	94.8	48.6	59.4	34.2	22.2
		B	57.0	65.8	81.6	0.0	49.8	40.0	71.6	74.8	39.0	94.8	57.0	70.0	51.0	33.4
		C	67.2	73.2	85.2	0.0	61.8	54.6	79.8	79.8	57.0	94.8	64.4	78.0	63.0	46.2
		D	73.2	76.4	87.0	0.0	68.6	61.8	85.2	83.4	67.2	94.8	68.6	81.6	70.0	52.2
	AMC II	A	63.0	72.0	89.0	0.0	49.0	36.0	77.0	81.0	25.0	98.0	68.0	77.0	54.0	39.0
		B	75.0	82.0	92.0	0.0	69.0	60.0	86.0	88.0	59.0	98.0	75.0	85.0	70.0	53.0
		C	83.0	87.0	94.0	0.0	79.0	73.0	91.0	91.0	75.0	98.0	81.0	90.0	80.0	66.0
		D	87.0	89.0	95.0	0.0	84.0	79.0	94.0	93.0	83.0	98.0	84.0	92.0	85.0	71.0
	AMC III	A	81.4	88.6	97.8	0.0	69.0	56.0	92.2	94.6	45.0	99.6	85.4	92.2	74.0	59.0
		B	91.0	95.2	81.6	0.0	86.2	79.0	97.2	97.6	78.2	99.6	91.0	97.0	87.0	73.0
		C	95.8	97.4	85.2	0.0	93.4	89.4	98.2	98.2	91.0	99.6	94.6	98.0	94.0	83.8
		D	97.4	97.8	87.0	0.0	96.4	93.4	98.8	98.6	95.8	99.6	96.4	98.4	97.0	87.8

Tableau 3 : Valeurs de CN en fonction de l'occupation des sols (la ligne grisée correspond à la classe retenue pour le calage hydrologique des événements de novembre 2009 et 2012)

Classes rugosité	Coefficient de rugosité
Axes routiers principaux	40
Espaces verts - Prairies	20
Forêt	11
Plans d'eau	60
Zones Agricoles	25
Zones industrielles, commerciales, scolaires et réseaux de communication	15
Zones urbanisées	15

Tableau 4 : Rugosité différenciée du lit majeur

4.1.3 Événements de calage

4.1.3.1 Calage de la crue de janvier 2016

Calage hydrologique

La campagne de mesures réalisée au cours de l'hiver 2015-2016 par le SYMSAGÉB autorise le calage du Wimereux sur l'ensemble de son linéaire ainsi qu'au niveau de ses affluents principaux à savoir :

- le Grigny ;
- la Prêle ;
- le Denacre.

Ces mesures de débits sont cependant soumises à une incertitude relativement importante pouvant aller jusqu'à 40 % d'après la société OTECH Environnement qui a réalisé ces mesures. Cet écart en terme de débit de pointe sera jugé comme tolérable pour l'ensemble des points de mesures.

Pour cet événement, la chronique de débit de la station hydrométrique de Wimille est également disponible.

L'hydrogramme mesuré en W3 ne représentant pas la réponse hydrologique du Wimereux suite au troisième épisode pluvieux, ce point de mesure ne sera donc pas comparé au modèle.

La carte ci-dessous rappelle la localisation de l'ensemble de ces points sur le bassin versant du Wimereux.

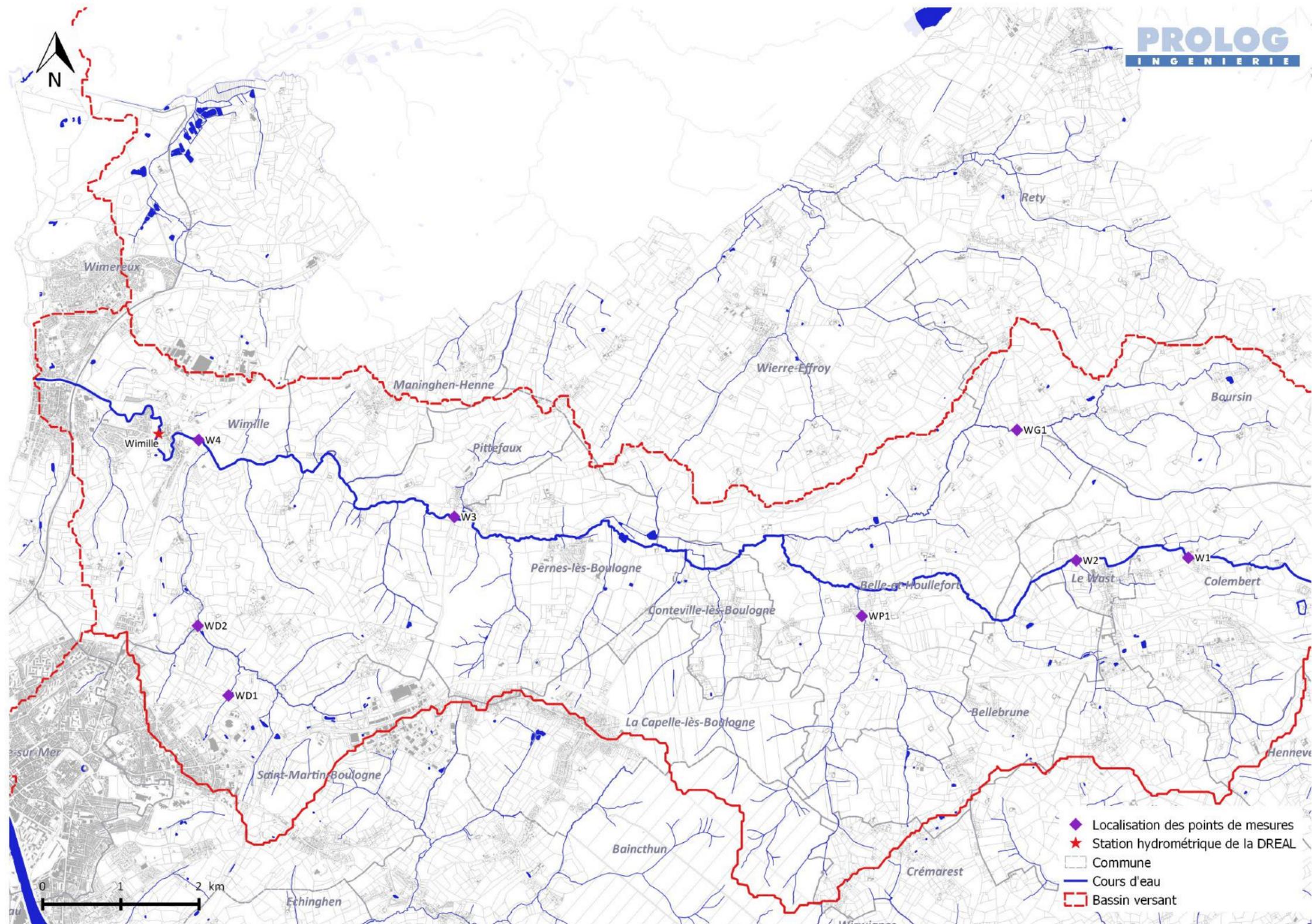


Figure 10 : Localisation des points de mesures sur le bassin versant du Wimereux

Les graphiques ci-dessous présentent d'amont en aval la comparaison des hydrogrammes pour l'ensemble de ces points.

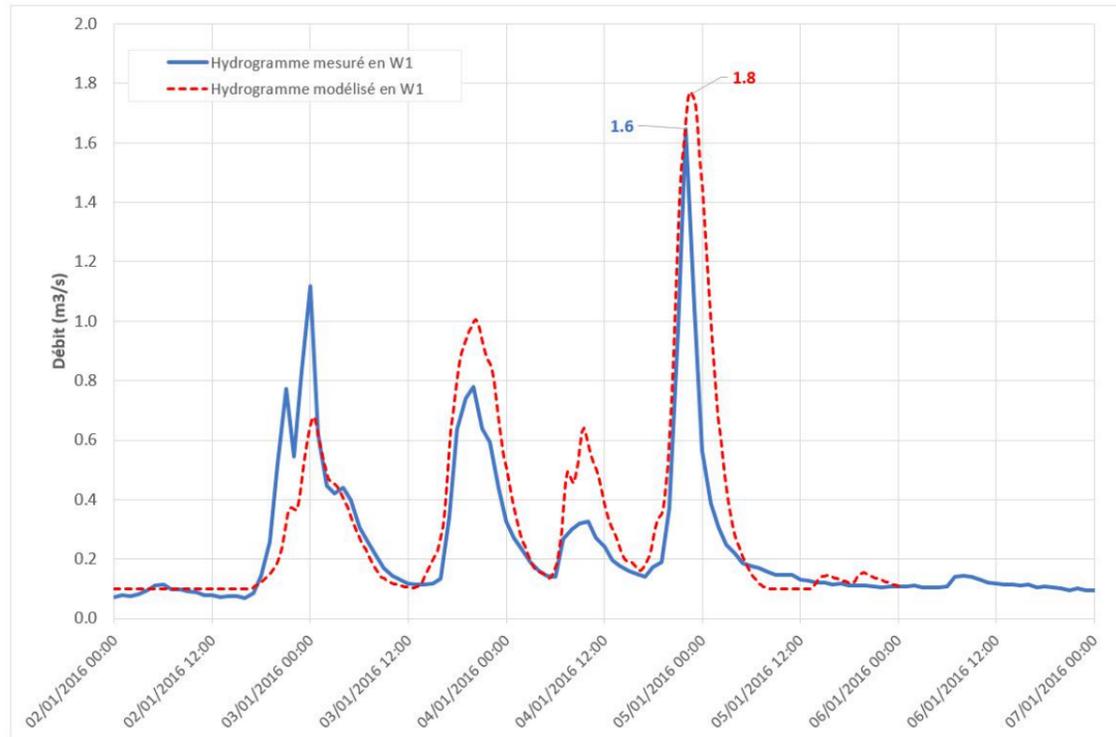


Figure 11 : Hydrogrammes mesuré et simulé en W1 (crue de janvier 2016)

