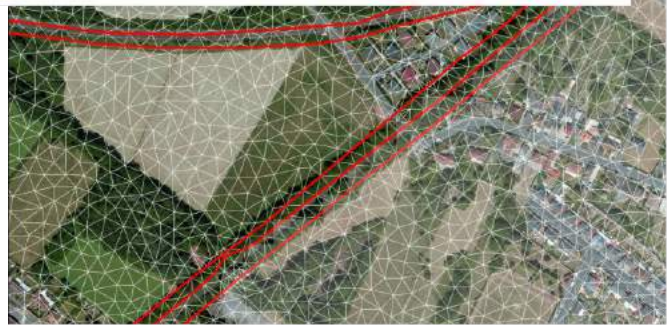
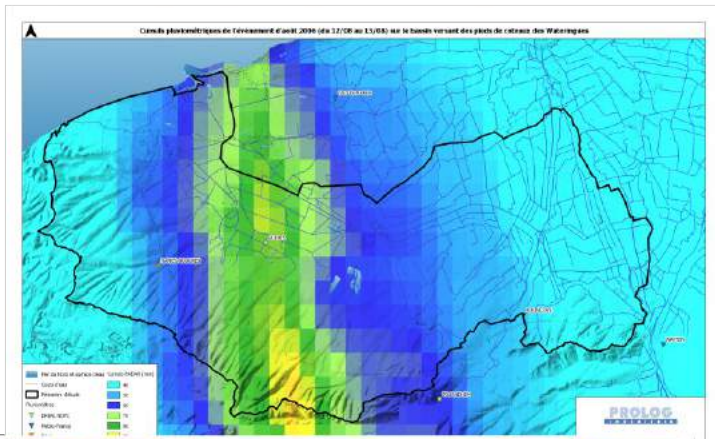


DIRECTION DÉPARTEMENTALE DES TERRITOIRES ET DE LA MER PAS-DE-CALAIS



RAPPORT SUR L'ALÉA DE RÉFÉRENCE DÉTERMINÉ



PHASE 2

LIVRABLE VO.4

L8

Table des matières

Préambule.....	7
Partie - 1 Volet hydrologique.....	9
1.1 Caractérisation du régime des pluies et des crues.....	10
1.1.1 Présentation des données utilisées.....	10
1.1.2 Analyse des principaux événements.....	14
1.1.3 Bilan.....	15
1.2 Approche pluie-débit pour la plaine des Wateringues.....	16
1.2.1 Choix de la fonction de production.....	16
1.2.2 Choix de la fonction de transfert.....	18
1.2.3 Mise en œuvre opérationnelle de l'approche pluie-débit.....	20
1.3 Transformation pluie-ruissellement pour les coteaux.....	21
1.4 Calage hydrologique.....	23
Partie - 2 Modélisation des écoulements.....	24
2.1 Modélisation de la plaine des Wateringues.....	25
2.1.1 Principe général de la modélisation 1D-2D.....	25
2.1.2 Modélisation des canaux principaux.....	29
2.1.3 Modélisation du réseau secondaire et des stations de pompage des sections.....	30
2.1.4 Modélisation des ouvrages d'évacuation à la mer.....	31
2.1.5 Conditions aux limites.....	31
2.2 Modélisation des phénomènes de ruissellement.....	33
2.2.1 Principe général de la modélisation bidimensionnelle.....	33
2.2.2 Prise en compte de la topographie.....	34
2.2.3 Intégration de la rugosité.....	34
2.2.4 Intégration des obstacles et des ouvrages.....	37
2.2.5 Prise en compte du bâti.....	37
2.2.6 Synthèse des différentes étapes de construction d'un maillage bidimensionnel.....	39
2.2.7 Aménagements hydrauliques contre le ruissellement.....	41
2.2.8 Réseaux d'assainissement pluvial communaux – Becques et axes de ruissellement en zone urbanisée	42
2.2.9 Conditions aux limites.....	44
2.3 Prise en compte du phénomène de remontée de nappe.....	45
2.4 Calage du modèle hydraulique.....	46
2.4.1 Généralités.....	46
2.4.2 Principe et valeurs retenues.....	46
2.4.3 Événements de calage.....	49
Partie - 3 Détermination de l'aléa de référence.....	66
3.1 Hypothèses retenues pour le scénario de référence.....	67
3.1.1 Scénario « hivernal ».....	67

3.1.2 Scénario « estival ».....	70
3.2 Définition de l'aléa.....	72
3.3 Élaboration des cartes.....	74
3.3.1 Création des contours de hauteurs et de vitesses.....	74
3.3.2 Continuité entre débordement de cours d'eau et ruissellement.....	76
3.3.3 Format des rendus et exemples.....	76
3.4 Analyse de l'aléa de référence.....	78
3.5 Tests de sensibilité.....	84
3.5.1 Influence de la Hem.....	84
3.5.2 Influence de la marée.....	85
3.5.3 Influence des stations de pompage.....	86
3.5.4 Conclusion sur les tests de sensibilité.....	89
Annexes.....	90
Annexe 1 - Coefficient d'imperméabilisation en fonction de l'occupation des sols.....	91
Annexe 2 – Statistiques Météo-France.....	94
Annexe 3 – Fiches événements.....	95

Index des illustrations

Figure 1 : Liste des stations pluviométriques utilisées.....	11
Figure 2 : Localisation des stations pluviométriques dans et à proximité du territoire d'étude des pieds de coteaux.....	12
Figure 3 : Représentation schématique de l'hydrogramme unitaire.....	18
Figure 4 : Fonctionnement global de la transformation pluie-ruissellement.....	22
Figure 5 : Modélisation hydraulique du bassin versant des pieds de coteaux.....	26
Figure 6 : Principe de construction du modèle hydraulique 1D/2D.....	28
Figure 7 : Représentation du réseau structurant de la plaine des Wateringues.....	29
Figure 8 : Représentation du réseau secondaire de la plaine de Wateringues.....	30
Figure 9: Représentation sous bassins versants et de leur point d'injection au niveau de la plaine des Wateringues.....	31
Figure 10 : Occupation du sol sur le territoire d'étude.....	36
Figure 11 : Exemple de représentation d'un remblais SNCF au sein du territoire d'étude.....	37
Figure 12 : Intégration des bassins de rétention au sein du maillage de calcul 2D – Commune de Guînes.....	41
Figure 13 : Exemple de becques et de passage sous un axe routier caractérisant les coteaux.....	42
Figure 14 : Principe de la modélisation couplant des éléments 1D au maillage de calcul 2D.....	43
Figure 15 : Représentation des réseaux EP et becques suite à leur intégration dans le maillage de calcul 2D.....	44
Figure 16 : Hydrogrammes reconstitué et simulé à l'exutoire du canal de Calais pour la crue de novembre 2009.....	50
Figure 17 : Hydrogrammes reconstitué et simulé à l'exutoire du canal des Pierrettes pour la crue de novembre 2009.....	51
Figure 18 : Évolution du niveau d'eau du canal de Calais à l'écluse d'Hennuin pour la crue de novembre 2009.....	52
Figure 19 : Évolution du niveau d'eau du canal de Calais au droit de la station de pompage des	

Attaques pour la crue de novembre 2009.....	53
Figure 20 : Évolution du niveau d'eau du canal des Pierrettes à l'écluse Carrée pour la crue de novembre 2009.....	53
Figure 21 : Évolution du niveau d'eau au droit de la station de la Batellerie pour la crue de novembre 2012.....	60
Figure 22 : Intensité pluvieuse – Scénario de référence « hivernal ».....	67
Figure 23 : Hydrogrammes injectés (Hem et Aa à Watten) pour le scénario de référence « hivernal »	68
Figure 24 : Cycle de marée appliqué aux exutoires du modèle.....	69
Figure 25 : Intensité pluvieuse – Scénario de référence « estival ».....	70
Figure 26 : Hydrogramme injecté (Hem) pour le scénario de référence estival.....	71
Figure 27 : Possibilités de déplacement des personnes en fonction de la hauteur d'eau et de la vitesse d'écoulement (Source : DDT Vaucluse).....	72
Figure 28 : Grille d'aléa proposée pour les phénomènes de débordement de cours d'eau et de ruissellement.....	73
Figure 29 : Grille d'aléa classique pour les phénomènes de débordement de cours d'eau et de ruissellement.....	74
Figure 30 : Cartes des hauteurs d'eau, de vitesses et d'écoulement et d'aléa sur la commune d'Andres.....	77
Figure 31 : Influence de la Hem sur l'emprise inondable au droit de la commune de Polincove.....	85
Figure 32 : Influence de la marée sur les débordements du canal de Calais au niveau de la commune de Nortkerque.....	86
Figure 33 : Influence du dysfonctionnement des stations de pompage sur les emprises inondables aux abords de la commune de Coulogne.....	87
Figure 34 : Influence du dysfonctionnement des stations de pompage sur l'emprise inondable au droit du canal de Calais (Commune de Nortkerque).....	88

Index des tables

Tableau 1 : Statistiques des cumuls journaliers aux stations de Bourthes, Fauquembergues et Saint-

Omer (source Annuaire 2012 DREAL Nord-Pas-de-Calais).....	13
Tableau 2 : Classes de rugosité	35
Tableau 3 : Classification des murs poreux.....	39
Tableau 4 : Étapes de construction du maillage de calcul 2D.....	40
Tableau 5 : Classes de validité du calage hydraulique du modèle.....	47
Tableau 6 : Paramètres hydrologiques retenus.....	48
Tableau 7 : Paramètres de calage hydraulique retenus.....	48
Tableau 8 : Calage hydrologique de la crue de novembre 2009.....	49
Tableau 9 : Comparaison des niveaux mesurés et modélisés au sein des canaux de Calais et des Pierrettes pour la crue de novembre 2009.....	53
Tableau 10 : Comparaison des niveaux historiques et modélisés dans la plaine pour la crue de novembre 2009.....	54
Tableau 11 : Comparaison des niveaux mesurés et modélisés au niveau de la station de pompage des Attaques pour la crue de novembre 2012.....	61
Tableau 12 : Comparaison des niveaux historiques et modélisés dans la plaine pour la crue de novembre 2012.....	61
Tableau 13 : Comparaison des niveaux d'eau modélisés au droit de la station des Attaques et de l'écluse carrée.....	78
Tableau 14 : Influence de la marée sur les niveaux au sein des canaux de Calais et des Pierrettes..	85
Tableau 15 : Influence du dysfonctionnement des stations de pompage sur les niveaux au sein des canaux de Calais et des Pierrettes.....	87

Préambule

L'objectif du présent livrable est de caractériser l'aléa de référence du PPRI. En ce sens, un modèle numérique a du être réalisé. Aussi, la définition de la méthodologie de modélisation des différents phénomènes d'inondation du bassin versant des pieds de coteaux ainsi que le calage et les hypothèses retenues pour le scénario de référence sont également détaillés dans ce document.

Le présente document de décompose suivant trois parties :

- la première partie est consacrée à l'hydrologie du territoire d'étude (réponse hydrologique, transformation pluie-ruissellement, calage hydrologique, ...)
- la seconde décrit la modélisation des écoulements (débordements des canaux et stockage sur la plaine, phénomènes de ruissellement sur les coteaux, analyse de la remontée de nappe et calage hydraulique)
- enfin, le dernier chapitre s'attache à décrire le scénario de référence retenu pour caractériser l'aléa (hypothèse de modélisation, définition de l'aléa, méthodologie relative à l'élaboration des cartes, analyse des résultats et influence de différents paramètre sur l'aléa de référence).

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

Partie - 1

Volet hydrologique

L'objectif principal de l'analyse hydrologique est d'étudier le régime hydrométrique et pluviométrique du bassin versant des pieds de coteaux afin d'identifier un ou deux événements de référence qui seront retenus pour caractériser l'aléa de référence par débordement de cours d'eau et l'aléa de référence par ruissellement, puis d'en calculer les apports, qui seront ensuite appliqués au modèle hydraulique.

Cet ou ces événements 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. Il s'agit donc d'une crue ou d'une pluie d'une telle ampleur qu'elles sont très rarement voire jamais observées à l'échelle d'une vie humaine. Deux cas de figure peuvent dès lors se produire :

- l'analyse historique conduite en phase 1 a permis de retrouver la trace d'un épisode pluvieux bien documenté(e) 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.

Les deux sous-chapitres qui suivent s'attachent à analyser le régime des pluies et des crues du bassin versant, sous l'angle du débordement des canaux d'une part, et sous l'angle des phénomènes de ruissellement d'autre part, et à décrire les méthodes de modélisation hydrologique retenues.

1.1 Caractérisation du régime des pluies et des crues

1.1.1 Présentation des données utilisées

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

- des données pluviométriques, collectées auprès de la DREAL Nord-Pas-de-Calais, de Météo-France, de l'Institution Interdépartementale des Wateringues (IIW) et du maire de Hames-Boucres, sur les postes pluviométriques du bassin versant et aux alentours ;
- des données RADAR (ANTILOPE, PANTHERE et COMEPHORE), collectées auprès de Météo-France via la DREAL Nord-Pas-de-Calais, consistant en des lames d'eau d'événements pluvieux importants sur l'ensemble du territoire d'étude ;

- des données hydrométriques (stations de pompage de Calais et des Pierrettes) et limnimétriques (canaux) collectées auprès de VNF et de l'IIW.

1.1.1.1 Les stations pluviométriques terrestres

Les données ont été récupérées sur les postes pluviométriques suivants (voir figure 2 pour la localisation) :

Station	Maitre d'ouvrage
Calais-Marck	Météo France
Watten	
Licques	
Polincove	
Nielles-lès-Bléquin	
Saint Omer	DREAL
Bourthes	
Fauquembergues	
Tournehem	
Moulle	
Guînes	IIW / DREAL

Figure 1 : Liste des stations pluviométriques utilisées

Les données collectées sont les suivantes :

- Cumuls journaliers des stations DREAL de Bourthes (1966-2015), Fauquembergues (1961-2015), Saint-Omer (1970-2015), Moulle (1972-2005), Tournehem (1966-2004), et de Guînes (1964-2006) ;
- Cumuls journaliers des stations Météo-France de Calais-Marck (1995-2015), Licques (1995-2015), Polincove (2000-2006), Nielles-lès-Bléquin (2007-2015) et de Watten (1997-2015) ;
- Cumuls journaliers de la station de Guînes gérée depuis 2016 par l'IIW ;
- Cumuls journaliers du pluviomètre du maire de Hames-Boucres (2001-2015) ;
- Cumuls au pas de temps 6 minutes de la station de Calais-Marck (2001-2015).