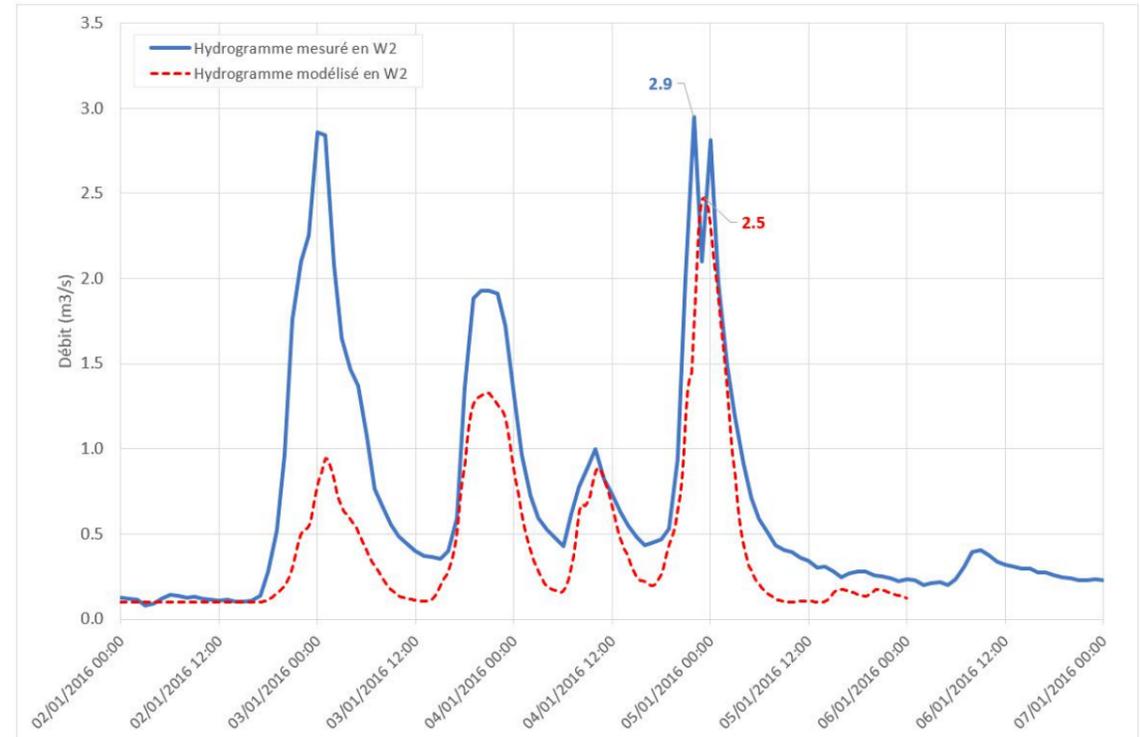


Figure 12: Hydrogrammes mesuré et simulé en W2 (crue de janvier 2016)

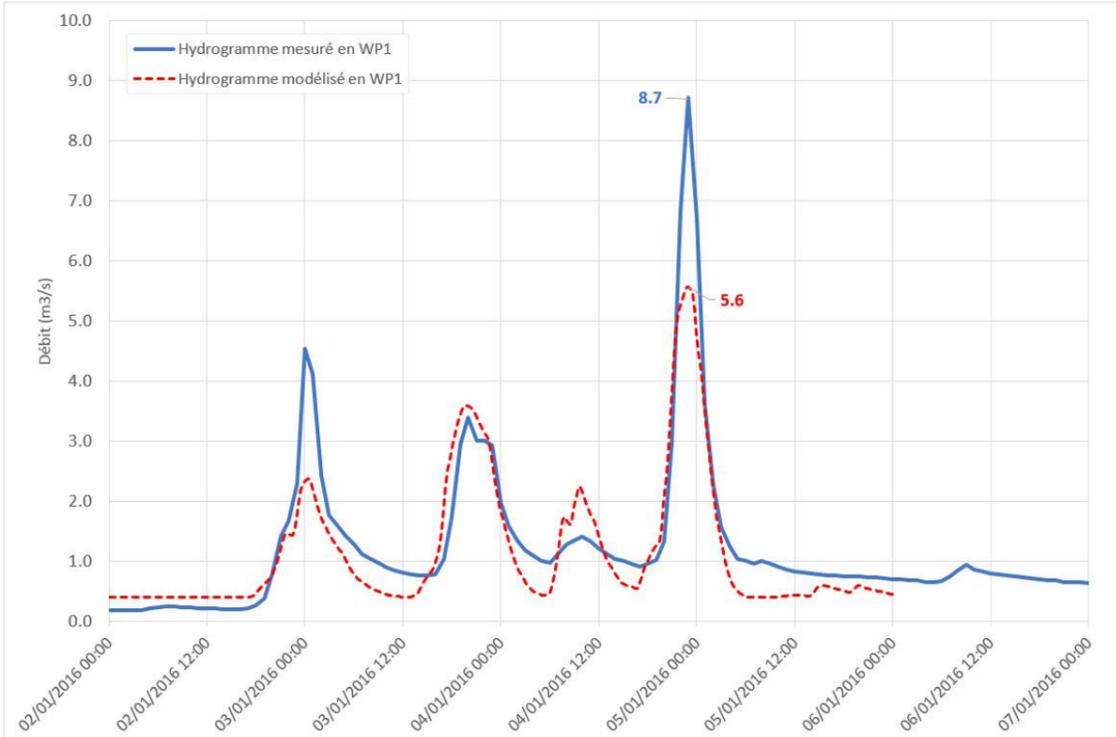


Figure 13: Hydrogrammes mesuré et simulé en WP1 (crue de janvier 2016)

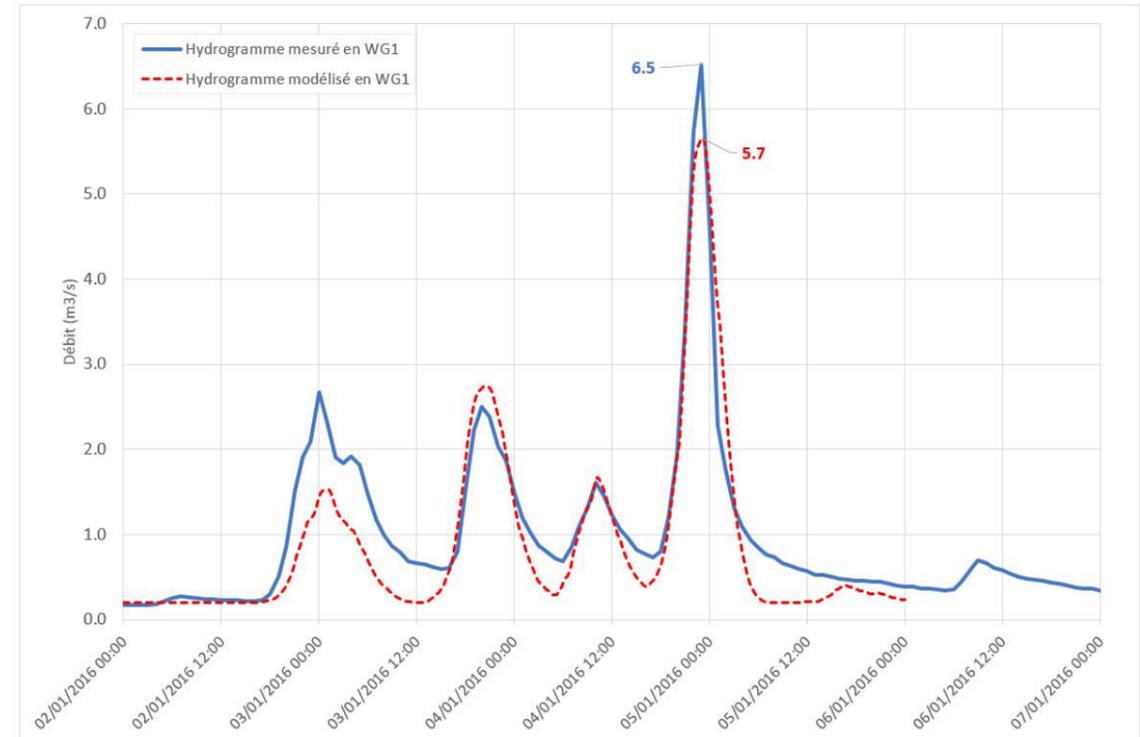


Figure 14: Hydrogrammes mesuré et simulé en WG1 (crue de janvier 2016)