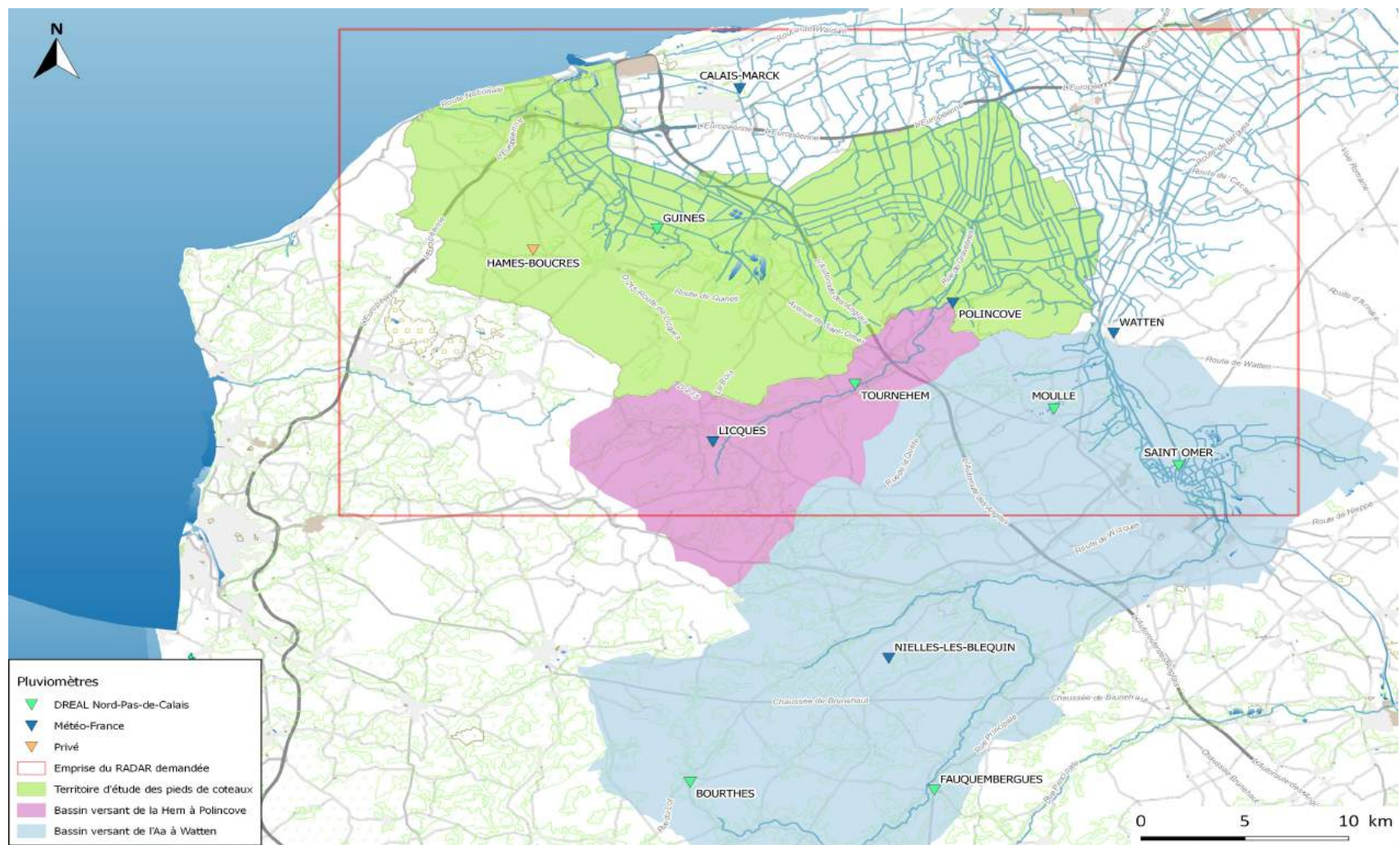


Figure 2 : Localisation des stations pluviométriques dans et à proximité du territoire d'étude des pieds de coteaux

Les statistiques des précipitations des stations Météo-France de Calais-Marck, Licques et Watten ont été récupérées au pas de temps 2h, 3h, 12h pour Calais-Marck seulement et 1j, 2j, 4j et 8j pour toutes les stations (voir annexe 2). D'après l'annuaire de l'année 2012 de la DREAL Nord-Pas-de-Calais, les statistiques des cumuls journaliers pour les stations de Bourthes, Fauquembergues et Saint-Omer sont données dans le tableau ci-dessous.

T	Bourthes	Fauquembergues	St-Omer
2 ans	39.9	35.3	32.5
5 ans	49.5	43.4	42.8
10 ans	57	49.8	51.3
15 ans	61.8	53.7	56.9
20 ans	65.4	56.7	61.1
25 ans	68.3	59.1	64.6
50 ans	78	67.2	76.6
100 ans	89.1	76.3	90.8

Tableau 1 : Statistiques des cumuls journaliers aux stations de Bourthes, Fauquembergues et Saint-Omer (source Annuaire 2012 DREAL Nord-Pas-de-Calais)

1.1.1.2 Les données RADAR

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

- les lames d'eau Comephore depuis 1997 qui sont issues d'une réanalyse des réflectivités radar brutes avec un fichier par pixel et par heure ;
- les lames d'eau Panthère depuis mai 2005 et basées uniquement sur les mesures radar brutes avec un fichier par pixel et toutes les 5 minutes ;
- les lames d'eau Antilope depuis mai 2005 qui consistent en un recalage des données radar brutes à partir des stations pluviométriques terrestres, avec un fichier par pixel et par heure .

Ces données ont été récupérées auprès de Météo-France, via la DREAL Nord-Pas-de-Calais, sur les événements suivants :

- août 2006 (Panthère et Antilope) ;
- décembre 2006 (Antilope) ;
- juin 2007 (Panthère et Antilope) ;
- septembre 2007 (Antilope) ;
- novembre 2009 (Antilope) ;
- novembre 2012 (Antilope).

1.1.1.3 Les données hydrométriques et limnimétriques

Il n'existe pas de stations hydrométriques sur le bassin versant hormis quelques jaugeages anciens effectués par la DREAL sur les rivières d'Andres (1975-1979), de Hames (1969-1979) et de Nielles (1961-1993). Les stations hydrométriques intéressantes pour le PPRI des pieds de coteaux sont celles de :

- Tournehem-Guémy et Recques-sur-Hem pour la Hem, dont l'influence est à étudier ;
- Wizernes pour l'Aa, située à l'amont du Marais Audomarois, une partie du territoire d'étude étant connectée à l'Aa canalisée (aval du partiteur de Holque-Watten).

De plus, l'IIW nous a fourni des estimations de débits par calcul hydraulique aux stations de pompage de Calais et des Pierrettes ainsi que des mesures de niveaux amont et aval. Des mesures de niveaux sur les canaux VNF (canal de Calais aux Attaques, Canal de Guînes à Guînes et écluse d'Hennuin) ont aussi été récupérées auprès de VNF.

1.1.2 Analyse des principaux événements

Suite à l'analyse des données historiques d'inondation récoltées en phase 1, plusieurs événements majeurs ont été retenus et décrits dans le livrable L3 sous l'angle historique.

En annexe 3, les événements suivants sont analysés, sous la forme de fiche événement, du point de vue du contexte pluviométrique (cumuls de l'événement, conditions antécédentes, ...) et du contexte hydrométrique / limnimétrique (débits pompés à la mer, niveaux dans les canaux, ...) sur la base des données décrites dans les chapitres précédents :

- novembre 2000 ;
- août 2006 ;
- décembre 2006 ;
- juin 2007 ;
- septembre 2007 ;
- novembre 2009 ;
- novembre 2012.

Remarque : Les cumuls des lames d'eau RADAR et présentés dans les fiches événements sont issus des données Antilope.

1.1.3 Bilan

A la lecture des fiches événements, on se rend compte que les événements qui touchent le secteur des pieds de coteaux sont de plusieurs types :

- des pluies continues sur 4-5 jours, de faible intensité (2-3 mm/h), dans un contexte de saturation de la plaine, type novembre 2009 ou début novembre 2000 ;
- des séquences pluvieuses successives de 7 à 10h, sur 2-3 jours, d'intensité modérée à forte (de 6 à 10 mm/h), dans un contexte de saturation de la plaine, type novembre 2012, décembre 2006 ou fin novembre 2000 ;
- des orages de quelques heures, avec des intensités très fortes (supérieures à 10 mm/h), type août 2006 ou juin 2007, dans un contexte normal ou sec.

La comparaison des données RADAR et des postes pluviométriques terrestres montrent :

- une bonne concordance dans le cas de pluies plutôt homogènes sur le territoire permettant un recalage efficace à partir du poste automatique de Calais, le seul sur le secteur ; on peut toutefois remarquer une tendance à la sous-estimation qui reste cependant dans l'incertitude des pluviomètres (10%) ;
- une nette sous-estimation des données RADAR dans le cas de pluies orageuses localisées, pour lesquelles les intensités élevées sont sous-estimées et la station de Calais en bordure de la cellule orageuse, comme en août 2006, ne permet pas un recalage efficace.

La correction éventuelle des données RADAR sera évoquée dans la partie calage.

1.2 Approche pluie-débit pour la plaine des Wateringues

L'approche numérique retenue consiste à modéliser **la transformation de la pluie en débit sur la plaine des Wateringues**, 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 permet 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.

Globalement, la modélisation hydrologique de type pluie-débit permet de passer d'un hétéogramme 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.

Dans le cas de la plaine des Wateringues, les sous-bassins versants sont présentés sur la figure 5 en partie 2. Les hydrogrammes sont injectés dans les canaux drainant ces derniers.

1.2.1 Choix de la fonction de production

En raison des caractéristiques de la plaine des Wateringues (occupation des sols principalement sauf au niveau de l'agglomération de Calais fortement urbanisée), deux fonctions de production sont utilisées :

- **pour les sous-bassins d'apport ruraux**, la fonction de production utilisée se base 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.

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 (respectivement forte, moyenne, faible et très faible) ;
- 3 hypothèses de conditions pluvieuses antécédentes :
 - I : conditions sèches ;
 - II : conditions normales ;
 - III : conditions très humides

A priori, en se basant sur le profil géologique de son sous-sol, **la plaine des Wateringues peut être globalement caractérisé par des sols peu perméables, de type C**. Le calage des crues historiques a permis de valider ce type de sols. Les hypothèses sur les conditions antécédentes sont propres à chaque événement pluvieux. Elles sont définies, pour un événement donné, sur la base d'une analyse des conditions pluviométriques antécédentes.

La pluie nette est calculée de la façon suivante :

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

Où :

- Pbrute et Pnette sont exprimées 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 (sol C) 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**, une fonction de production à coefficient de ruissellement constant a été utilisée. Ce coefficient de ruissellement constant Cr est égal à Cp x IMP où IMP est le coefficient d'imperméabilisation du sous-bassin versant considéré 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 P_i sont considérées comme dépendant de la pente du sous-bassin versant. Ainsi, une analyse de ces dernières permet d'associer une valeur de perte initiale à chaque sous-bassin (typiquement comprise entre 0,5 mm et 2 mm).

La pluie nette (hauteur d'eau ruisselée H_r) est alors calculée à partir de la pluie brute (hauteur d'eau précipitée H_p) selon la formule suivante :

$$H_r = C_r \times (H_p - P_i)$$

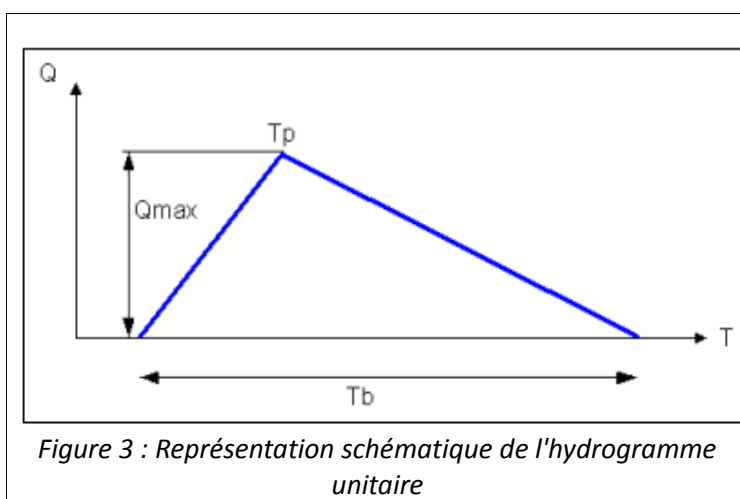
Ce modèle hydrologique est le plus classiquement utilisé en hydrologie urbaine et est adapté aux bassins versants fortement urbanisés de la partie aval du territoire d'étude.

L'imperméabilisation de chaque sous-bassin versant est évaluée à partir de l'occupation des sols (un exemple de grille de correspondance est présenté en annexe 1). Les valeurs de ces coefficients ont ensuite été ajustés sur la base du calage des épisodes de crues historiques.

1.2.2 Choix de la fonction de transfert

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

- **pour les sous-bassins d'apports ruraux**, la fonction de production du NRCS est associée au modèle de l'hydrogramme unitaire afin de calculer les hydrogrammes à l'exutoire des sous-bassins de la plaine des Wateringues. Ce modèle se base sur trois paramètres :
 - le temps de montée au pic (**T_p**) ;
 - le temps de base de l'hydrogramme (**T_b**) ;
 - le débit de pointe de l'hydrogramme (**Q_{max}**).



Ces trois paramètres sont définis à partir des caractéristiques géométriques des sous-bassins 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 (T_c) des sous-bassins versants est celle du SCS-RURAL, adaptée au caractère rural des sous-bassins, et qui définit T_c 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. 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):

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);

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

1.2.3.1 Exploitation des données pluviométriques

Comme expliqué précédemment, la méthode pluie-débit est avant tout basée 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. La phase 1 d'analyse historique a permis de mettre en évidence des événements passés (voir chapitres 1.4 et 2.4).

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

1.2.3.2 Détermination des sous-bassins d'apport

Les sous-bassins d'apport sont présentés sur la figure 5 en partie 2. Ils sont issus de l'étude Hydratec de 2010-2012. Ils peuvent être redécoupés plus finement lors de la construction du modèle hydraulique (voir partie 2).

1.2.3.3 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, découle sur le calcul d'un hydrogramme de débit à l'exutoire de chaque sous bassin versant.

Les hydrogrammes sont injectés, en un ou plusieurs points suivant la configuration des casiers, dans les canaux drainant les casiers hydrauliques.

C'est alors la structure du modèle hydraulique et les paramètres de rugosité des sols et du lit des canaux qui conditionnent la transmission des débits vers l'aval et l'évacuation à la mer.

1.3 Transformation pluie-ruissellement pour les coteaux

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.

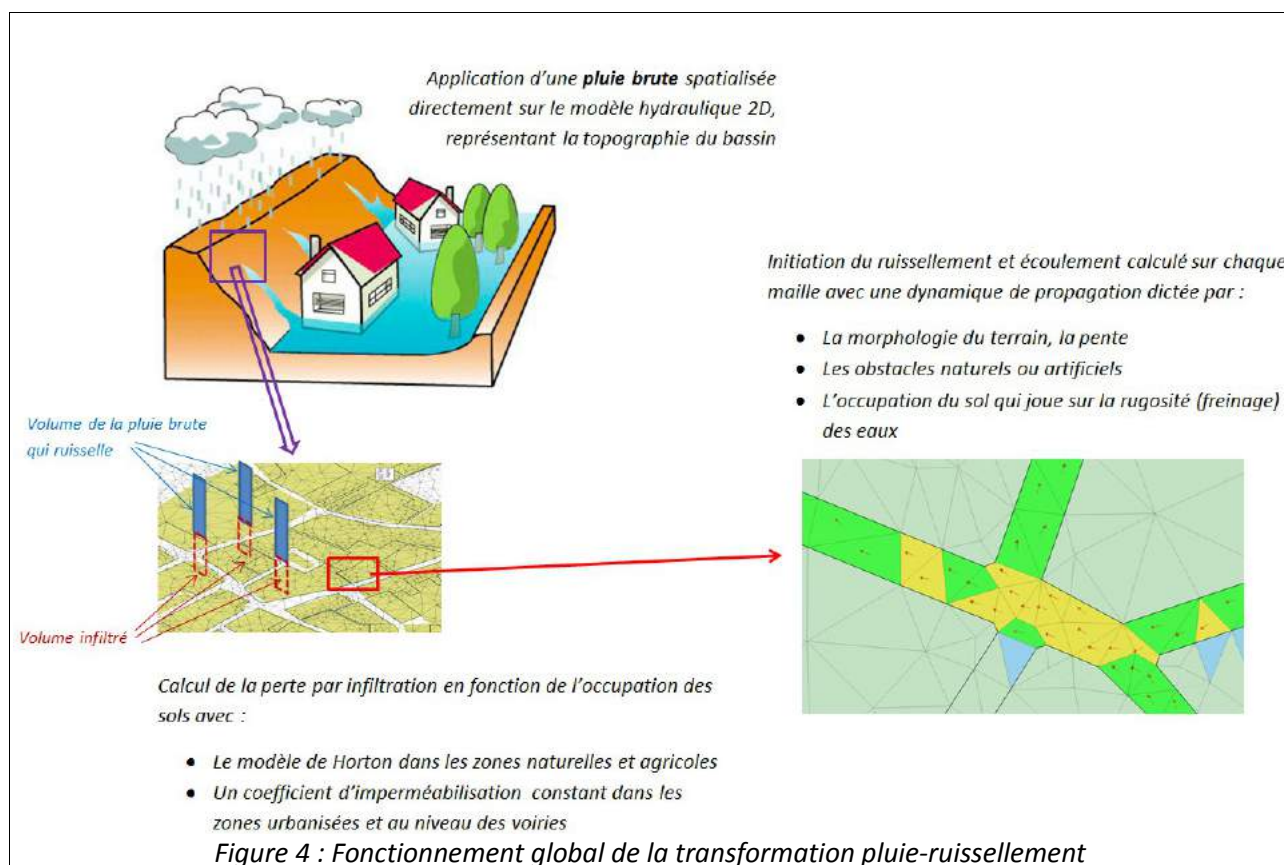
Ces phénomènes de ruissellement peuvent se produire en tout point d'un bassin versant et sont difficilement quantifiables, à l'opposé par exemple de la crue d'un cours d'eau, dont le débit peut être mesuré en un point précis du bassin-versant, à l'exutoire d'une zone de collecte.