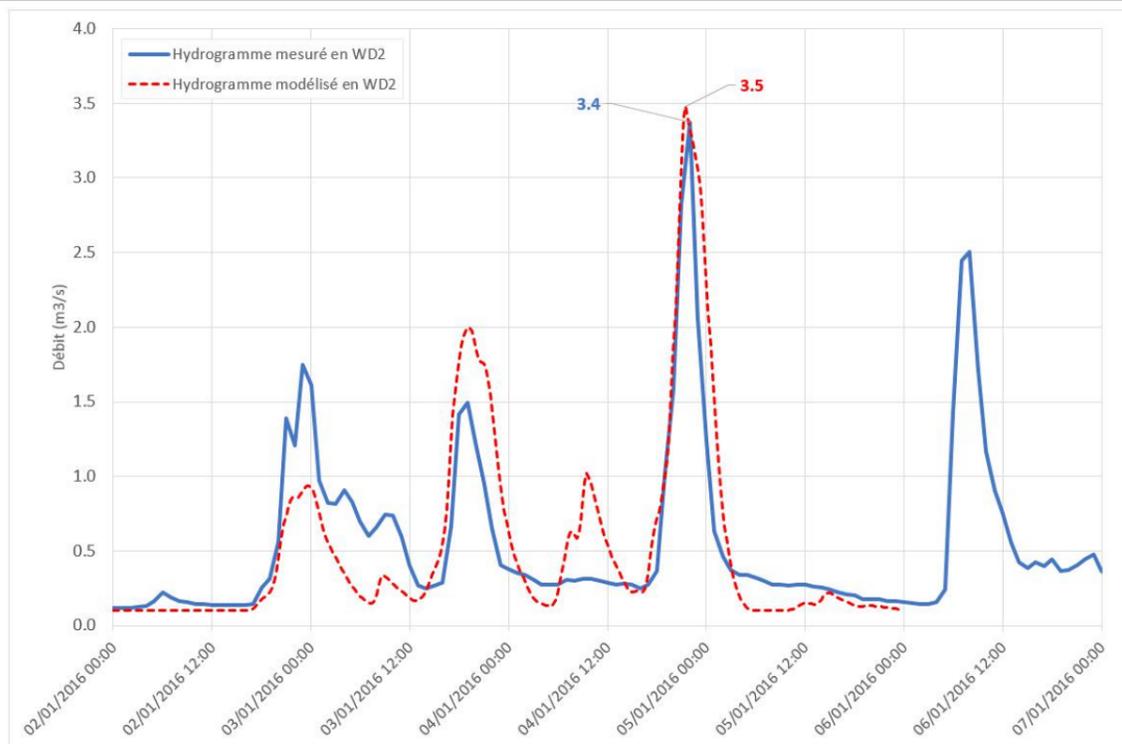


Figure 15 : Hydrogrammes mesuré et simulé en WD2 (crue de janvier 2016)

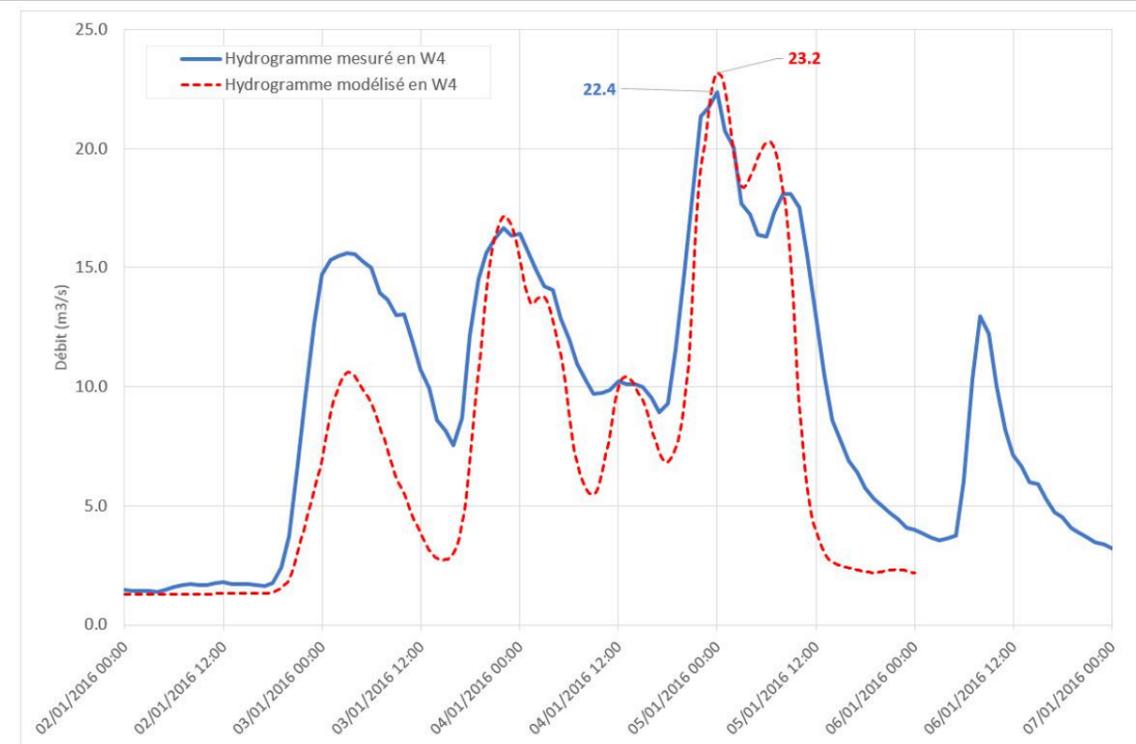


Figure 16 : Hydrogrammes mesuré et simulé en W4 (crue de janvier 2016)

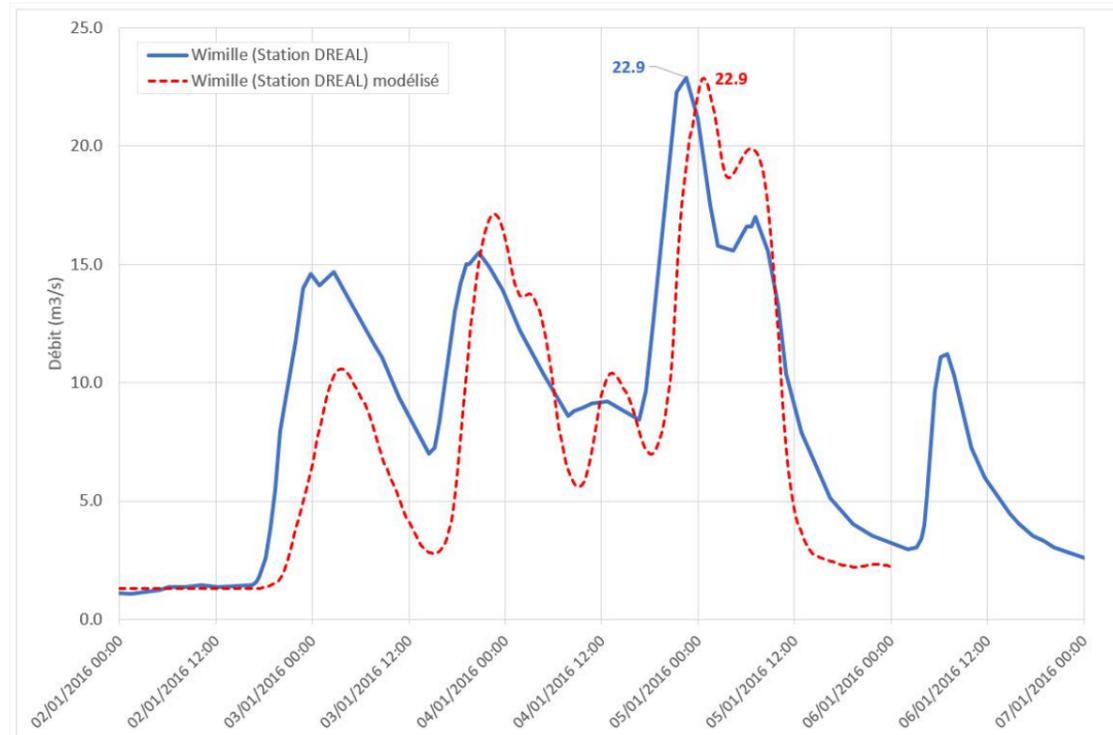


Figure 17 : Hydrogrammes mesuré et simulé à la station de Wimille (crue de janvier 2016)

Le tableau ci-dessous synthétise l'erreur relative entre la mesure et le débit de pointe modélisé pour l'ensemble des stations de mesures.

Point de mesure	Qpointe mesuré (m ³ /s)	Qpointe modélisé (m ³ /s)	Erreur (%)
W1	1,6	1,8	12,5
W2	2,9	2,5	13,5
WP1	8,7	5,6	35,5
WG1	6,5	5,7	12,5
WD2	3,4	3,5	3,0
W4	22,4	23,2	3,5
Wimille (DREAL)	22,8	23,2	1,5

Tableau 5 : Comparaison des débits de pointe modélisés et mesurés pour l'événement de janvier 2016

L'erreur relative reste inférieure à 40 % pour l'ensemble des points de mesures temporaires et est de 1,5 % pour la station de référence du cours d'eau (i.e. station hydrométrique de Wimille). Même s'il reste dans la fourchette de précision de la mesure, un écart plus important que sur les autres points de mesures, de 35,5 %, est visible sur la Prêle. Les niveaux calculés sont cependant cohérents avec ceux mesurés (voir tableau 6).

Il est donc possible de conclure quant à la bonne représentativité hydrologique du modèle pour l'épisode de hautes eaux de janvier 2016.

Calage hydraulique

Il convient maintenant d'analyser la réponse hydraulique du Wimereux en comparant les niveaux d'eau mesurés à ceux simulés aux points de mesures présentés précédemment.

Les résultats sont synthétisés au sein du tableau suivant :

	Niveau max mesuré (m NGF)	Niveau max simulé (m NGF)	Différence (cm)
W1	64,36	64,33	- 3
W2	45,27	45,38	+ 11
WP1	36,18	36,22	+ 4
WG1	44,12	43,97	- 15
WD2	40,76	40,80	+ 4
W4	10,00	9,95	- 5
Wimille	7,08	7,12	+ 4

Tableau 6 : Comparaison des niveaux max mesurés et modélisés pour l'événement de janvier 2016

Au regard de ces résultats il est donc possible de conclure quant à la validité du calage du modèle réalisé aussi bien en terme de réponse hydrologique qu'hydraulique.

4.1.3.2 Calage de la crue de novembre 2012

Rappel : Cette crue de novembre 2012 avait été modélisée lors de l'étude de 2014, réalisée par PROLOG Ingénierie pour la DDTM62. Certaines communes riveraines de la Liane avaient été consultées pour donner leur avis sur les emprises inondées. De plus, lors des rencontres avec les communes de juin et juillet 2016 durant la présente étude, les communes ont globalement donné un avis positif sur ces mêmes emprises modélisées.

Calage hydrologique

Pour cet événement on dispose d'une chronique de débit issue de la station hydrométrique située à Wimille, qui donne un débit de pointe pour l'épisode considéré de 33,4 m³/s. La modélisation de la crue de novembre 2012 permet de reconstituer un débit de pointe de 33,0 m³/s.

Ainsi, le modèle reproduit fidèlement la réponse du bassin versant en terme de débit de pointe, la sous-estimation étant d'environ 1 %.

En terme de dynamique et de volume, la superposition de l'hydrogramme mesuré et de celui simulé par le modèle à Wimille permet de conclure quant à **la bonne représentativité hydrologique de l'approche mise en place pour la crue de novembre 2012.**

A noter qu'un léger décalage temporel (inférieur à deux heures) est observé entre les deux hydrogrammes, sans incidence sur les résultats du modèle, dans la mesure où le comportement hydrologique du bassin versant (débit de pointe, volume et forme de l'hydrogramme) pour cet événement est bien restitué.

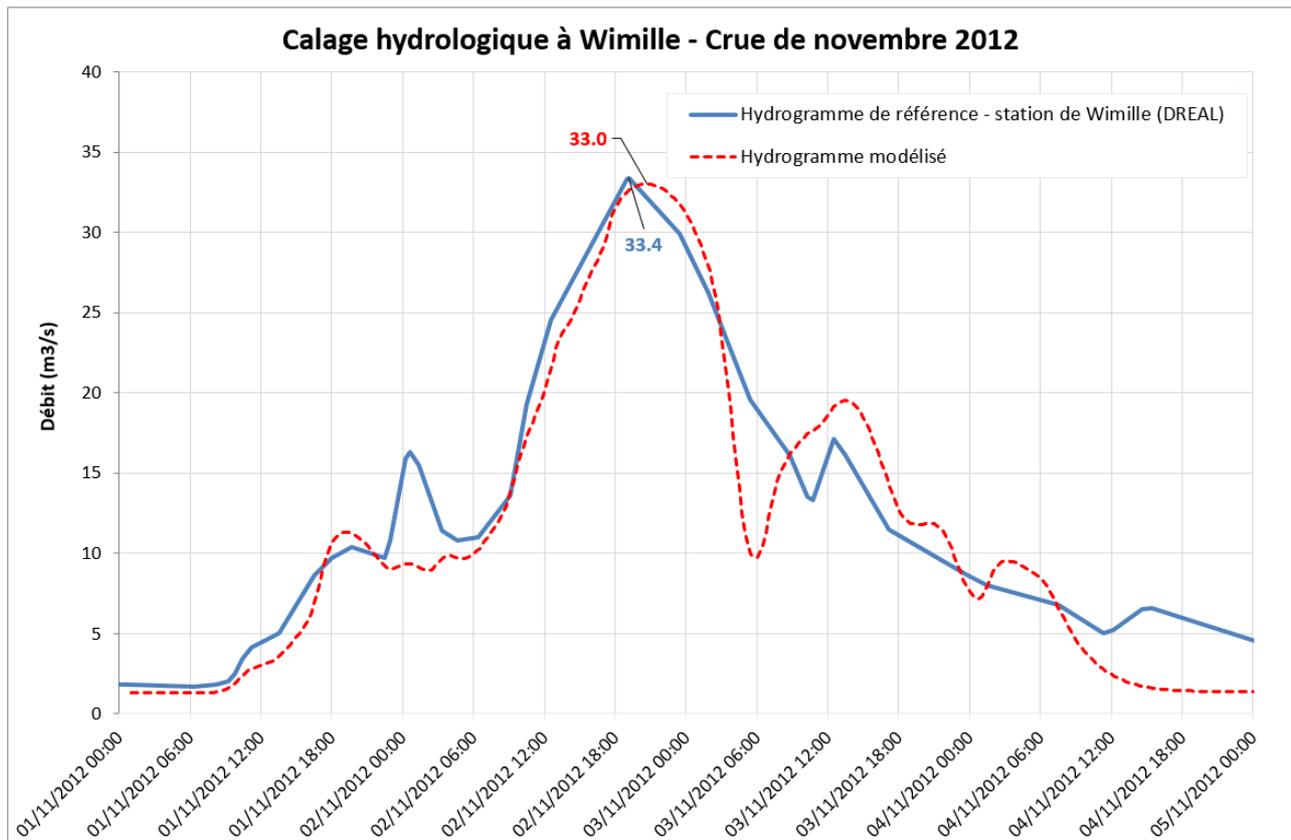


Figure 18 : Hydrogrammes mesuré et simulé à la station de Wimille (crue de novembre 2012)

Calage hydraulique

Il convient également de s'assurer de **la bonne représentativité hydraulique du modèle**, et donc de s'assurer que la reproduction des niveaux d'eau historiques observés le long du Wimereux est correcte.

Pour cet événement, les données de calage sont :

- le limnigramme de la station hydrométrique de Wimille ;
- les témoignages ;
- les Zones d'Inondation Constatées (ZIC) fournies par la DDTM62.

L'ensemble des données a été dûment comparé aux résultats de la simulation numérique par le biais de calcul de marge d'erreur, de cartes représentant les emprises inondables, etc.

Le tableau ci-dessous synthétise l'écart relatif entre la mesure et le niveau d'eau simulé au droit de la station hydrométrique de Wimille.

	Niveau max mesuré (m NGF)	Niveau max simulé (m NGF)	Différence (cm)
Wimille	7,62	7,71	+ 9

Tableau 7 : Comparaison du niveau mesuré et modélisé au droit de la station hydrométrique de Wimille

Le tableau ci-dessous confronte les résultats du modèle avec les témoignages récoltés au cours de l'analyse historique. Des cartes ci-après permettent de localiser ces derniers.

Témoignage	Commune	Fiabilité	Observation	Résultat modèle	Différence (modèle/observation)
P_WIMI_123_01_11_2012	Wimille	3	Inondation constatée	Débordement du Wimereux	Faible
P_WIMI_127_01_11_2012	Wimille	3	Inondation constatée	Inondation constatée	Faible
P_WIMI_119_01_11_2012	Wimille	3	Inondation constatée (18 rue du Lieutenant Michel Dely)	Habitation touchée par les eaux	Faible
P_PER_115_01_11_2012	Pernes-lès-Boulogne	3	Bâtiment inondé à cause des débordements dans la plaine située à proximité de la rue de la Fontaine	Habitation touchée par les eaux	Faible
P_PER_116_01_11_2012	Pernes-lès-Boulogne	3	Bâtiment inondé à cause des débordements dans la plaine située à proximité de la rue de la Fontaine	Habitation touchée par les eaux	Faible

Tableau 8 : Comparaison des niveaux historiques et modélisés sur le bassin versant du Wimereux pour la crue de novembre 2012

Aussi, l'ensemble des témoignages est correctement reproduit par le modèle hydraulique réalisé.

Les cartes présentées ci-après permettent de comparer les emprises inondables modélisées issues du débordement des cours d'eau ainsi que des phénomènes de ruissellement avec les ZIC. Ont également été ajoutés, les témoignages ainsi que les axes de communications atteints pas les eaux. La comparaison entre ces ZIC et les résultats du modèle montre globalement une bonne représentation des champs d'inondation historiques et des zones de désordres locales et ce sur l'ensemble du bassin versant du Wimereux. Certaines zones peuvent toutefois présenter des différences en termes d'emprise entre observations historiques et résultats du modèle. Ces différences peuvent s'expliquer par l'incertitude existante sur la précision des lignes de berges (berges précises à 10-20 cm), ce qui de ce fait, peut avoir un impact sur la mise en eau ou non d'une zone d'expansion historique, ou encore à la non représentation de fossés privés ayant pu déborder au cours de cet événement.