Une étape majeure de la caractérisation de l'aléa inondation par des phénomènes de ruissellement est 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 comme cela sera le cas pour la détermination des apports hydrologiques de la plaine des Wateringues.

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



Le modèle de transformation pluie-ruissellement utilisé s'appuie 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 phénomènes de ruissellement ;
- une fonction d'infiltration qui permet de définir sur chaque maille de calcul les pertes par infiltration (c'est à dire la part d'eau précipitée perdue qui ne va donc pas ruisseler) en fonction de l'occupation des sols ;
- les conditions de saturation des sols au début de l'événement qui sont dictées par les conditions pluvieuses antécédentes.

Les différentes sources données pluviométriques disponibles sont décrites en détail au chapitre 1.1.1.

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

Le modèle hydrologique retenu repose sur un coefficient d'infiltration constant égal à $C_p \times IMP$ où IMP est le taux d'imperméabilisation du bassin versant. Il s'agit du même modèle que celui présenté au chapitre 1.2.1).

1.4 Calage hydrologique

Le modèle hydrologique est calé sur la base d'événements historiques identifiés en phase 1 (voir paragraphe 2.4). Comme dit précédemment, le bassin versant ne possède pas de station hydrométrique. Il convient de s'assurer que, pour une pluie historique connue (pluie hivernale principalement durant laquelle les volumes à évacuer sont importants), les débits évacués à la mer (stations de Calais et des Pierrettes) sont cohérents avec ceux estimés à ces stations.

Les données hydrométriques étant trop peu nombreuses, le calage a été effectué de manière groupée sur les parties hydrologie et hydraulique du modèle. Les paramètres hydrologiques ont été définis en première approche dans les règles de l'art. En outre, les résultats en débit ont été rapprochés des hydrogrammes reconstitués dans le cadre de l'étude Hydratec « Étude hydraulique de caractérisation de l'aléa inondation par les eaux continentales dans le secteur des Wateringues », sur les stations de pompage à la mer, pour l'épisode de novembre 2009.

Partie - 2 Modélisation des écoulements

Le modèle hydraulique, réalisé sous le logiciel Inforworks ICM v6.5, se décompose en :

- **une modélisation 1D - 2D** de la plaine de Wateringues (en vert sur la figure de la page suivante) avec :
 - les canaux principaux modélisés en tronçons 1D à partir des profils en travers bruts fournis par Hydratec ;
 - le réseau de drainage de la plaine modélisé en 1D simplifié ;
 - des sous-bassins versants se rejetant dans ce réseau dense, identifiés comme casiers initialement au cours de la phase 1 dans le livrable L4c « Analyse du fonctionnement hydraulique du bassin-versant » comme faisant partie du périmètre d'étude ;
 - la prise en compte des ouvrages d'évacuation à la mer (stations de pompage de Calais, de la Batellerie, des Pierrettes et de l'écluse 63bis à Gravelines) ainsi que les stations de pompage des sections des Wateringues permettant de désengorger le réseau secondaire ou encore le réseau de drainage de la plaine.
- **une modélisation 2D ruissellement** sur les coteaux (en orange sur la figure de la page suivante), connectée en pieds de coteaux au modèle 1D – 2D de la plaine aux niveaux des canaux principaux ou secondaires recueillant les eaux de ruissellement (en rouge sur la figure de la page suivante).

Les secteurs au nord du canal de Calais et sur la ville de Calais, secteurs influençant le territoire des pieds des coteaux mais où seul le phénomène de débordement des canaux se produit (voir livrable L4c), sont modélisés sous forme d'apports hydrologiques dans le canal de Calais. La figure de la page suivante présente le zonage proposé pour les deux approches. Les chapitres qui suivent s'attachent à décrire la méthodologie de construction du modèle hydraulique et son calage.

2.1 Modélisation de la plaine des Wateringues

2.1.1 Principe général de la modélisation 1D-2D

L'approche retenue pour représenter au mieux l'aléa débordement au niveau de la plaine des Wateringues se base sur une modélisation dite couplée.

- **Les canaux principaux ainsi que ceux ceinturant la plaine sont 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.

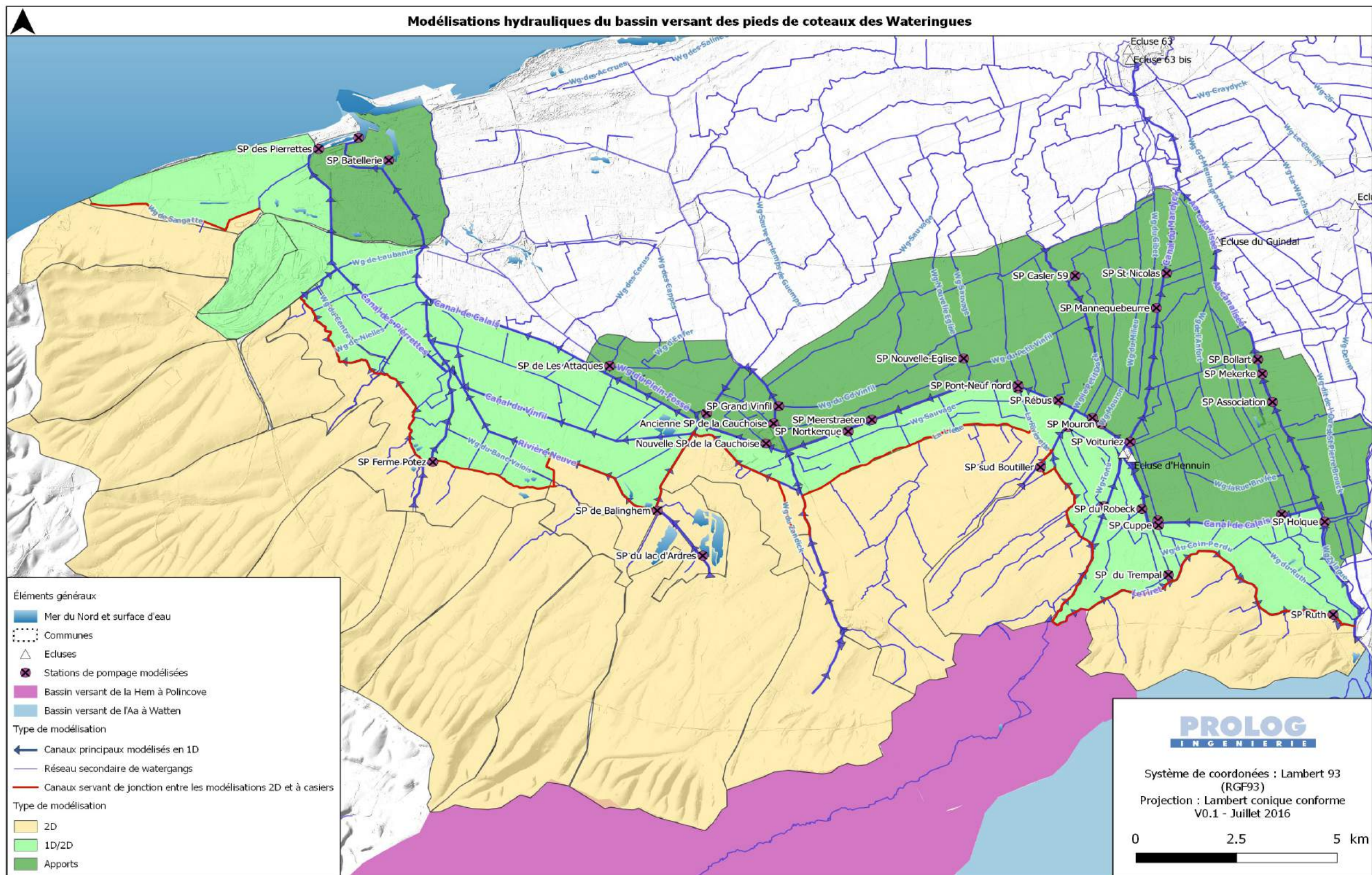


Figure 5 : Modélisation hydraulique du bassin versant des pieds de coteaux

Ces hypothèses simplificatrices sont admissibles dans le lit mineur des cours d'eau et permettent de couvrir des linéaires importants dans le cas d'un réseau de cours d'eau fortement maillé, en conservant des temps de calculs opérationnels. Tous les types d'ouvrages impactant la ligne d'eau et les écoulements en lit mineur peuvent 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, sont calculés sur la base d'équations théoriques ou empiriques éprouvées.

- **La plaine est quant à elle représentée par un schéma dit bidimensionnel.** 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 sont 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, dans les tronçons principaux (siphons) ou dans la plaine (pompes) peuvent être intégrés à la modélisation. Leur impact sur les écoulements est 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 des canaux d'une part et la propagation des eaux débordées dans la plaine d'autre part. Cette connexion s'effectue à chaque pas de temps de calcul, et est représentée par une loi de surverse prenant en compte la cote des hauts de berge comme niveau de débordement.

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.

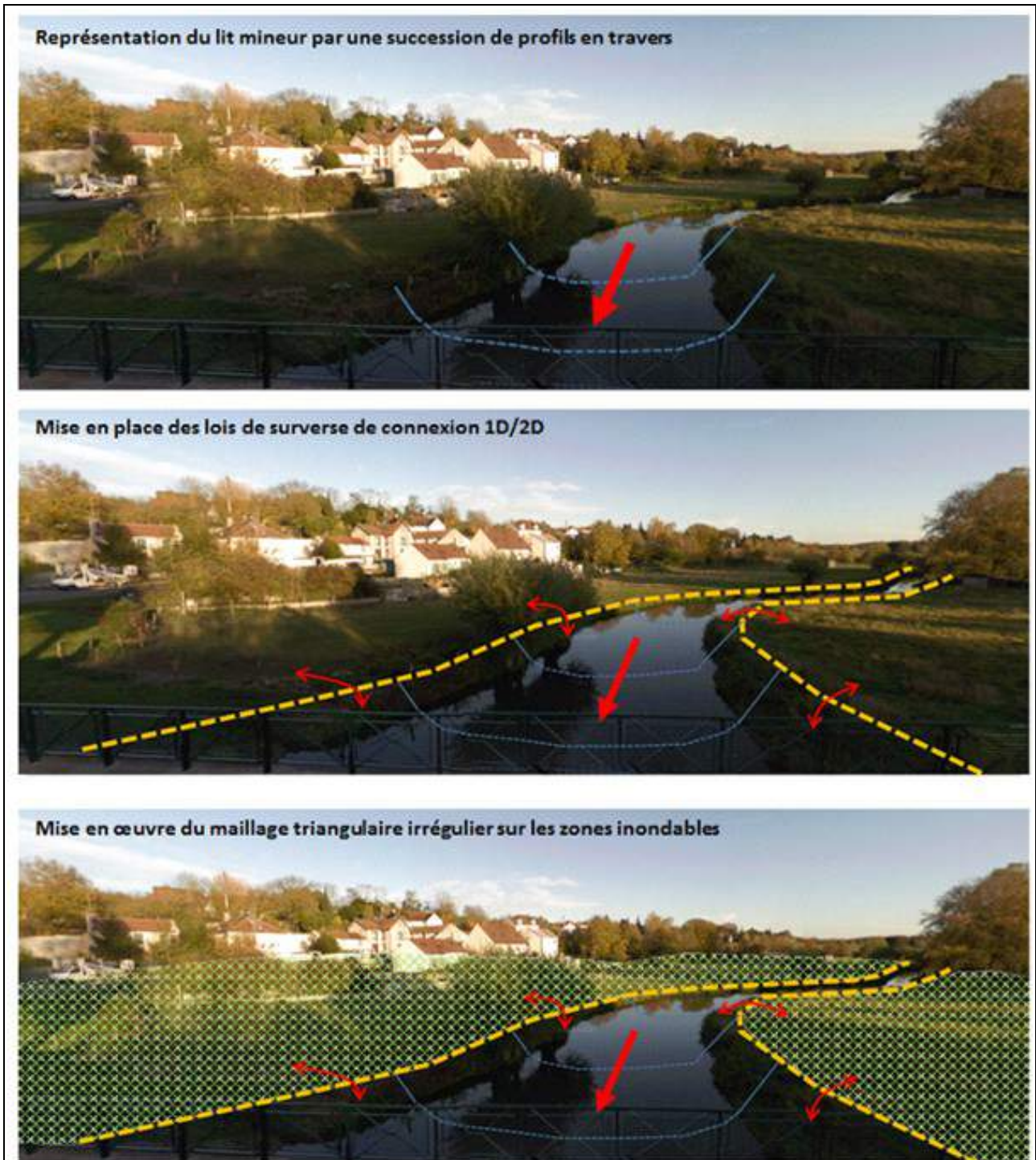


Figure 6 : Principe de construction du modèle hydraulique 1D/2D

2.1.2 Modélisation des canaux principaux

Les canaux principaux, issus du réseau structurant des modèles Hydratec « Calais » et « Aa Grand Gabarit », ont donc été **modélisés en 1D** à partir de profils en travers disponibles. Cela concerne :

- pour le modèle « Calais », le canal de Guînes, le canal d'Audruicq, le canal d'Ardres, le canal des Trois Cornets, le canal de Calais, le canal du Houlet, la rivière de Hames, la Rivière Neuve et le canal des Pierrettes, la Rivière 1777, le canal du Vinfil et le watergang du Vieux Vinfil, la rivière de Nielles, le watergang du Petit Drack, la Liette et le watergang de l'Oudrecq ;
- pour le modèle « Aa Grand Gabarit », l'Aa canalisée à l'aval de Watten, le Tiret, la Liette, le Meulstroom et le canal du Mardyck.

Remarque : Le logiciel HYDRARIV développé par Hydratec impose un nombre limité de points par profil (7) et des profils symétriques. Les profils bathymétriques bruts ont ainsi été simplifiés. Au regard de ces simplifications, l'intégration des profils bruts au sein du modèle réalisé a été privilégiée.

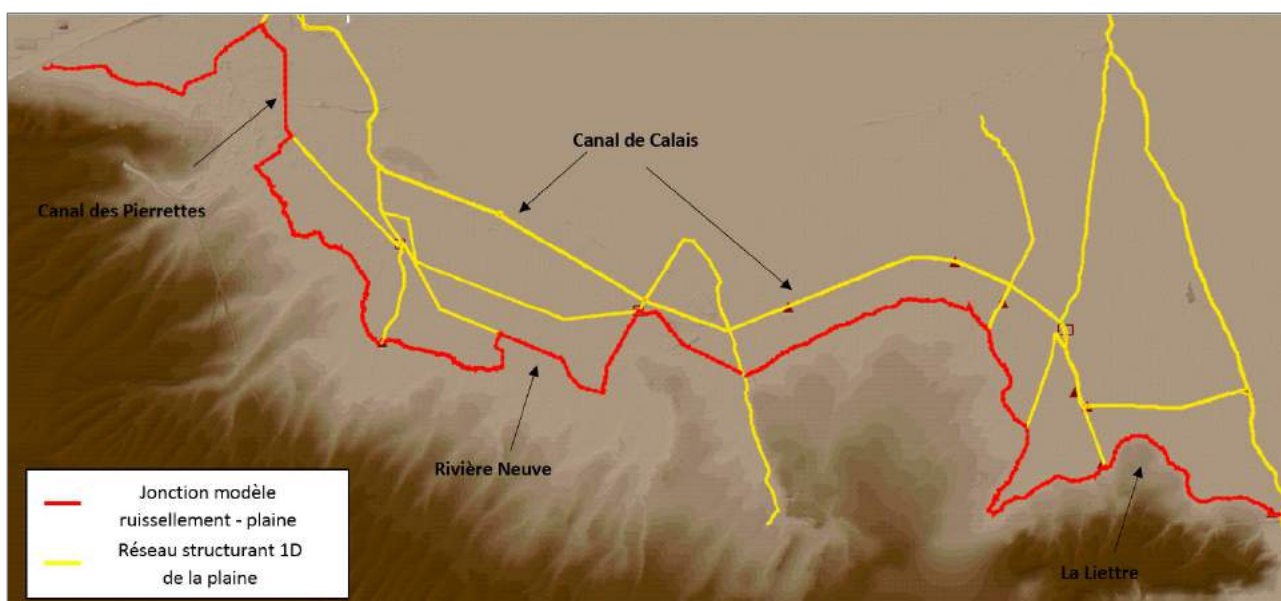


Figure 7 : Représentation du réseau structurant de la plaine des Wateringues

2.1.3 Modélisation du réseau secondaire et des stations de pompage des sections

Pour le réseau secondaire, les watergangs situés en pieds de coteaux et recueillant les eaux de ruissellement seront modélisés en 1D. Il s'agit des watergangs de Sangatte et du Zandick, de la Liette (ruissellement sur les communes de Nortkerque et Zutkerque) et de la rivière à Bouzats dans le Marais de Guînes (connectée à la station de pompage de la Ferme Potez).