L'emprise inondable modélisée au niveau de la commune de Conteville-lès-Boulogne sous-estime légèrement la ZIC délimitée par la DDTM62. Cependant, il s'avère que la partie de la ZIC non inondée par le modèle est plus haute topographiquement, et la limite de l'emprise inondable modélisée correspond au pied du coteau. Aussi, cet écart semble s'apparenter comme étant davantage lié à une approximation de la ZIC plutôt qu'à une erreur de modélisation dont l'emprise est contrainte par la topographie du territoire. Il est aussi à noter que cette différence avait été soulignée lors de l'étude de 2014 mais de façon bien plus importante et que l'intégration du Ruisseau du Point Jean Marck et la modélisation du ruissellement améliorent nettement la représentation de la ZIC.

A la vue de tous ces résultats, il est possible de conclure quant à la validité du calage du modèle pour la crue de novembre 2012, aussi bien en terme de réponse hydrologique que de comportement hydraulique.

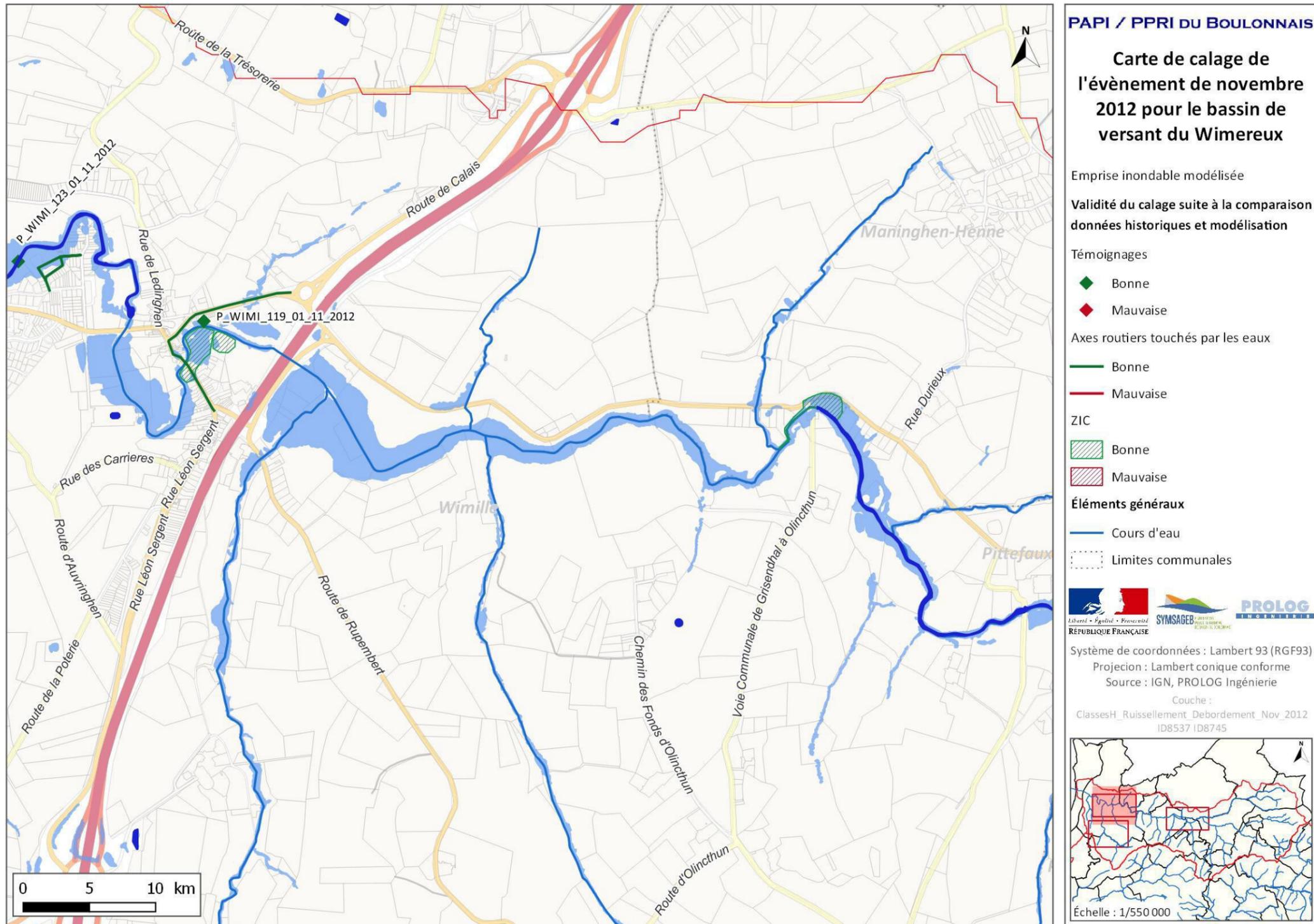


Figure 19 : Emprise inondable au niveau de la commune de Wimille pour la crue de novembre 2012

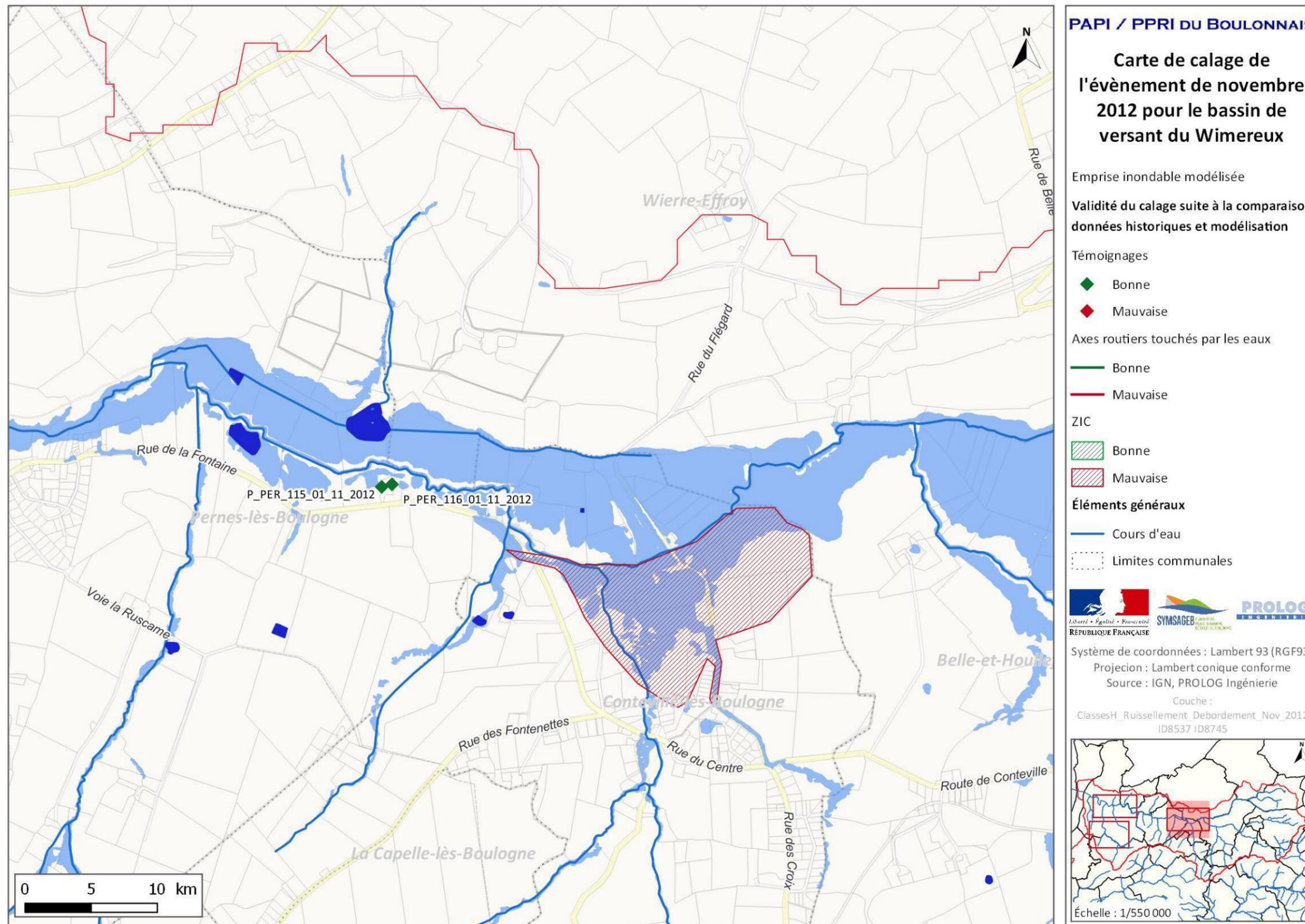


Figure 20 : Emprise inondable au niveau des communes de Pernes-lès-Boulogne et Conteville-lès-Boulogne pour la crue de novembre 2012