L'ensemble des watergang modélisés sont les mêmes que ceux intégrés par Hydratec au sein de leurs modèles « Calais » et « Aa Grand Gabarit ».

Comme présenté au cours de la réunion technique du 06 juillet 2016, les dimensions génériques de 8 m de largeur et de 2 m de hauteur ont été retenues.

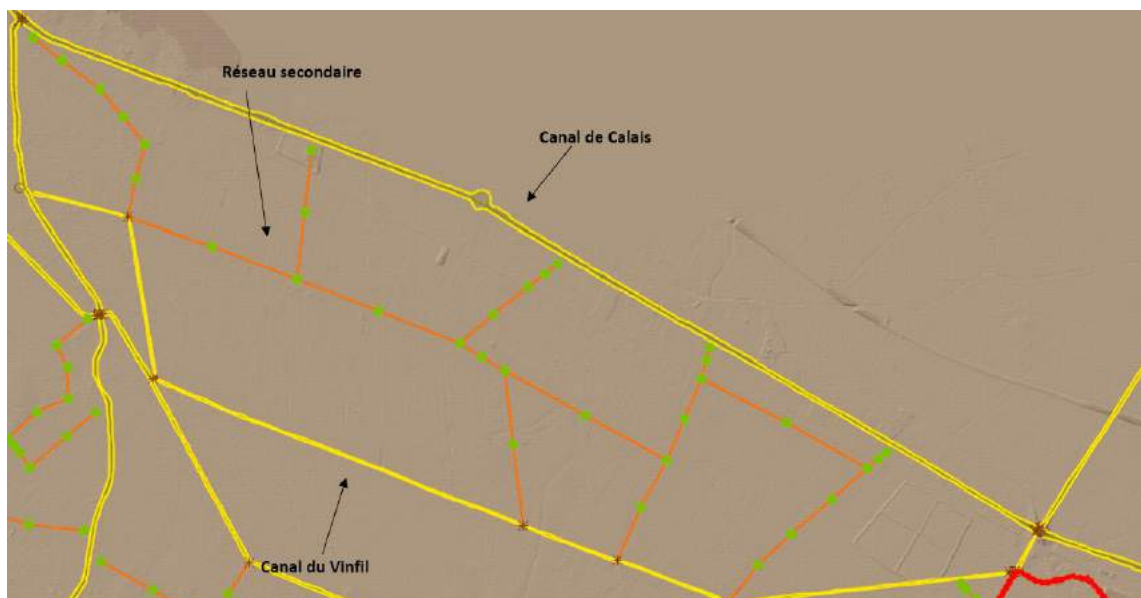


Figure 8 : Représentation du réseau secondaire de la plaine de Wateringues

Le reste de la plaine est modélisé par le biais d'une zone de maillage, dont les mailles sont adaptées à la topographie permettant de ce fait de représenter la capacité de stockage de cette dernière.

Les stations de pompage des sections de Wateringues ont également été représentées afin de retranscrire de manière pertinente le drainage de la plaine au sein du territoire d'étude ainsi que le remplissage du canal de Calais pour celles localisées au nord de ce dernier. L'ensemble des règles de régulations sont tirées du modèle Hydratec utilisé dans le cadre du PAPI du Delta de l'Aa.

Les stations intégrées au modèle figurent sur la carte intitulée « Modélisation hydraulique du bassin versant des pieds de coteaux »

2.1.4 Modélisation des ouvrages d'évacuation à la mer

Les stations de pompage de Calais, de la Batellerie et des Pierrettes pour le secteur du Calaisis et l'écluse 63bis à Gravelines pour l'Aa canalisée ont été modélisées suivant les régulations définies dans le modèle Hydratec utilisé dans le cadre du PAPI du delta de l'Aa.

2.1.5 Conditions aux limites

Comme énoncé dans le paragraphe 1.2.3.3, les hydrogrammes calculés par la modélisation pluie-débit, ont été injectés en un point suivant la configuration des sous bassins versants, dans les canaux drainant ces derniers. La délimitation de ces sous-bassins versants est reprise de l'emprise de chaque casier du modèle Hydratec. Ces propos sont illustrés ci-dessous :

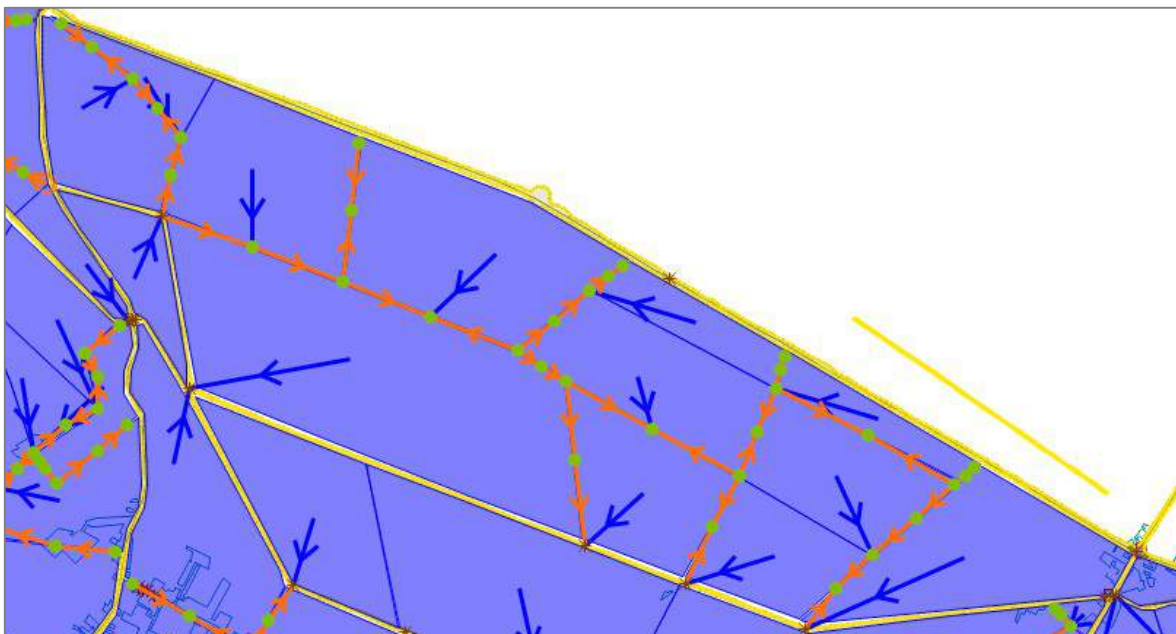


Figure 9: Représentation sous bassins versants et de leur point d'injection au niveau de la plaine des Wateringues

De plus, **pour le secteur de l'Aa, deux injections de débit** ont été faites :

- à Polincove pour la Hem (bassin versant en rose sur la figure 5), à l'amont de la diffluence de la Hem entre le Meulstroom et le Tiret ; les débits injectés sont issus des stations hydrométriques de Recques-sur-Hem ou Tournehem-Guémy pour les événements retenus pour le calage ;
- à Watten pour l'Aa (bassin versant en bleu sur la figure 5), à l'aval du partiteur d'Holque-Watten ; les débits injectés sont issus des hydrogrammes reconstitués par Hydratec lors de l'événement de novembre 2009 ; les événements de calage retenus ne correspondant pas aux événements modélisés, la station de Wizernes sur l'Aa (amont du Marais Audomarois) a été exploitée avec une estimation de l'écrêtement dans le Marais Audomarois à partir des l'épisode de novembre 2009. C'est effet le cas de l'événement de novembre 2012, proche de l'événement de novembre 2009 (38 m³/s en 2009 contre 37 m³/s en 2012).

Remarque : Initialement, il avait été prévu de récupérer les hydrogrammes de la Hem et de l'Aa à Watten issus des modélisations du PAPI du delta de l'Aa, dans un souci de cohérence et d'échange entre les deux procédures. Finalement, aucun hydrogramme ne nous a été fourni.

A l'aval, la condition limite est un marégramme à Calais, pour le canal de Calais et le canal des Pierrettes, **et un limnigramme (à l'amont de l'écluse 63 pour les crues de calage)** pour l'Aa canalisée.

2.2 Modélisation des phénomènes de ruissellement

2.2.1 Principe général de la modélisation bidimensionnelle

Le modèle hydraulique qui sera mis en place pour simuler les phénomènes de ruissellement sur l'ensemble des coteaux est un modèle bidimensionnel représenté par un maillage de calcul bidimensionnel. Aussi, l'ensemble des écoulement résultant de l'application de la pluie sur le maillage est représenté par une modélisation bidimensionnelle.

Les différentes données d'entrée, nécessaires 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 mais également d'estimer leur capacité d'infiltration ;
- **le bâti**, qui permet de prendre en compte les obstacles des secteurs urbanisés.

La construction du maillage est un processus itératif, intégrant tour à tour ces éléments pour déterminer le tracé des mailles de calcul, leur dimension optimale et, pour intégrer certains éléments spécifiques à la prise en compte d'obstacles et d'ouvrages.

L'objectif est d'aboutir au meilleur compromis entre :

- d'une part, la mise en place d'un ensemble de mailles de calcul, qui permet de représenter le phénomène de ruissellement le long des coteaux avec une précision adaptée à l'échelle de travail ;
- d'autre part, la mise en œuvre d'un modèle opérationnel, qui permette de simuler les phénomènes considérés avec des temps de calculs acceptables. Deux facteurs jouent sur ce temps de calcul :
 - le nombre de mailles en eau lors de la simulation, un grand nombre de mailles ralentissant les calculs en épuisant les ressources de calcul des matériels informatiques exploités ;
 - la taille des plus petites mailles en eau, qui du fait du schéma de calcul numérique mis en œuvre, détermine le pas de temps de calcul² (i.e. l'intervalle entre deux calculs) minimal. Plus ce pas de temps est petit, plus le nombre de calculs sera élevé, et plus le temps de calcul global sera important.

L'ensemble des procédures mises en œuvre pour l'élaboration du maillage de calcul concourt à l'atteinte de ce maillage optimal.

2 Voir critère dit de Courant-Friedrichs-Lewy (CFL)

2.2.2 Prise en compte de la topographie

La donnée de base du maillage de calcul est la topographie. L'altimétrie de chaque maille correspond à une moyenne réalisée par le logiciel Inforworks ICM à partir des données du MNT au droit de la maille. C'est la différence d'altitude entre les mailles qui dirigera les écoulements calculés par le modèle.

Dans le cadre du PPRi des pieds de coteaux des Wateringues, deux MNT seront utilisés, comme décrit dans le livrable L4a de la phase 1 :

- un levé LIDAR (aérien) avec un pas d'espace (taille de cellule carrée) de 1 m sur la plaine des Wateringues et le bas des coteaux, nommé MNT Wateringues ;
- un levé LIDAR (aérien) avec un pas d'espace (taille de cellule carrée) de 0.5 m sur les coteaux, nommé MNT Coteaux.

Les conclusions de ce livrable sur la fiabilité des MNT étaient les suivantes :

- une bonne fiabilité des deux MNT par intercomparaison sur leur zone de recouvrement ;
- un bon filtrage de la végétation et des parcelles cultivées ;
- des « trous » dans le MNT Wateringues au niveau des bâtiments et des plans d'eau, comblés par interpolation avec les points avoisinants.

2.2.3 Intégration de la rugosité

Chaque maille générée se voit affecter une valeur de rugosité exprimée selon le coefficient de Strickler, défini en fonction de l'occupation des sols.

La dynamique d'écoulement sur une parcelle agricole, sur une voirie ou un parc est en effet différente, les phénomènes de frottement n'étant pas les mêmes. Il est donc important de sectoriser les coteaux en zones d'écoulement dont le coefficient de rugosité sera adapté au type d'occupation des sols.

Suite à l'analyse des données d'occupation du sol (BD SIGALE), les classes suivantes ont été retenues :

<i>Classes rugosité</i>	<i>Rugosité - Strickler ($m^{1/3}/s$)</i>
Dunes, plages	11
Forêts et milieux à végétation arbustive	11
Zones industrielles, commerciales, scolaires et réseaux de communication	15
Carrières, décharges, chantiers	15
Zones urbanisées	16
Espaces verts - Prairies	20
Zones humides	20
Zones agricoles	30
Axes routiers principaux	40
Plans d'eau	40

Tableau 2 : Classes de rugosité

La répartition géographique de ces rugosités est présentée sur la carte de la page suivante.

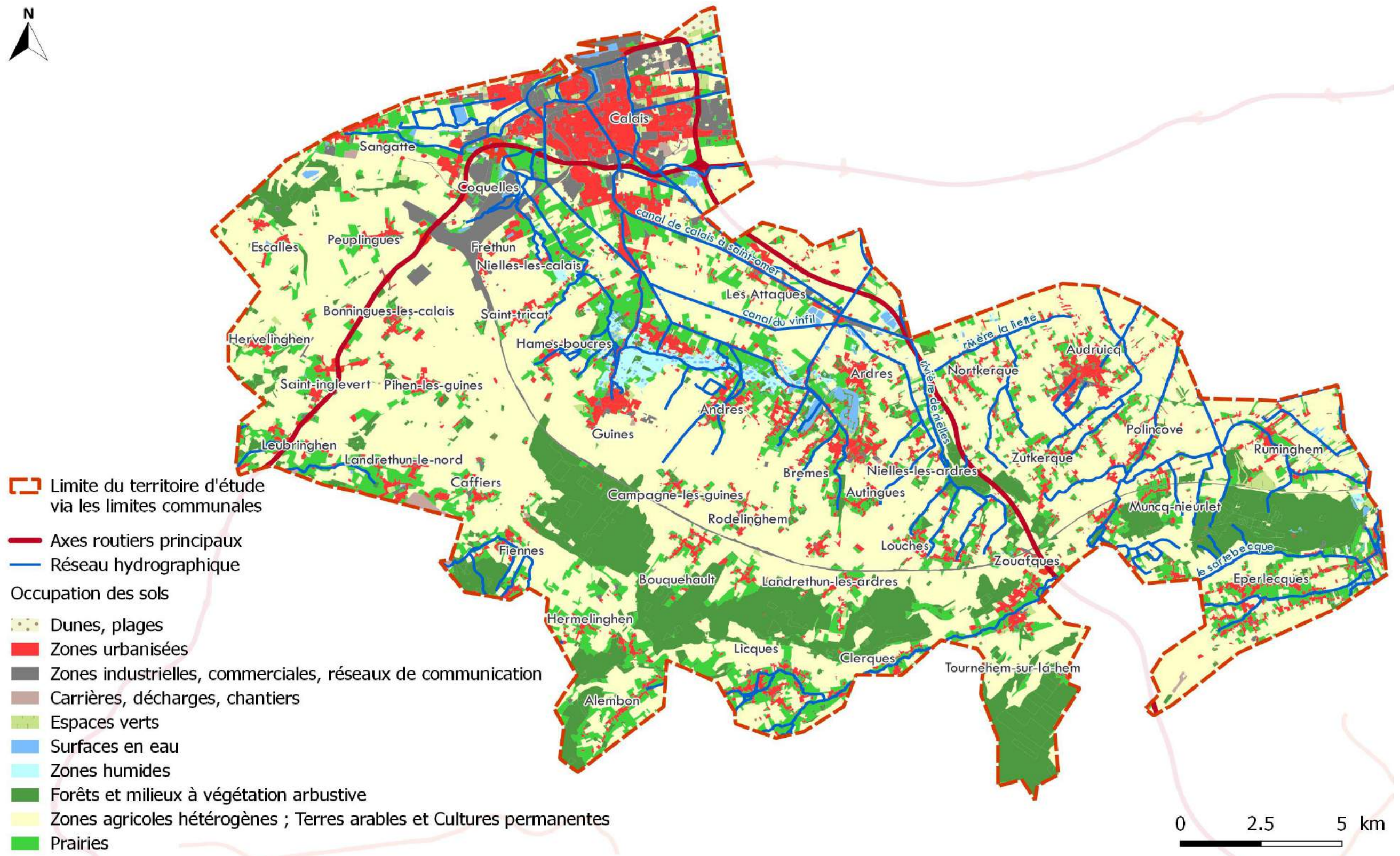


Figure 10 : Occupation du sol sur le territoire d'étude

2.2.4 Intégration des obstacles et des ouvrages

Le mode de calcul des écoulements entre les mailles ne prend pas en compte les phénomènes de surverse, où une loi de surverse s'applique. Afin de représenter correctement les phénomènes lors de cette surverse de remblais d'infrastructures (routiers, SNCF, ...) il est par conséquent nécessaire d'intégrer des lignes de surverse sur la crête de l'ouvrage et ainsi forcer le maillage à la correcte altitude. Par ailleurs, il est indispensable de représenter les points de passages sous ces derniers, généralement localisés en fond de talweg afin de ne pas créer de zones de rétention artificielles en amont des ouvrages.

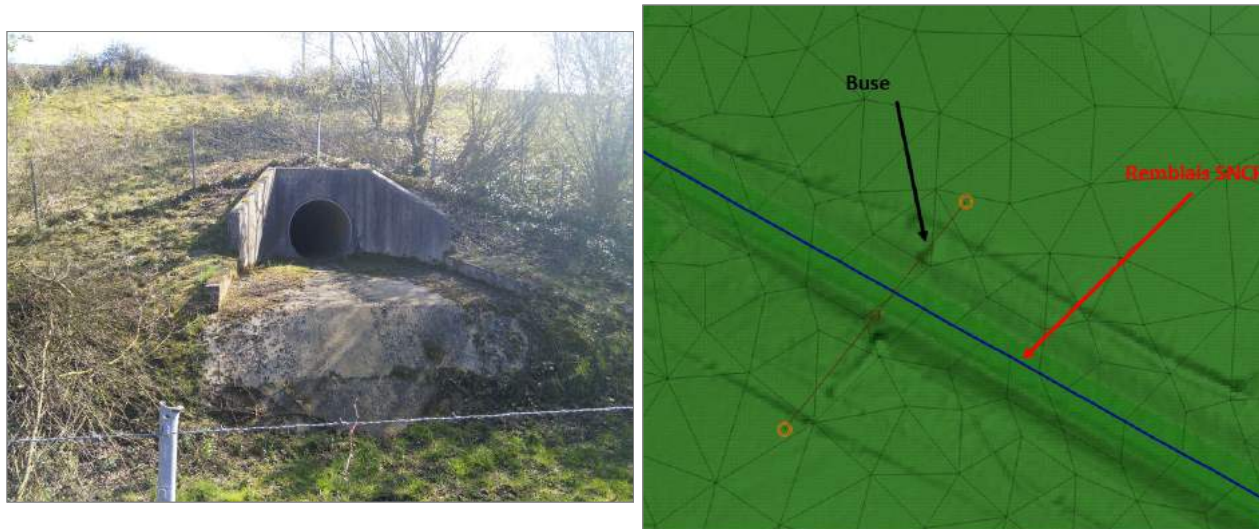


Figure 11 : Exemple de représentation d'un remblais SNCF au sein du territoire d'étude

2.2.5 Prise en compte du bâti



Les zones urbanisées génèrent des perturbations importantes des écoulements sur le territoire d'étude en les bloquant dans certains secteurs, et en les concentrant sur les voiries principales dans d'autres.

Il n'est cependant pas possible d'intégrer tous les bâtiments du cadastre directement sous la forme d'obstacles aux écoulements car la multiplicité des formes au niveau des communes du territoire d'étude conduirait à créer de nombreuses mailles de calcul de petites dimensions, allongeant ainsi considérablement le temps de calcul.

Une simplification des données cadastrales, a été réalisée afin de prendre en compte le bâti au sein du modèle.

Ces obstacles représentés par ces dites zones, sont intégrées au modèle sous la forme de murs poreux, signifiant qu'un certain pourcentage du débit pourra passer au travers de ces derniers.

Cette approche permet à la fois de représenter l'effet de blocage des parcelles bâties et l'accélération des écoulements au sein des rues mais également l'inondation de parcelles, avec des vitesses d'écoulements faibles, ce qui est de manière générale observé.

<p>Étape 1 : simplification des parcelles bâties</p>	
<p>Étape 2 : différenciation de la porosité des murs</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Si la délimitation de la parcelle coupe un bâtiment le mur poreux sera insubmersible et de très faible porosité ; • Sinon, ces derniers seront considérés comme des murets de petites tailles et de porosité importante.
<p>Rendu au niveau de la commune d'Ardres :</p> <p>En rose les murs poreux bâtis et vert ceux non bâtis</p>	

Aussi, les murs poreux mis en place au droit des limites des îlots bâtis suivent la classification suivante :

	Bâti	Non Bâti
Porosité	0,01	0,2
Signification	Infiltration de 1 % du débit, écoulement quasi nul	Infiltration du débit de 20 %, écoulement faible
Hauteur	2 m	50 cm

Tableau 3 : Classification des murs poreux

2.2.6 Synthèse des différentes étapes de construction d'un maillage bidimensionnel

Le tableau de la page suivante présente les différentes étapes de construction d'un maillage bidimensionnel.

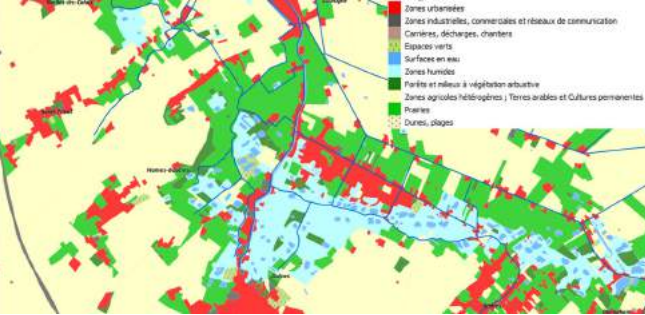
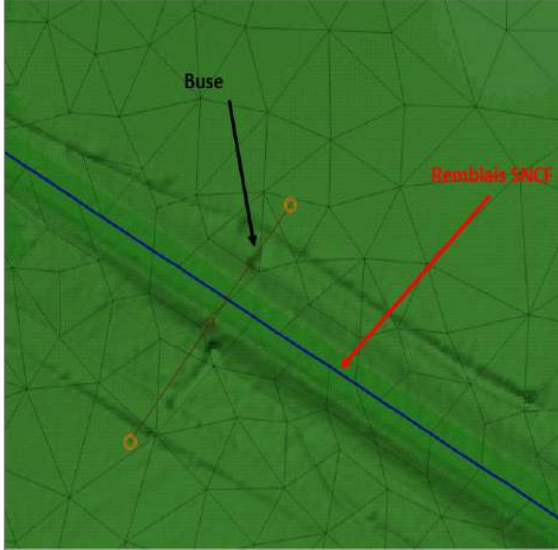
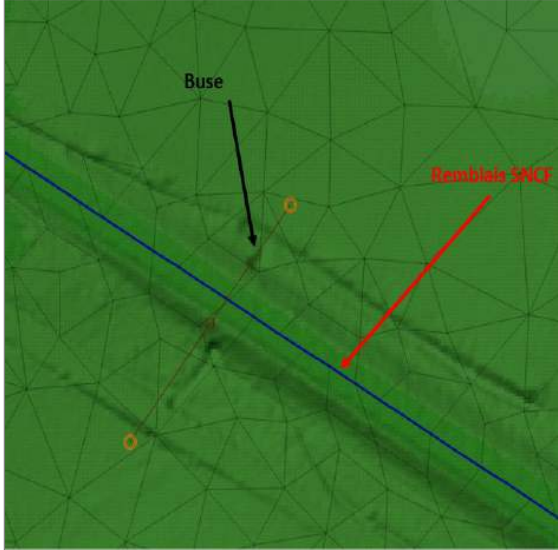

Étape	Objectifs	Détail et commentaires	Illustrations
1	<p>Prise en compte de l'effet de freinage/accélération des différentes couvertures de sol</p>	<p>Il s'agit ici de sectoriser le périmètre d'étude en différentes zones d'écoulement dont les coefficients de rugosité seront adaptés au type d'occupation 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 SIGALE et chaque zone se verra affecter un coefficient de Strickler correspondant à sa couverture de sol.</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. 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	<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 sur la base de leurs géométries réelles</p>	
4	<p>Prendre en compte l'effet de blocage des bâtiments dans les zones urbanisées Affiner le maillage de calcul dans les zones à enjeux</p>	<p>Utilisation des limites de parcelles bâties (le premier blocage se produit souvent en zone urbaine en bordure de parcelles soit par le bâtiment lui même, soit par une haie ou un mur d'enceinte) comme éléments de forçage du maillage et comme murs poreux (représentation de l'effet de blocage sans toutefois le surestimer en permettant à un faible pourcentage du débit de s'infiltrer à l'intérieur de la parcelle)</p>	

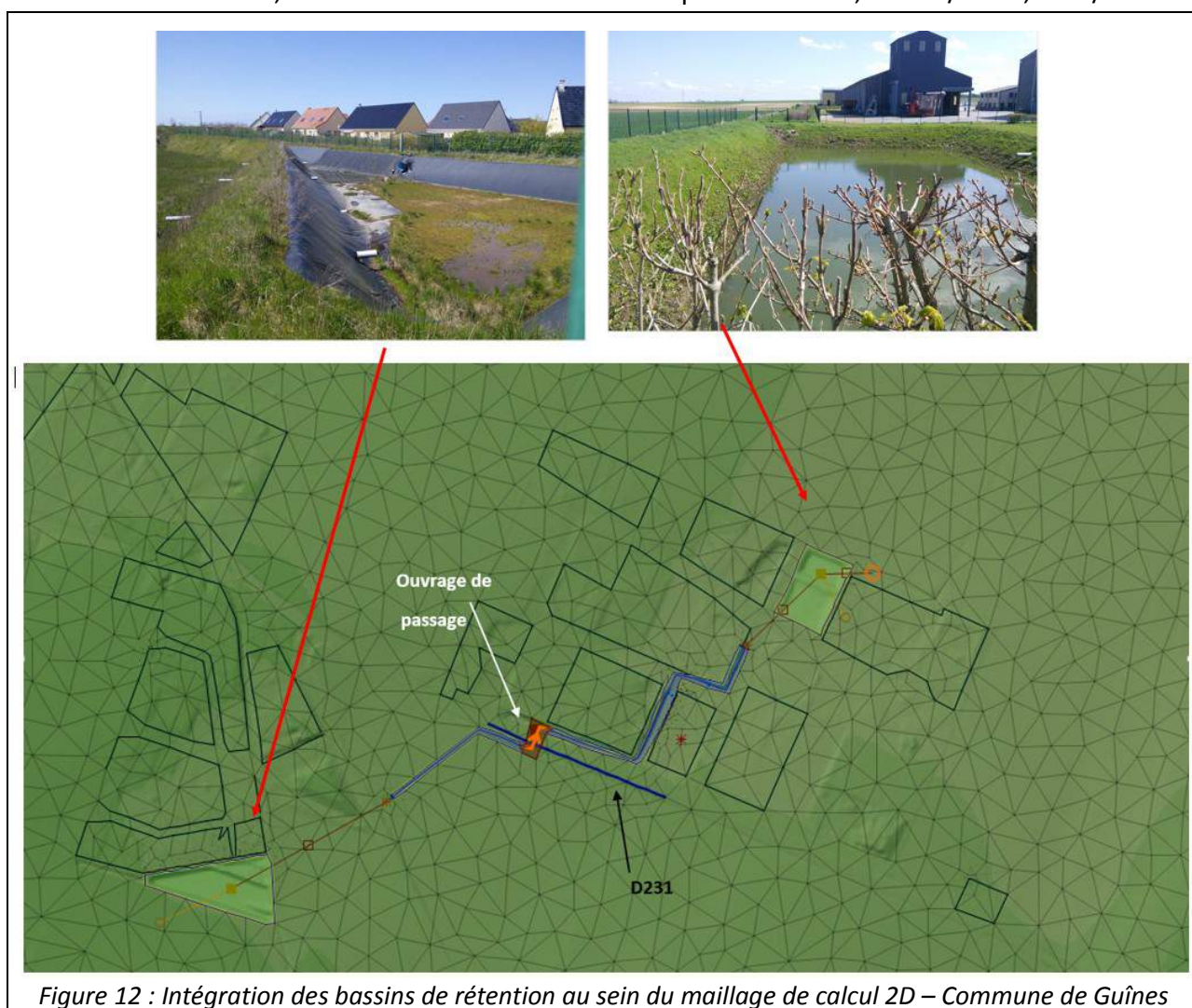
Tableau 4 : Étapes de construction du maillage de calcul 2D

2.2.7 Aménagements hydrauliques contre le ruissellement

Comme décrit dans le livrable L4b de la phase 1, on note la présence de nombreux bassins de rétention appartenant à différents organismes (Eurotunnel, SNCF, CCSOC, ...).

Les bassins les plus importants, ayant donc un effet notable sur les ruissellements, ont été intégrés en accord avec les plans fournis (capacité et dimension de l'ouvrage de fuite).

Les bassins de rétention du site Eurotunnel, ont fait l'objet d'une représentation simplifiée. En raison des données, transmises il a donc été décidé de faire une vaste zone de rétention d'une capacité totale de 300 000 m³, comportant deux exutoires au niveau du watergang de Sangatte et du canal des Pierrettes, dont les débits de fuites sont respectivement 0,116 m³/s et 0,8 m³/s.



2.2.8 Réseaux d'assainissement pluvial communaux - Becques et axes de ruissellement en zone urbanisée

Les branches principales ($\phi > 500$ mm) des réseaux d'assainissement pluvial les plus importants et se rejetant dans les canaux VNF ont été modélisées pour les communes de :

- Guînes pour le canal de Guînes ;
- Ardres et Brêmes pour le canal d'Ardres ;
- Audruicq pour le canal d'Audruicq ;

Les axes de ruissellement se transformant en becques au passage du centre des communes ont également été intégrés au modèle, afin de représenter de manière plus pertinente le risque inondation au sein des zones à enjeux. Les ouvrages de passage sous les axes routiers ont été levés.



Figure 13 : Exemple de becques et de passage sous un axe routier caractérisant les coteaux

En effet, pour ces communes, la distinction urbain/fluvial tend à s'estomper dans les secteurs urbanisés, où les interactions sont nombreuses entre les différents systèmes :

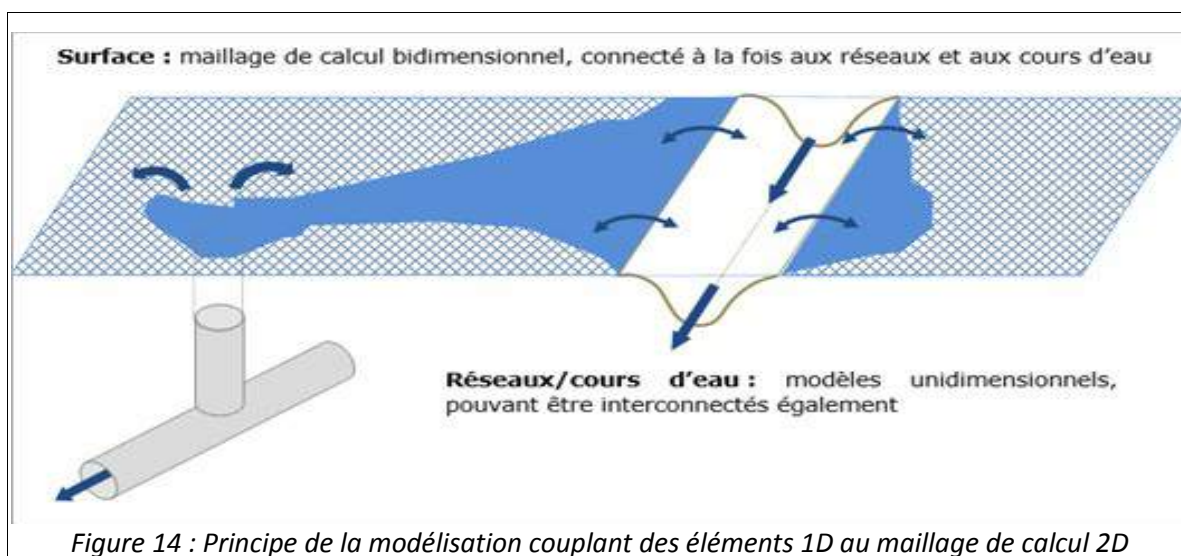
- les réseaux d'eau pluviale interagissent avec les cours d'eau par simple confluence, où ces derniers en crue imposent une condition aval défavorable à ces réseaux via leurs exutoires ;
- les cours d'eau peuvent être en partie à ciel ouvert, et en partie busés (ruisseau de Brêmes par exemple) pouvant finir par se transformer en réseaux de collecte des eaux pluviales ;
- les eaux débordées d'un cours d'eau en crue dans les secteurs urbanisés peuvent rejoindre les réseaux d'assainissement, et inversement, en circulant dans des espaces à la topographie complexe, comportant de nombreux obstacles ou axes d'écoulement en surface.