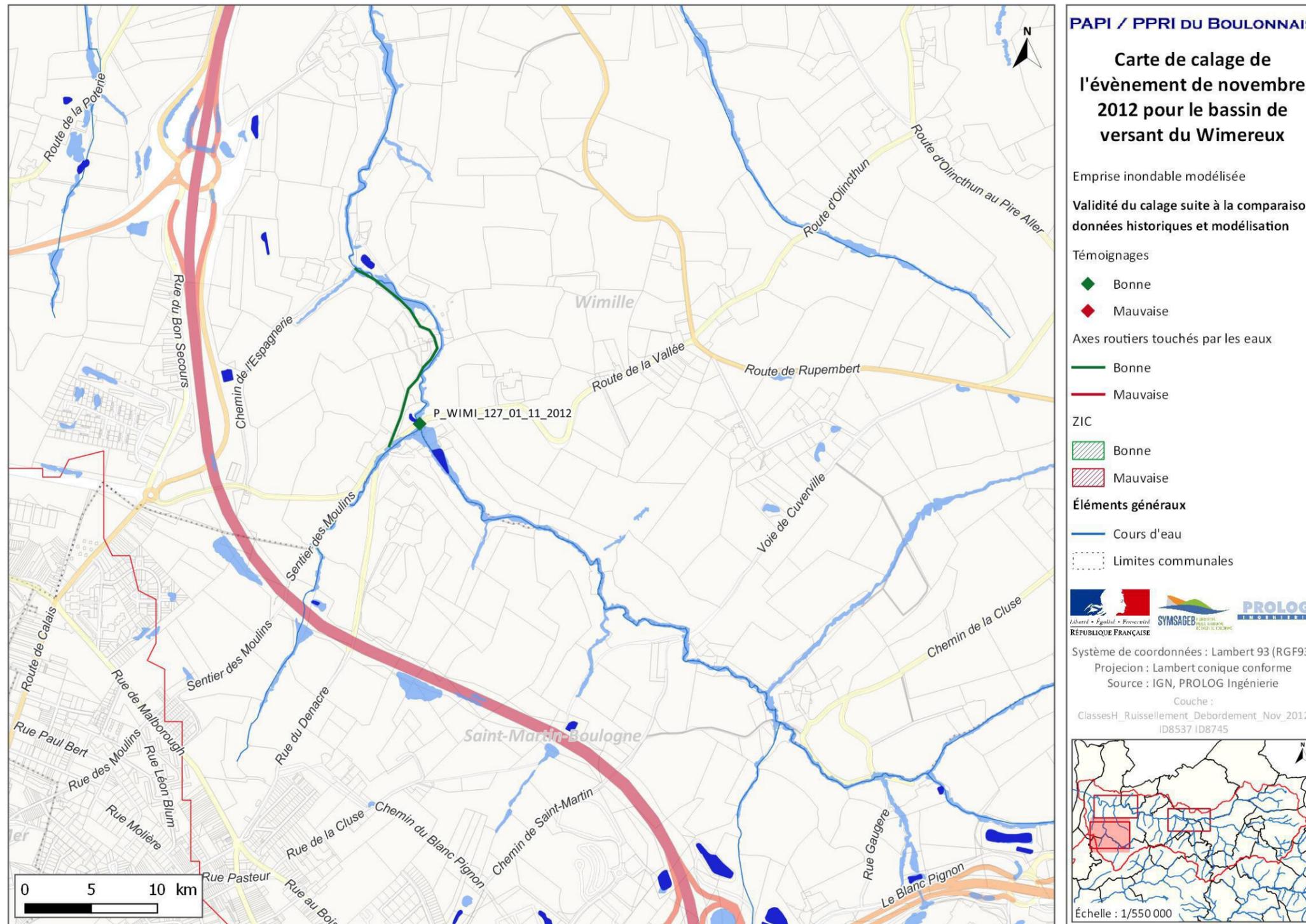


Figure 21 : Emprise inondable en amont du Denacre pour la crue de novembre 2012

4.1.3.3 Calage de la crue de novembre 2009

Rappel : Cette crue de novembre 2009 avait été modélisée lors de l'étude de 2014, réalisée par PROLOG Ingénierie pour la DDTM62. Certaines communes riveraines de la Liane avaient été consultées pour donner leur avis sur les emprises inondées. De plus, lors des rencontres avec les communes de juin et juillet 2016 durant la présente étude, les communes ont globalement donné un avis positif sur ces mêmes emprises modélisées.

Calage hydrologique

Pour cet événement, la chronique de débit de la station hydrométrique de Wimille n'est pas disponible. Seuls deux jaugeages, réalisés entre 9h15 et 9h45 le 27 novembre 2009 soit au cours de la décrue, sont à notre disposition.

Le débit de pointe au droit de la station est estimé à 30 m³/s à 4h00 par les services de la DREAL. Du fait du manque de données quantitatives, cet épisode de crue a été choisi pour valider les paramètres de calage du modèle. La figure suivante représente la comparaison de l'hydrogramme simulé avec les points de mesure réalisés, ainsi que l'estimation effectuée.

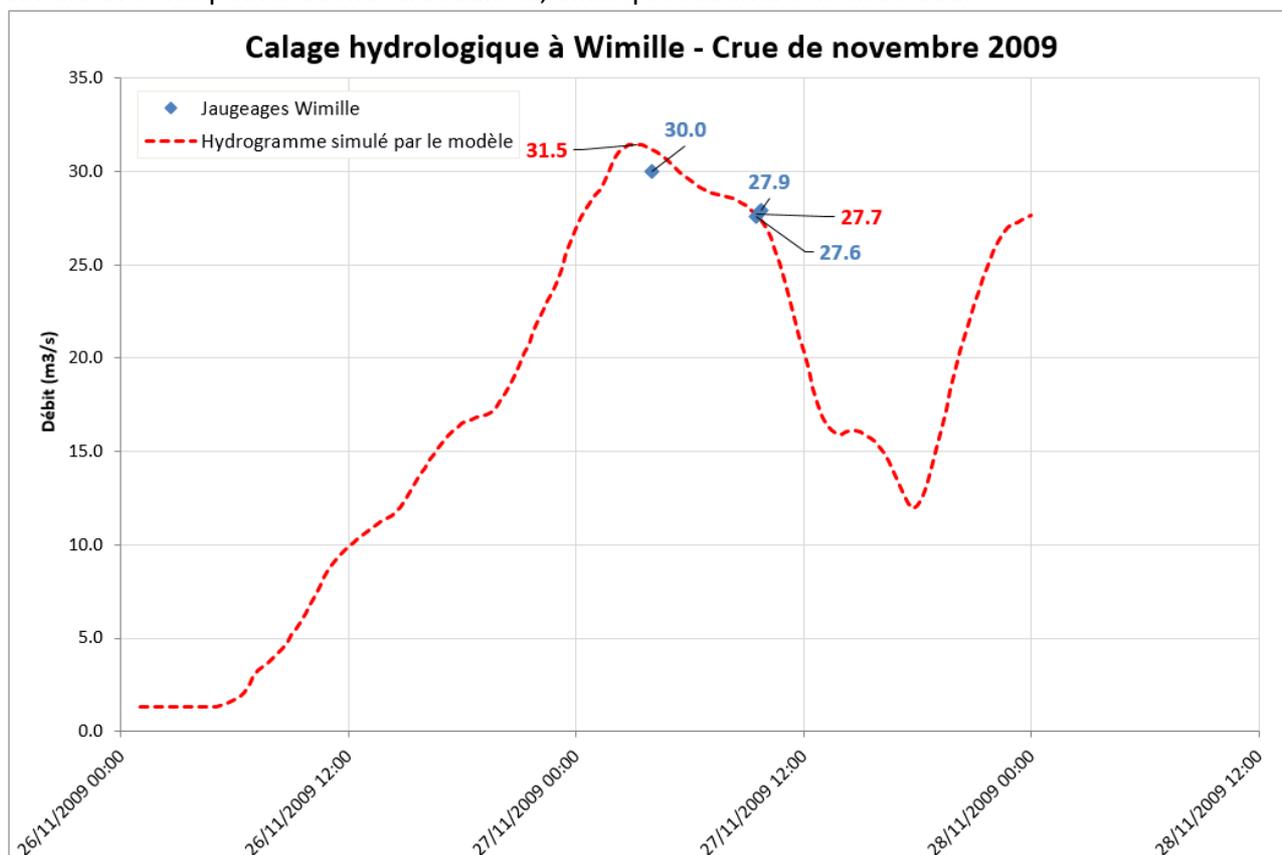


Figure 22 : Points de jaugeages et hydrogramme simulé à la station de Wimille au cours de la crue de novembre 2009

Cette figure met en évidence la bonne corrélation entre les points de mesures et l'hydrogramme simulé. Le pic de la crue est atteint aux alentours de 4h00, ce qui correspond à l'estimation effectuée par la DREAL. Le débit de pointe calculé par le modèle est de 31,5 m³/s, soit un écart acceptable de 5 %, tout en sachant que le débit de 30 m³/s reste une estimation.

Calage hydraulique

Pour cet événement, les données de calage sont :

- les jaugeages effectués au cours de la décrue à la station hydrométrique de Wimille ;
- des témoignages ;
- les Zones d'Inondation Constatées (ZIC) fournies par la DDTM62 ;
- des photos aériennes prises au cours de la décrue.

L'ensemble de ces données a dûment été comparé aux résultats de la simulation numérique par le biais de calcul de marge d'erreur, de cartes représentant les emprises inondables, ... etc.

Le tableau ci-dessous synthétise l'écart relatif entre les deux points de mesures et le niveau d'eau simulé au droit de la station hydrométrique de Wimille.

	Niveau max mesuré (m NGF)	Niveau max simulé (m NGF)	Différence (cm)
Wimille (9h15)	7,29	7,42	+ 13
Wimille (9h45)	7,28	7,41	+13

Tableau 9 : Comparaison du niveau mesuré et modélisé au droit de la station hydrométrique de Wimille

Le tableau ci-dessous confronte les résultats du modèle avec les témoignages récoltés au cours de l'analyse historique. Des cartes ci-après permettent de localiser ces derniers.