L'approche la plus à même de représenter de façon correcte les phénomènes décrits ci-dessous est la modélisation couplée 1D/2D que l'on pourrait qualifier de « globale », où les différents systèmes sont représentés de la façon suivante :

- **les cours d'eau à ciel ouvert et les sections enterrées** (réseaux d'évacuation des eaux pluviales ou sections busées de cours d'eau) sont représentés par des **approches unidimensionnelles**, qui offrent le meilleur compromis entre la précision du calcul, les besoins en terme de données d'entrée et les temps de mise en œuvre (il serait inutile à ce stade de représenter ces espaces par des approches bidimensionnelles ou tridimensionnelles, trop gourmandes en termes de temps de mise en œuvre et de données d'entrée, et qui n'apporteraient pas un réel gain en termes de précision des résultats dans ces domaines) ;
- **les écoulements au sein des espaces inondés par les réseaux enterrés** sont représentés par un maillage bidimensionnel.

C'est en effet la méthode qui permet de représenter de manière la plus satisfaisante les phénomènes en œuvre sans avoir recours aux hypothèses trop simplificatrices des approches unidimensionnelles sur ces espaces au comportement complexe.

En conclusion, cette modélisation 1D/2D, pouvant être qualifiée de « globale », consiste à intégrer des éléments unidimensionnels représentant les réseaux d'eau pluviale ainsi que les réseaux hydrographiques principaux au sein du maillage de calcul bidimensionnel des coteaux.



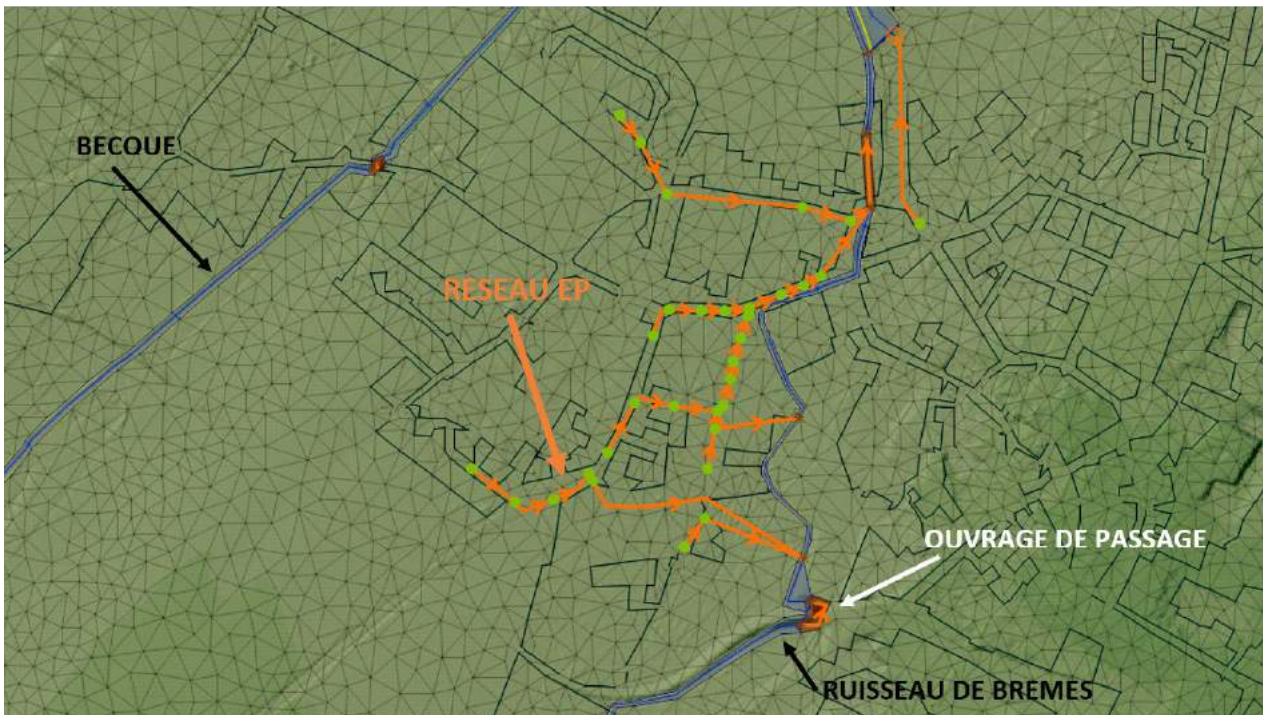


Figure 15 : Représentation des réseaux EP et becques suite à leur intégration dans le maillage de calcul 2D

2.2.9 Conditions aux limites

Comme énoncé dans le paragraphe 1.3, l'objectif de l'approche pluie-ruissellement est d'utiliser le profil des précipitations pour simuler les écoulements dans le modèle. Les pluies réelles ou théoriques seront donc appliquées directement sur la maillage de calcul 2D.

A l'aval, le modèle 2D ruissellement sera connectée en pieds de coteaux au réseau 1D-2D de la plaine des Wateringues aux niveaux des canaux principaux ou secondaires recueillant les eaux de ruissellement.

2.3 Prise en compte du phénomène de remontée de nappe

Le livrable L4c « Analyse du fonctionnement hydraulique du bassin versant » a identifié des zones de sensibilité à la remontée de nappe. Cette sensibilité est prise en compte, sur toutes ces zones, comme phénomène aggravant dans la modélisation pluie-débit, avec une condition initiale de saturation des sols élevée, comprise entre 75 % et 100 % correspondant au paramètre II ou III caractérisant les conditions pluvieuses antécédentes des CN.

De plus, la remontée de nappe a pour effet d'élever les débits de base repris par les canaux en créant ainsi des conditions défavorables à l'évacuation des débits générés alors par un épisode pluvieux intense. Les débits de base des canaux ont été calés à partir des hydrogrammes reconstitués sur les canaux de Calais et des Pierrettes.

2.4 Calage du modèle hydraulique

2.4.1 Généralités

Une fois le modèle hydraulique construit, il est nécessaire de procéder à sa validation en analysant sa réponse à des événements pluvieux réels ayant touché le bassin versant et en la confrontant aux données historiques (repères de crues, témoignages) et quantitatives.

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 ».

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 canaux serviront aussi de points de comparaison.

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

Compte tenu de la re-modélisation de la plaine des Wateringues pour le PPRI des pieds de coteaux, il est à noter que le calage du modèle n'utilise pas les résultats des modélisations hydrauliques réalisées dans le cadre du PAPI du Delta de l'Aa.

2.4.2 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 mesurés en amont des ouvrages d'évacuation à la mer du canal de Calais et du canal de Pierrettes. Les paramètres de calage sont ceux définis au sein des paragraphes suivants. Ils 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. 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. Pour un témoignage, il existe une incertitude sur la hauteur d'eau dans les maisons, beaucoup plus 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 données historiques selon quatre classes.

<i>Écart (en cm) entre les niveaux historiques et modélisés</i>	<i>Validité du calage</i>
< 10 cm	Très bonne
[-20 cm ; +20 cm]	Bonne
[-30 cm ; +30 cm]	Moyenne
< -30 cm ou > +30 cm	Mauvaise

Tableau 5 : Classes de validité du calage hydraulique du modèle

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 caractérisée par le coefficient de ruissellement pour les coteaux et le CN pour la plaine sont listés ci-dessous :

Coefficients de ruissellement		
	2009	2012
Zones industrielles	0,40	0,50
Dunes - plages	0,20	0,30
Axes routiers principaux	0,80	0,90
Espaces verts - Prairies	0,25	0,35
Carrières – décharges - chantiers	0,30	0,40
Forêts	0,15	0,25
Plan d'eau	0,00	0,10
Zones agricoles	0,30	0,40
Zones humides	0,20	0,30
Zones urbanisées	0,40	0,50
Curve Number (CN)		
Sols imperméables, conditions antécédentes pluvieuses	CII	CII

Tableau 6 : Paramètres hydrologiques retenus

Les coefficients de frottement au sein des canaux définis par le biais des coefficients de Strickler sont synthétisés ci-dessous :

	Coefficient de Strickler ($m^{1/3}/s$)
Canal des Pierrettes	25
Canal de Calais et Aa canalisée	50
Canaux d'Ardres, Guînes et Audruicq	40
Ensemble des autres cours d'eau	20

Tableau 7 : Paramètres de calage hydraulique retenus

2.4.3 Événements de calage

2.4.3.1 Calage de la crue de novembre 2009

Calage hydrologique

Pour rappel, l'absence de station hydrométrique sur le territoire d'étude n'autorise pas la réalisation du calage hydrologique dans les règles de l'art. En revanche, des débits aux exutoires du canal de Calais et des Pierrettes ont pu être reconstitués, lors de l'étude Hydratec « Étude hydraulique de caractérisation de l'aléa inondation par les eaux continentales dans le secteur des Wateringues », suite à l'estimation des débits pompés et évacués gravitairement. Ces débits sont donc soumis à de fortes incertitudes.

Le tableau ci-dessous synthétise les débits de pointes reconstitués et modélisés ainsi que l'erreur relative aux deux exutoires du modèle.

	Débit de pointe estimé (m ³ /s)	Débit de pointe modélisé (m ³ /s)	Erreur relative (%)
Exutoire canal de Calais	18	17,63	2
Exutoire canal des Pierrettes	10	11,71	17

Tableau 8 : Calage hydrologique de la crue de novembre 2009

Ainsi, le modèle reproduit fidèlement l'évacuation des eaux à la mer du canal de Calais en terme de débit de pointe, la sous-estimation étant d'environ 2%. En revanche, il semblerait que le modèle ait tendance à surestimer le débit transitant par le canal des Pierrettes, l'erreur étant de 17%. Cependant, au regard des graphiques présentés ci-après, l'hydrogramme reconstitué présente un plafonnement du débit de pointe peu probable en réalité.

En terme de dynamique et de volume, la superposition de l'hydrogramme reconstitué et de celui simulé pour l'exutoire du canal de Calais permet de conclure quant à la bonne représentativité hydrologique de l'approche mise en place pour la crue de novembre 2009 (8,5 Mm³ pour la mesure contre 8,3 Mm³ pour le calcul, soit un écart d'environ 2%).

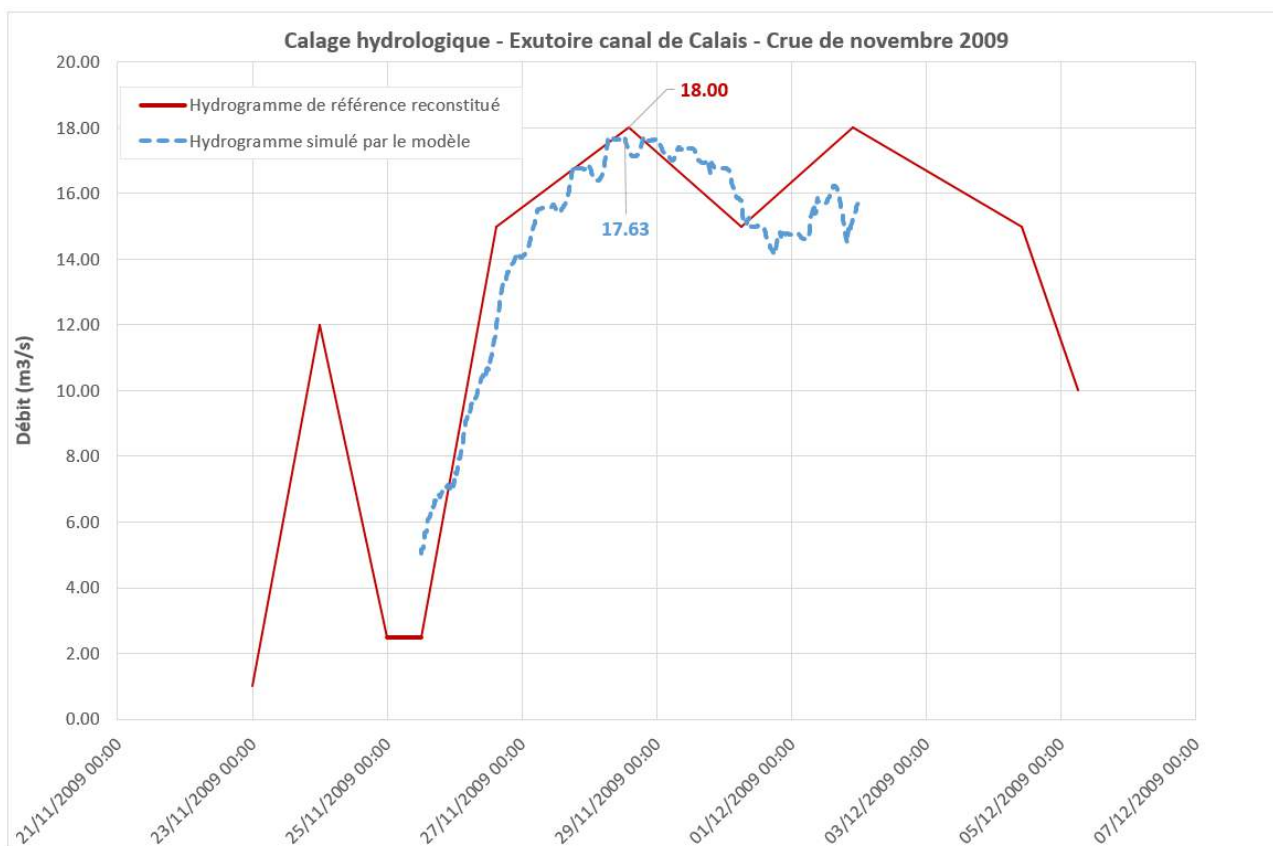


Figure 16 : Hydrogrammes reconstitué et simulé à l'exutoire du canal de Calais pour la crue de novembre 2009

La dynamique de l'onde de crue à l'exutoire du canal des Pierrettes semble en revanche ne pas suivre l'hydrogramme reconstitué. En effet, le débit maximal évacué en mer présente une avance de près de 24h par rapport à l'hydrogramme de référence. Cependant, l'augmentation linéaire du débit du 27/11/2009 au 01/12/2009 semble peu réaliste au regard de l'évolution du niveau d'eau mesurée au droit de l'écluse carrée (voir figure 20). Cet écart observé, peut être lié à la méthode expérimentale de la reconstitution des débits. Aussi, cette erreur ne peut remettre en cause la pertinence du calage.

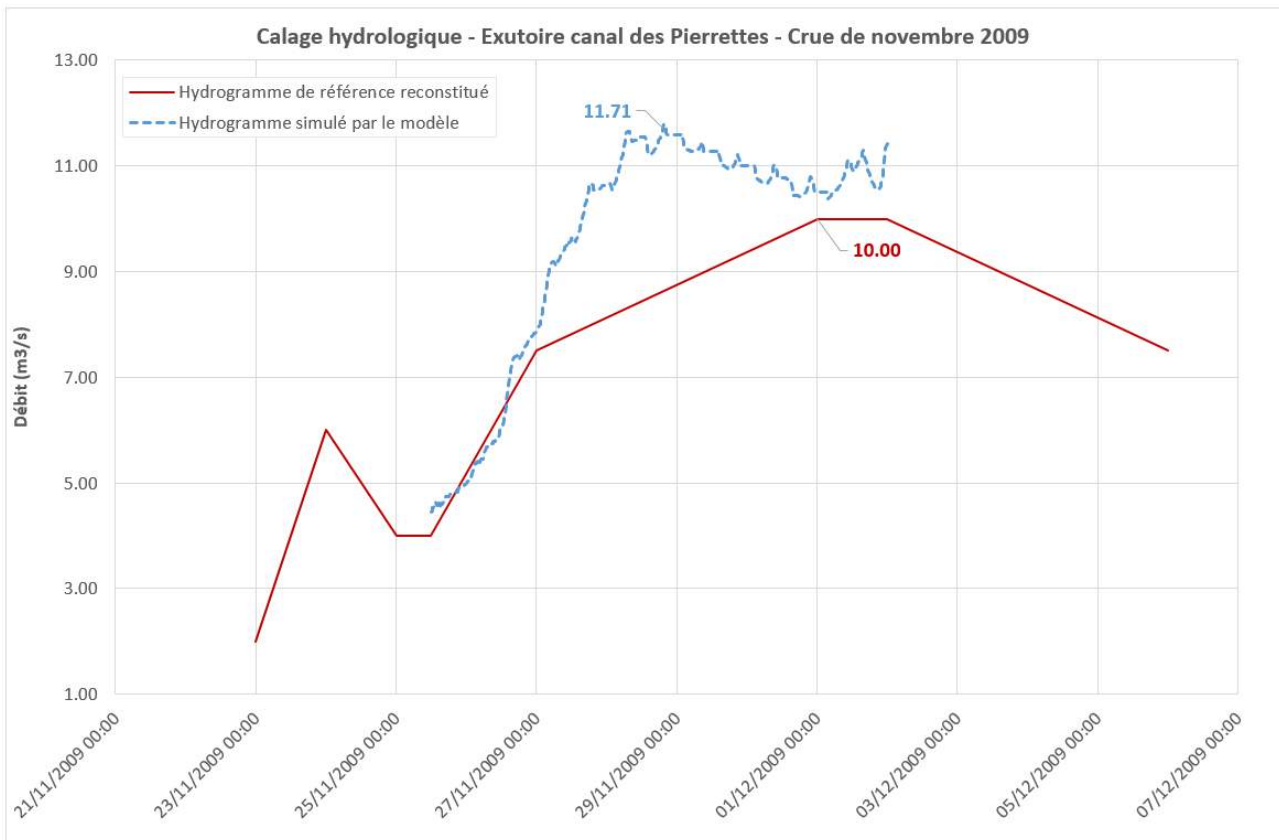


Figure 17 : Hydrogrammes reconstitué et simulé à l'exutoire du canal des Pierrettes pour la crue de novembre 2009

Calage hydraulique

Il convient maintenant de s'assurer de la bonne représentativité hydraulique du modèle, et donc de s'assurer de la correcte reproduction des niveaux d'eau historiques observés sur les canaux ainsi qu'au droit des repères de crue.

Pour cet événement, les données de calage sont :

- des limnigrammes sur le canal de Calais et un sur le canal des Pierrettes en amont de l'écluse carré ;
- des repères de crue ;
- des témoignages ;
- les Zones d'Inondation Constatées (ZIC) fournies par la DDTM62.

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

Les graphiques ci-dessous illustrent la bonne représentation de la dynamique des canaux au cours de l'événement pluvieux de novembre 2009.

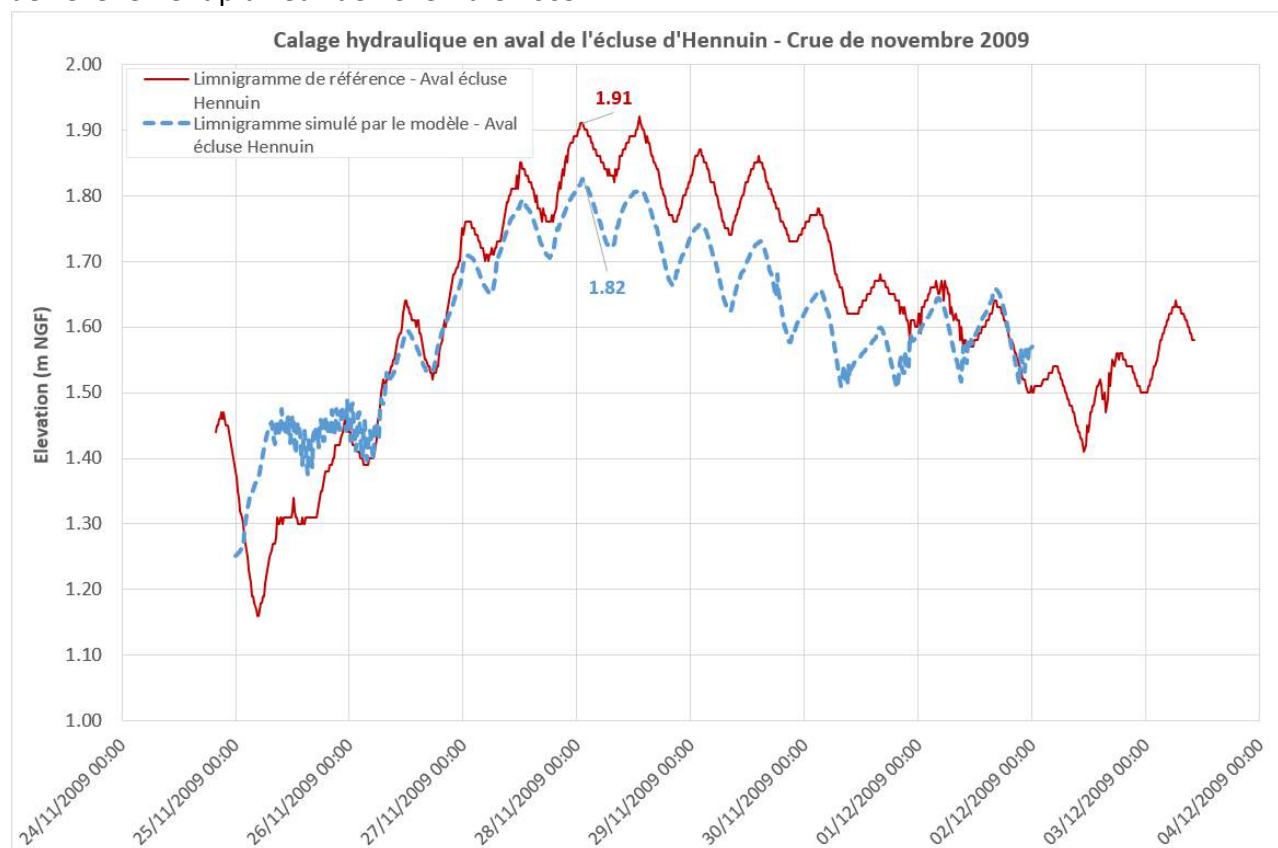


Figure 18 : Évolution du niveau d'eau du canal de Calais à l'écluse d'Hennuin pour la crue de novembre 2009

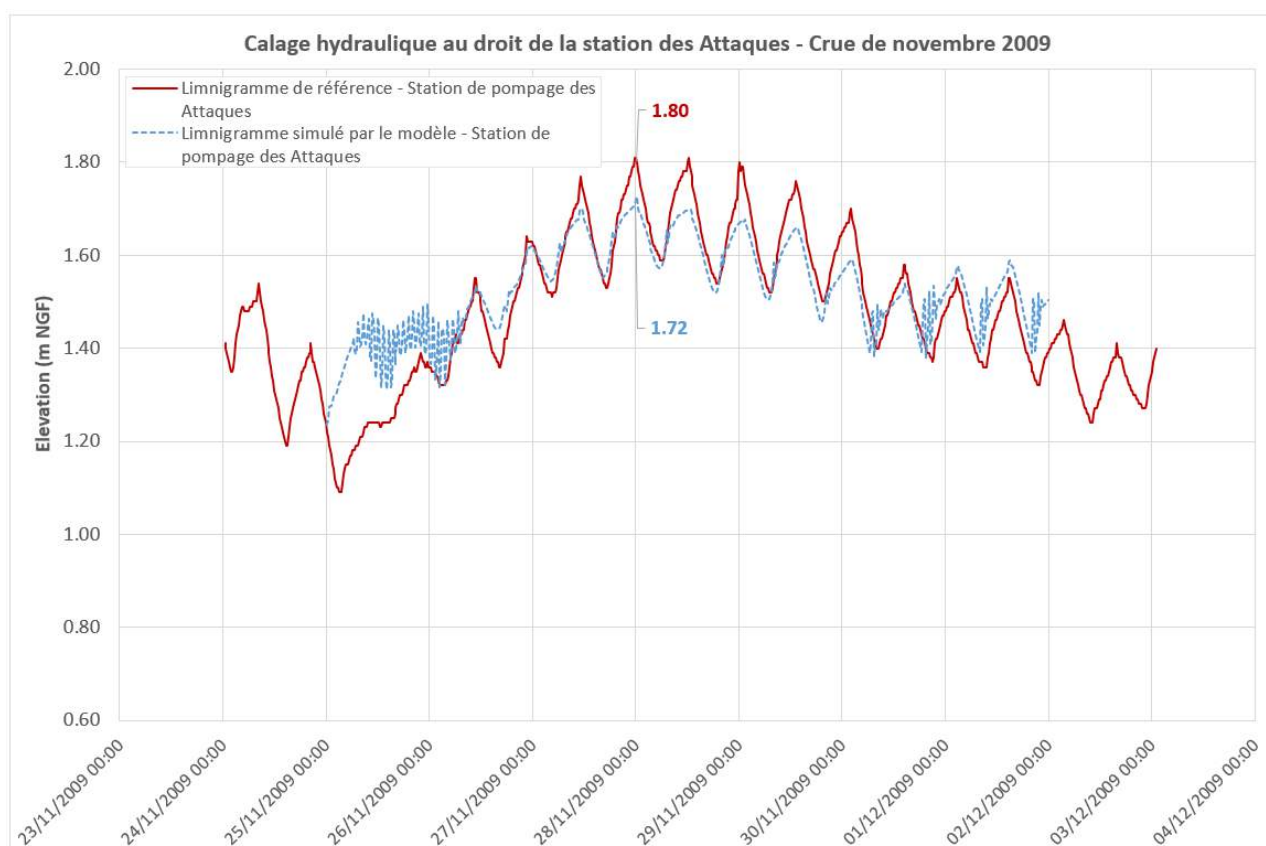


Figure 19 : Évolution du niveau d'eau du canal de Calais au droit de la station de pompage des Attaques pour la crue de novembre 2009

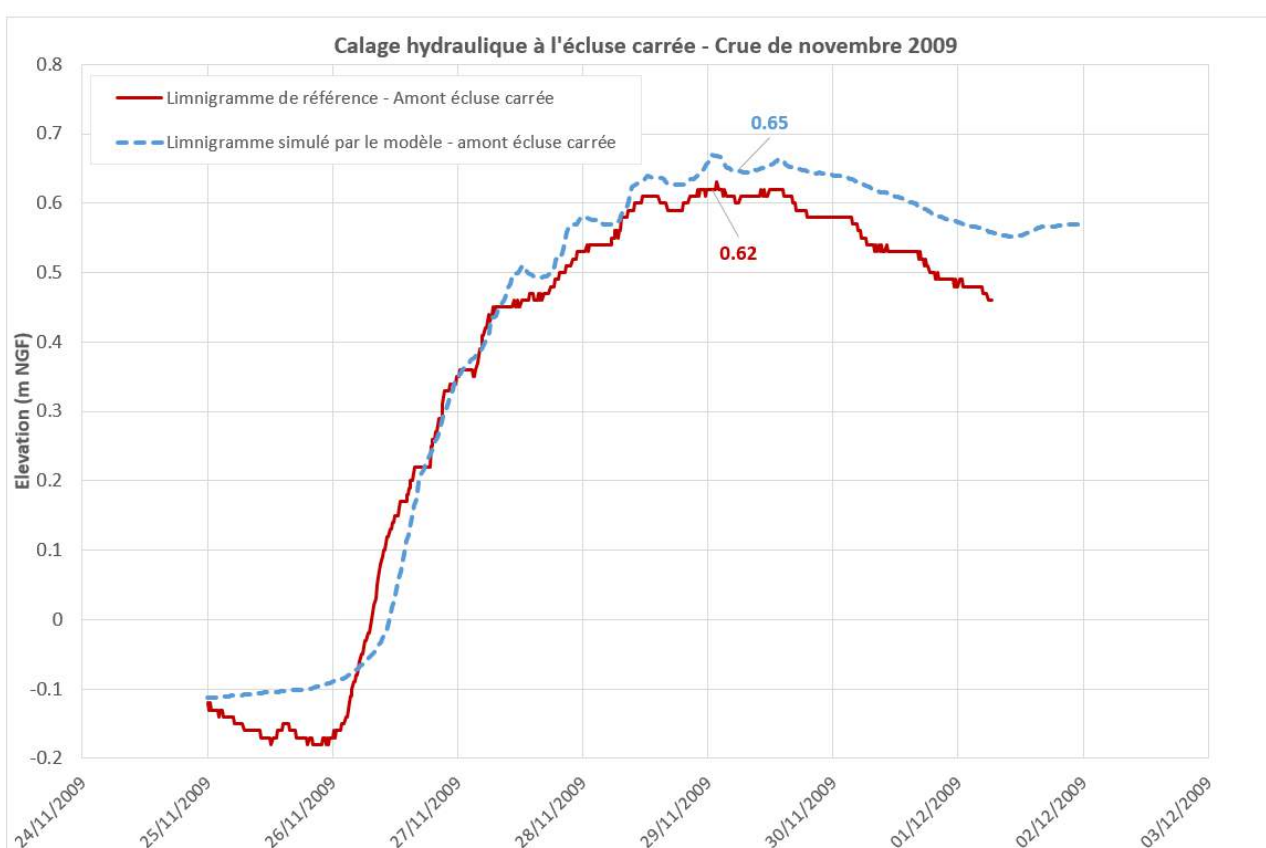


Figure 20 : Évolution du niveau d'eau du canal des Pierrettes à l'écluse Carrée pour la crue de novembre 2009

Le tableau ci-dessous synthétise l'écart relatif entre la mesure et le niveau d'eau simulé pour les trois limnigrammes présentés :

	Niveau max mesuré (m NGF)	Niveau max simulé (m NGF)	Différence (cm)
Aval écluse Hennuin	1,79	1,82	3
Station des Attaques	1,80	1,72	8
Écluse carrée	0,62	0,65	3

Tableau 9 : Comparaison des niveaux mesurés et modélisés au sein des canaux de Calais et des Pierrettes pour la crue de novembre 2009

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

<i>Repère / Témoignage</i>	<i>Commune</i>	<i>Fiabilité</i>	<i>Observation</i>	<i>Résultat modèle</i>	<i>Différence (modèle/observation)</i>
P_ARD_56_26_11_2009	Ardres	2	5 cm d'eau dans la cuisine du restaurant la Frégate	7 cm	2 cm
P_ARD_131_26_11_2009	Ardres	2	10 cm d'eau au niveau du premier plancher habitable	15 cm	5 cm
P_ARD_146_26_11_2009	Ardres	2	10 – 15 cm au niveau du premier plancher habitable	10 cm	< 5 cm
P_NOR_159_26_11_2009	Nortkerque	2	20 cm d'eau au niveau du premier plancher habitable	0 cm	20 cm
P_NOR_160_26_11_2009	Nortkerque	2	20 cm d'eau au niveau du premier plancher habitable	0 cm	20 cm
P_NOR_161_26_11_2009	Nortkerque	2	20 cm d'eau au niveau du premier plancher habitable	0 cm	20 cm
P_NOR_162_26_11_2009	Nortkerque	2	30 cm d'eau au niveau du premier plancher habitable	33 cm	3 cm
P_ARD_57_26_11_2009	Ardres	3	Entreprise Eurolac à la limite d'être inondée	Limite de l'emprise inondable	En eau
P_AUT_148_26_11_2009	Autingues	3	Commerces inondés en novembre 2009	Zone commerciale inondée	En eau
P_BAL_11_26_11_2009	Balinghem	3	Débordement de la Rivière Neuve	Débordement de la Rivière Neuve	Débordement
P_BAL_53_26_11_2009	Balinghem	3	Le canal déborde et se vide dans les fossés du marais de Balinghem	Absence de débordement	Débordement
P_BAL_54_26_11_2009	Balinghem	3	Le canal déborde et se vide dans les fossés du marais de Balinghem	Absence de débordement	Absence de débordement
P_BRE_149_26_11_2009	Brêmes	3	Débordement de part et d'autre de la route	Débordement du ruisseau	Débordement
P_BRE_151_26_11_2009	Brêmes	3	Habitation inondée au niveau du premier plancher habitable	Habitation atteinte par les eaux	En eau
P_BRE_153_26_11_2009	Brêmes	3	Habitation inondée au niveau du premier plancher habitable	Habitation atteinte par les eaux	En eau
P_GUI_47_26_11_2009	Guînes	3	Les eaux se déversent dans l'entrepôt Dynamite	Entrepôt atteint par les eaux	En eau
P_GUI_48_26_11_2009	Guînes	3	Débordement du canal de Calais à Guînes	Absence de débordement	Absence de débordement
P_GUI_68_26_11_2009	Guînes	3	Le canal déborde face à l'enseigne Big Mat coupant complètement la route	Absence de débordement	Absence de débordement
P_LES_55_26_11_2009	Les Attaques	3	La canal déborde et se vide dans les fossés du marais de Balinghem	Absence de débordement	Absence de débordement
P_RUM_73_26_11_2009	Ruminghem	3	Dalle de la maison fissurée	Maison sur axe de ruissellement	En eau