<i>Témoignage</i>	<i>Commune</i>	<i>Fiabilité</i>	<i>Observation</i>	<i>Résultat modèle</i>	<i>Différence (modèle/observation)</i>
P_WIMI_122_26_11_2009	Wimille	3	Inondation constatée	Inondation constatée	Faible
P_WIMI_126_26_11_2009	Wimille	3	Inondation constatée liée à un point bas au niveau de la route de la Vallée	Inondation constatée	Faible
P_WIMI_118_26_11_2009	Wimille	3	Habitation au 18 rue du Lieutenant Michel Dely atteinte par les eaux	Habitation touchée par les eaux	Faible
P_COL_41_26_11_2009	Colembert	3	Ferme touchée par les débordements du Wimereux	Ferme atteinte par les eaux	Faible
P_LE W_37_26_11_2009	Le Wast	3	Habitation au 1 rue de l'Eglise, en contrebas de la route atteinte par les eaux	Habitation touchée par les eaux	Faible
P_LE W_45_26_11_2009	Le Wast	3	La cour et la cave ont été inondées par les phénomènes de ruissellement	Absence de modélisation des phénomènes de ruissellement	Forte

Tableau 10 : Comparaison des niveaux historiques et modélisés sur le bassin versant du Wimereux pour la crue de novembre 2009

Le modèle reproduit donc de manière très satisfaisante les témoignages. Seul un témoignage au sein de la commune du Wast n'est pas retranscrit. En effet, ce point est touché suite aux phénomènes de ruissellement, non représentés pour cette crue.

Les cartes présentées ci-après permettent de comparer les emprises inondables avec les ZIC, les témoignages et les axes de communications atteints par les eaux **lorsque la ligne d'eau est maximale**.

Trois axes de communications localisés sur la commune de Pernes-lès-Boulogne ne sont pas atteints par les eaux, contrairement aux indications recensées lors de la phase historique. En effet, il a été précisé que :

- la rue de la fontaine avait été touchée suite au débordement du Cadet, cependant le busage au niveau du pont à l'origine de l'exhaussement de la ligne d'eau a été doublé depuis, c'est donc pour cela qu'aucun débordement n'est à constater ;
- la rue de la résidence de Beau Séjour était également sous les eaux suite au débordement d'un fossé privé non intégré au modèle ;
- enfin, la voie de la Ruscame est atteinte par les eaux suites aux phénomènes de ruissellement non représentés pour cet événement.

Certaines différences sont à souligner entre les emprises inondables modélisées et les ZIC transmises. Cependant, il est important de souligner le fait qu'un modèle ne peut retranscrire parfaitement toutes les zones inondées dans la mesure où les écarts peuvent incomber à :

- la précision du MNT ;
- la précision du tracé des ZIC souvent issu de photographies aériennes ou de témoignages.

Au regard de l'ensemble des résultats présentés, plus de 80 % des points de comparaison sont dans la première gamme de validité du calage.

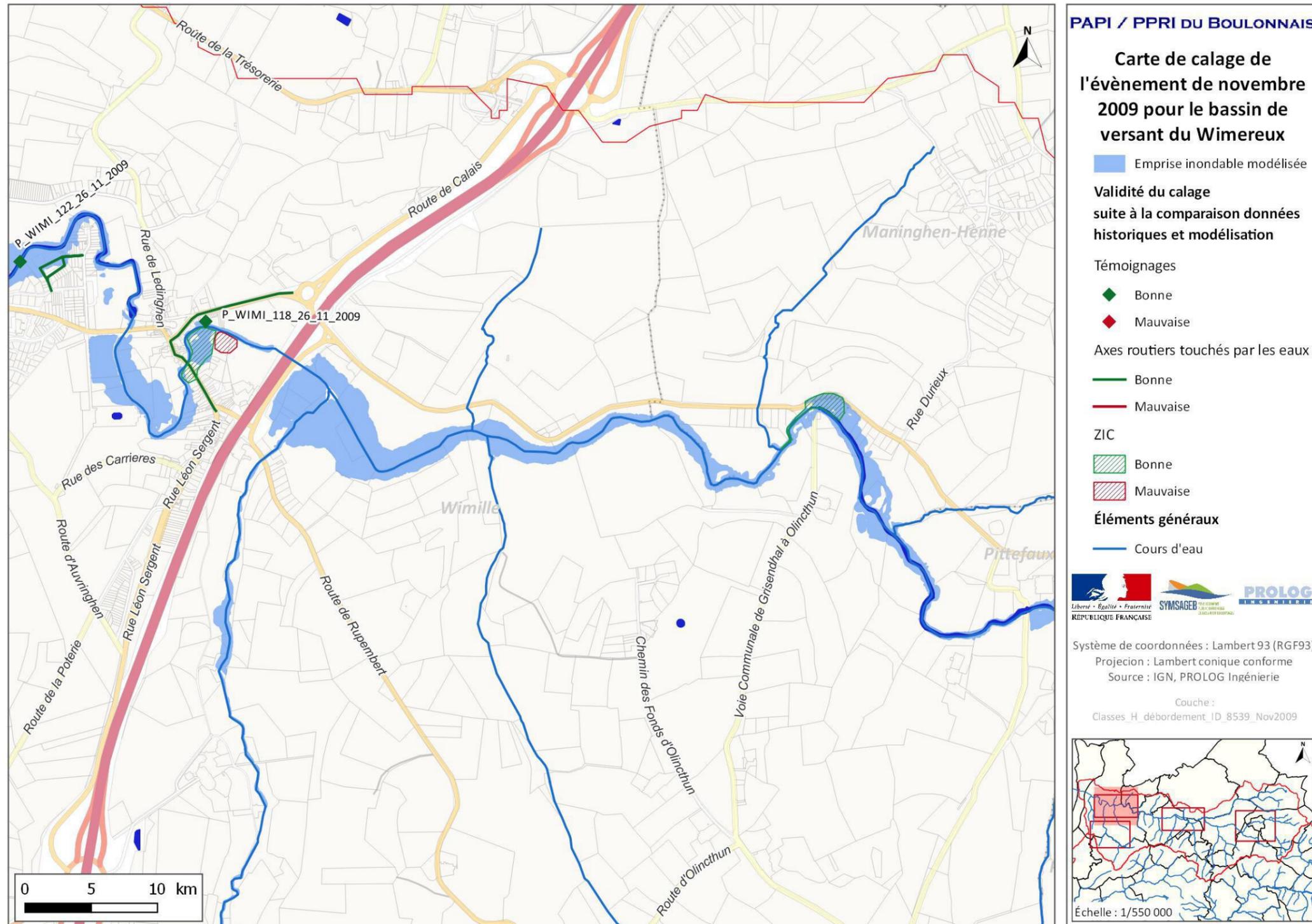


Figure 23 : Emprise inondable maximale au sein de la commune de Wimille pour la crue de novembre 2009

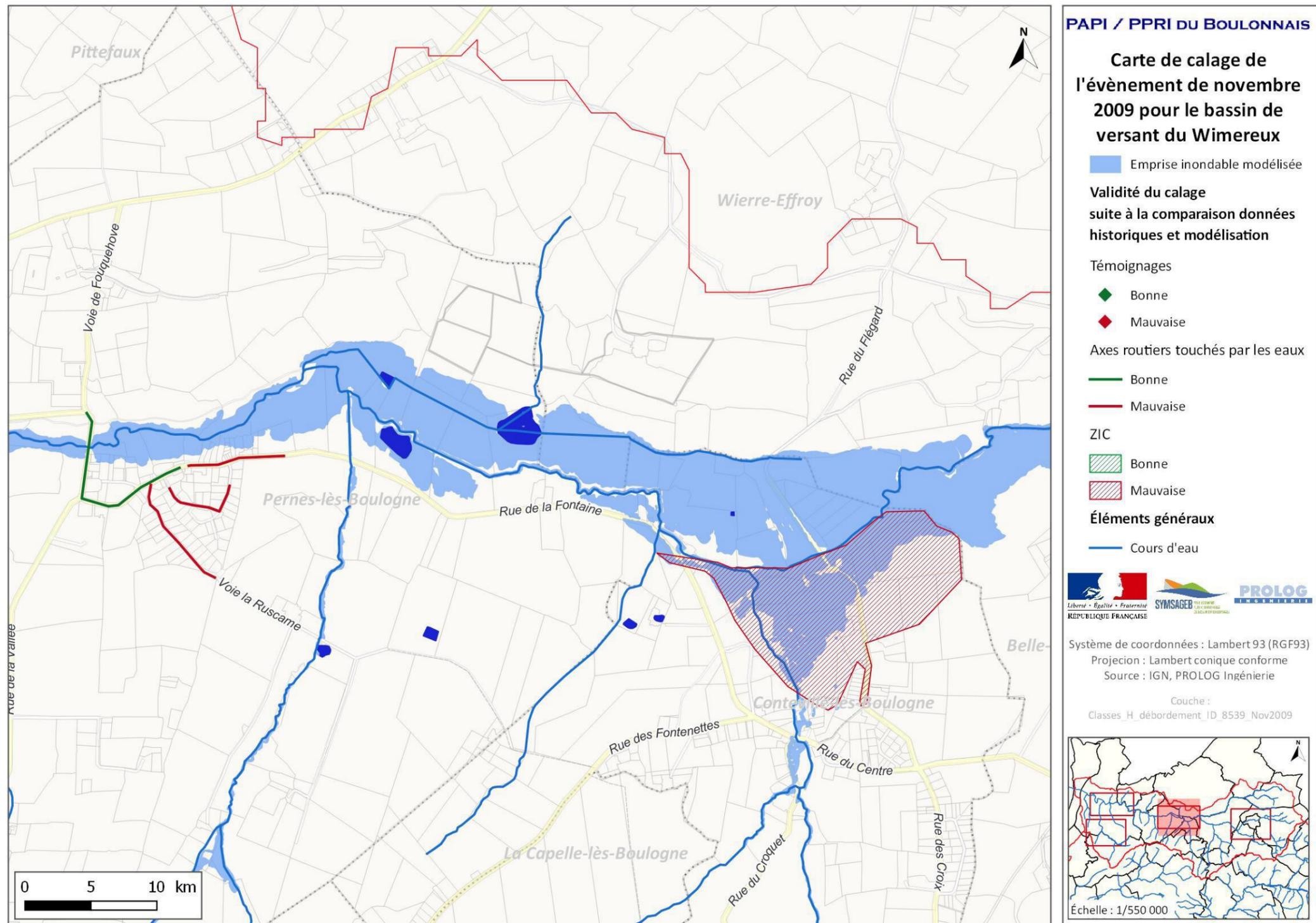


Figure 24 : Emprise inondable maximale au sein des communes de Pernes-lès-Boulogne et Conteville-lès-Boulogne pour la crue de novembre 2009

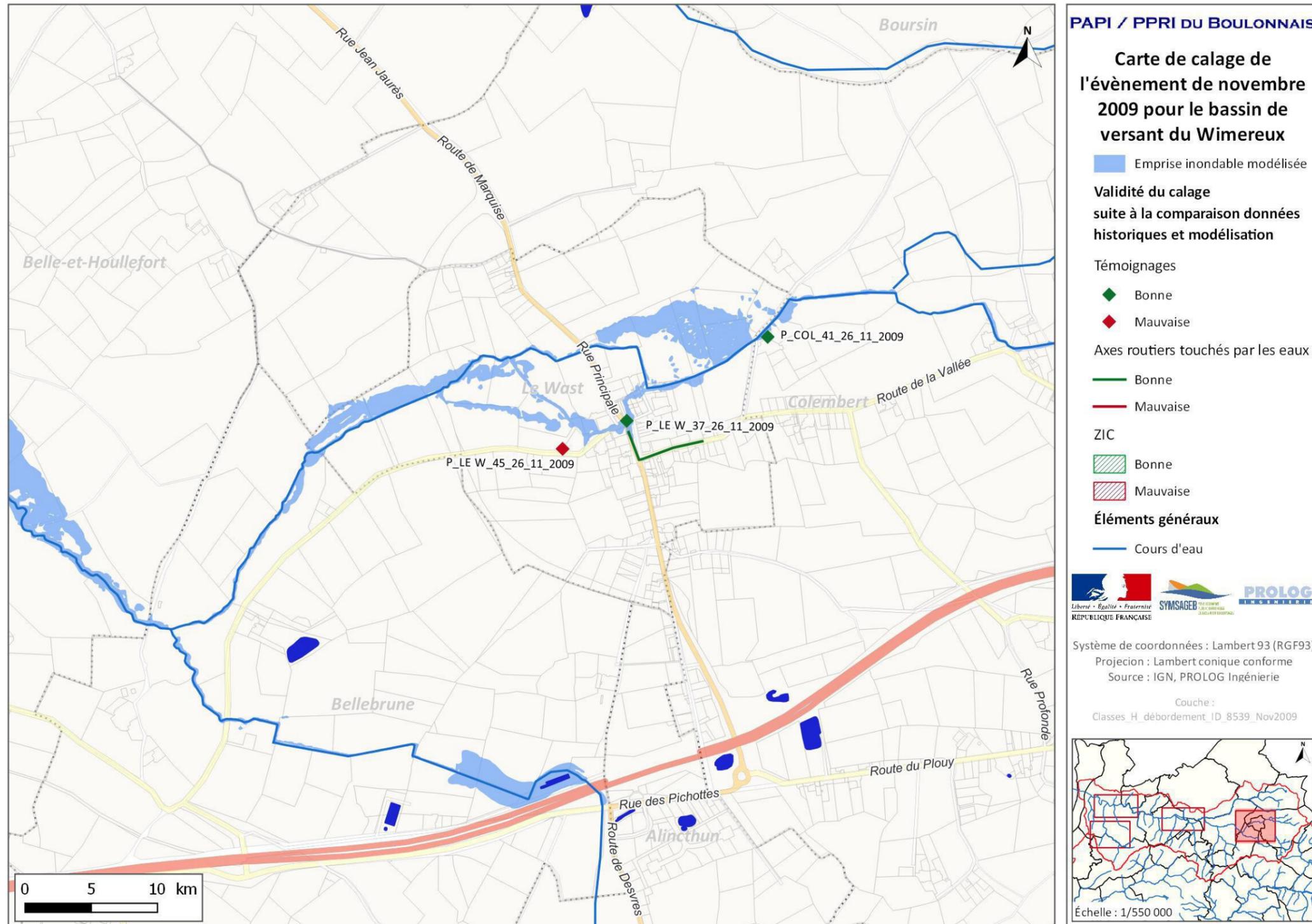


Figure 25 : Emprise inondable maximale au sein de la commune du Wast pour la crue de novembre 2009

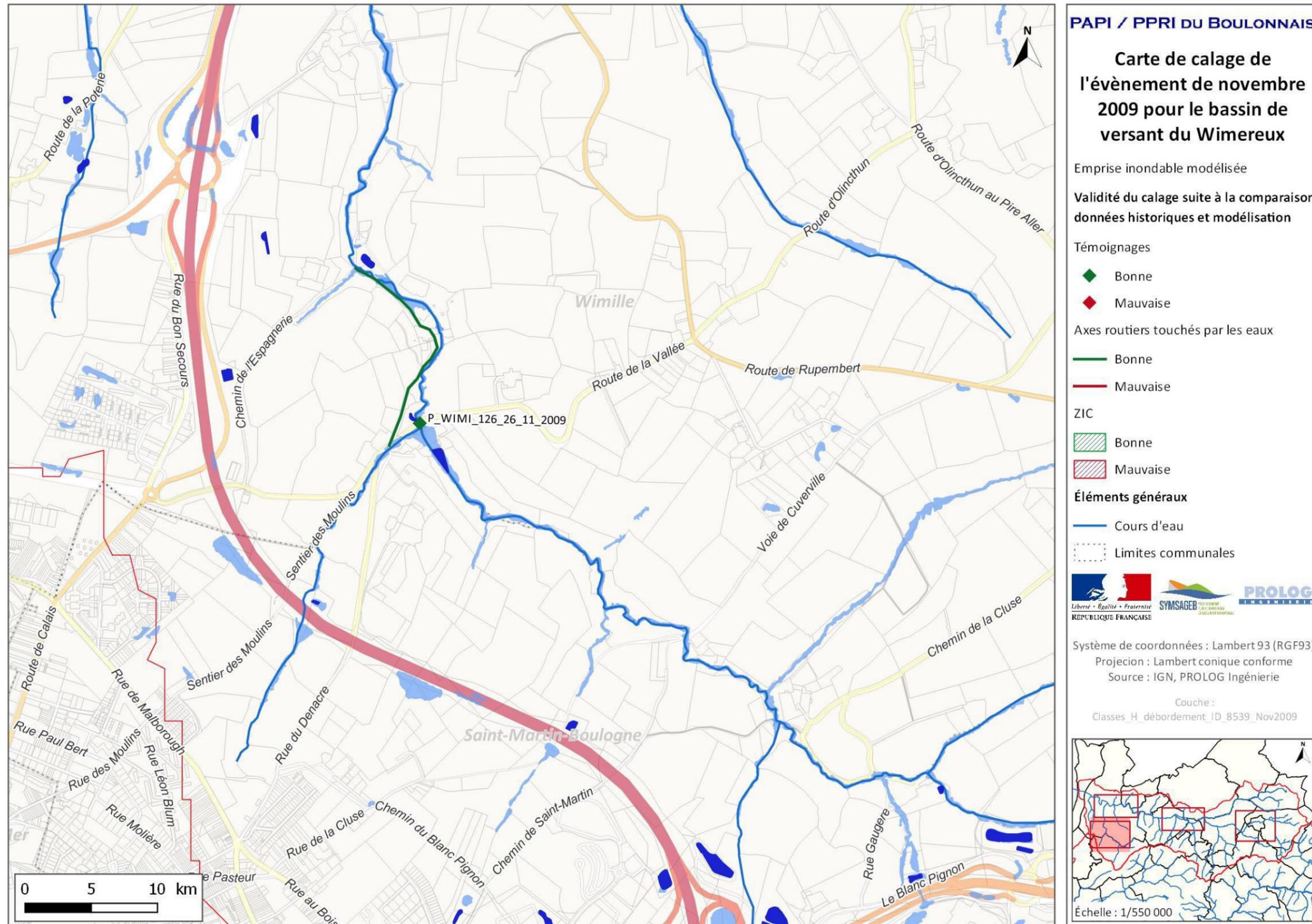


Figure 26 : Emprise inondable maximale en amont du Denacre pour la crue de novembre 2009