Tableau 10 : Comparaison des niveaux historiques et modélisés dans la plaine pour la crue de novembre 2009

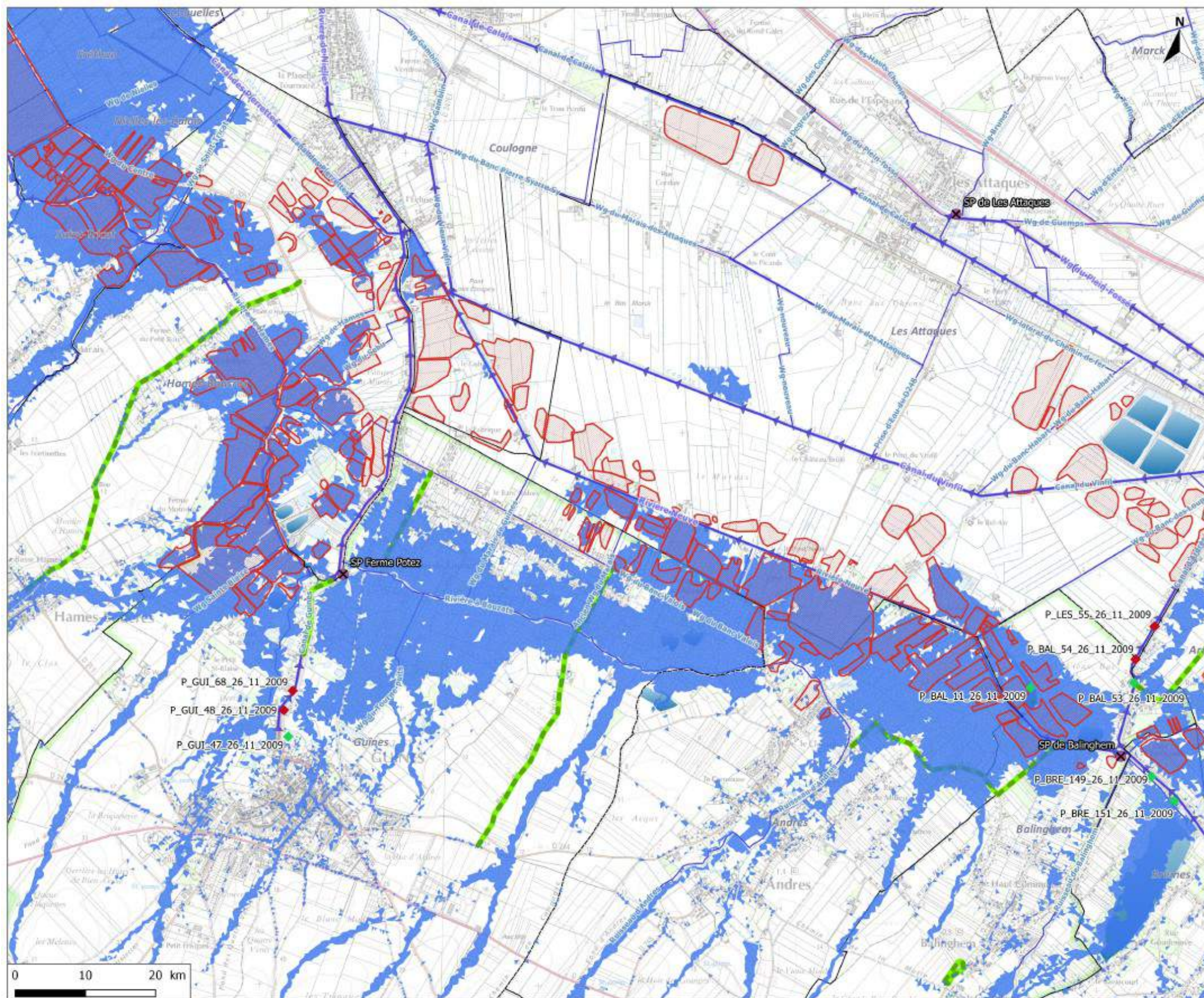
Quatre des sept repères de crue sont correctement reproduits par le modèle hydraulique réalisé. Les trois derniers repères se situent tous au même endroit à Nortkerque, le long du canal de Calais, inondés par débordement du canal de Calais d'après la mairie. Les écarts constatés sont liés au fait que la maille, prend en considération la digue du canal de Calais en arrière des trois habitations, le niveau de cette dernière est donc plus haut que le terrain naturel des maisons inondées. Le débordement du canal de Calais dû à un point bas dans la berge sur ce secteur est bien reproduit par le modèle.

La majorité des témoignages sont bien retranscrits par la modélisation hydraulique sauf :

- deux spécifiant un débordement du canal d'Ardres au niveau des communes des Attaques et de Balinghem. Cet écart peut être lié à des conditions d'écoulement locales particulières qu'il est impossible de retracer avec certitude. En effet, les débordements observés peuvent être lié à la présence de points bas sur la berge rive gauche du canal non représentés de par la précision relative du MNT. De plus, il n'existe pas de ZIC sur ce secteur mais plus en amont, en aval ou en rive droite ce qui n'est pas cohérent avec un débordement du canal d'Ardres.
- deux en amont du canal de Guînes, cette non représentation de l'inondation est liée à une imprécision du MNT et donc à une non intégration exhaustive des points bas dans la berge en rive gauche (confirmé par la commune de Guînes).

Les cartes présentées ci-après permettent de comparer les emprises inondables modélisées avec les ZIC. Ont également été ajoutés, les repères de crue, les témoignages ainsi que les axes de communication atteints par 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 territoire d'étude. 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 berge (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, à cela s'ajoute également l'hypothèse d'une dimension générique pour l'ensemble des watergangs secondaires, pouvant conduire à une sur ou sous estimation de la capacité de stockage de ces derniers.

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 2009, aussi bien en terme de réponse hydrologique que de comportement hydraulique.



Carte de calage pour l'évènement de novembre 2009

Comparaison données historiques et modélisation

Repère de crue

- ★ Validé
- ★ Non validé

Témoignage

- ◆ Validé
- ◆ Non validé

Emprises inondables

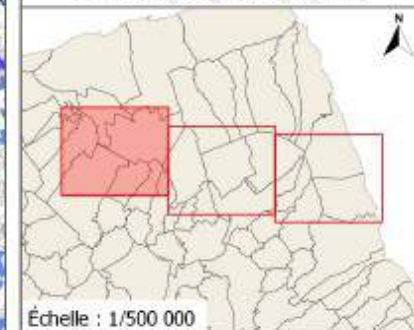
- Axes routiers atteints par les eaux
- Zones d'inondation constatées
- Emprises inondables modélisées

Éléments généraux

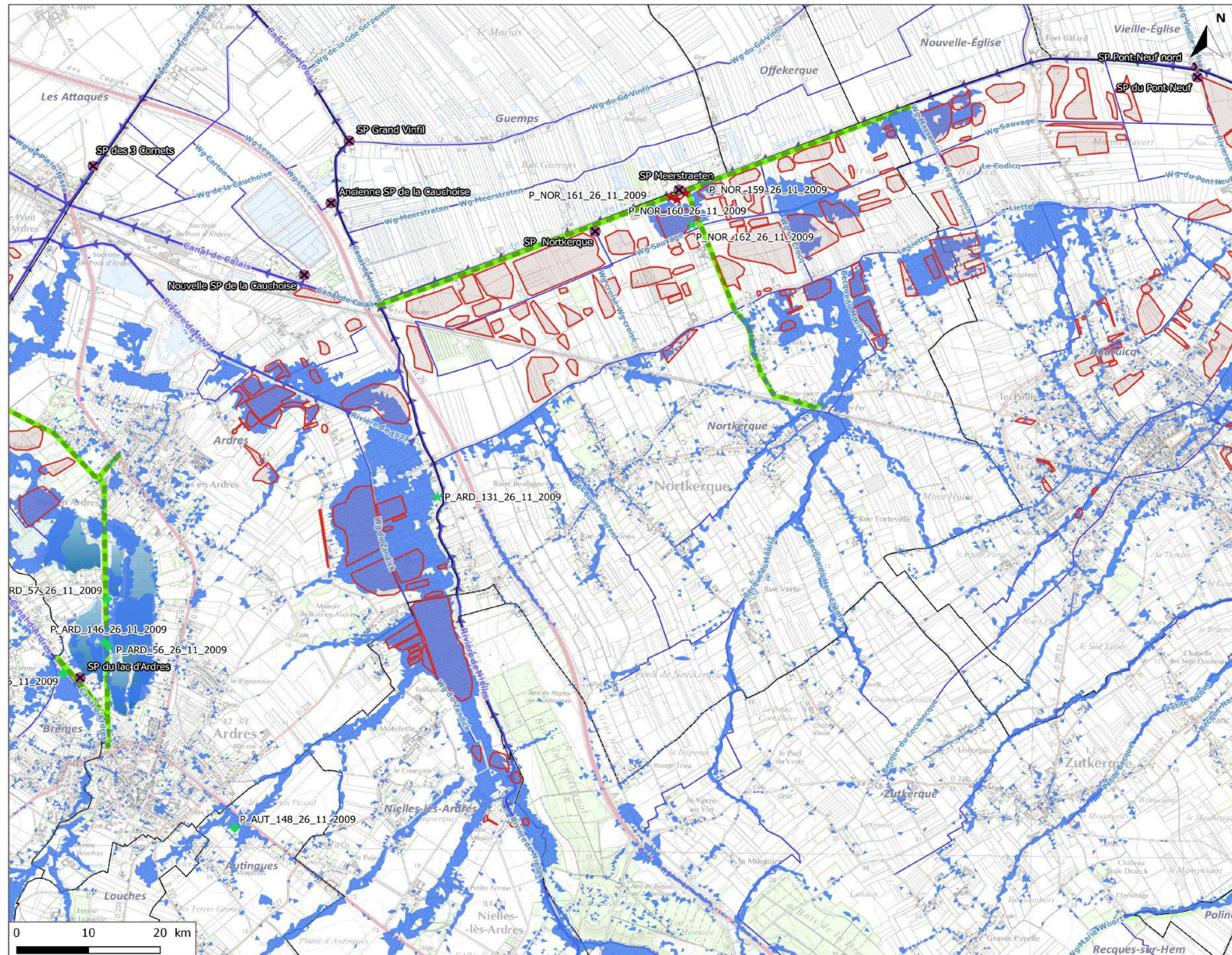
- ⊠ Stations de pompage
- Cours d'eau
- Limites communales



Système de coordonnées : Lambert 93 (RGF93)
 Projection : Lambert conique conforme
 Source : IGN, PROLOG Ingénierie
 Couche : SIM_7352_CIV2009_CN_Cil.shp



Échelle : 1/500 000



**Carte de calage pour
l'évènement de
novembre 2009**

**Comparaison données
historiques et modélisation**

Repère de crue

- ★ Validé
- ★ Non validé

Témoignage

- ◆ Validé
- ◆ Non validé

Emprises inondables

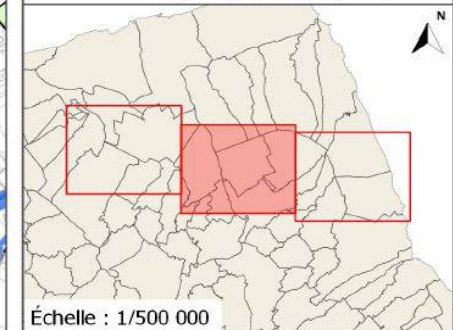
- Axes routiers atteints par les eaux
- ▭ Zones d'inondation constatées
- ▭ Emprises inondables modélisées

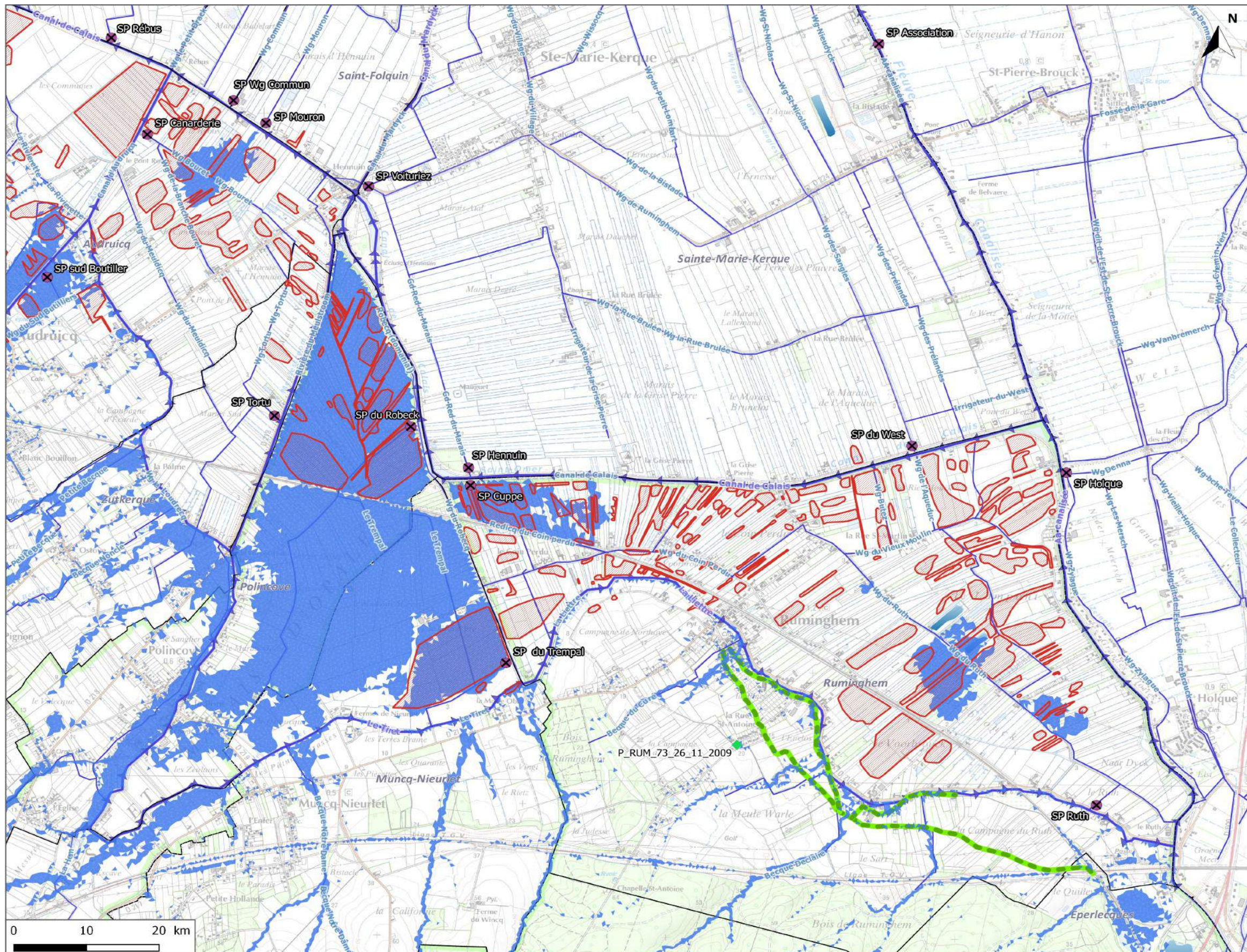
Éléments généraux

- ⊗ Stations de pompage
- Cours d'eau
- ▭ Limites communales



Système de coordonnées : Lambert 93 (RGF93)
 Projection : Lambert conique conforme
 Source : IGN, PROLOG Ingénierie
 Couche : SIM_7352_CII/2009_CN_CII.shp





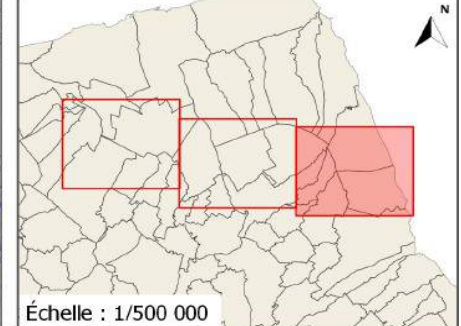
**Carte de calage pour
l'évènement de
novembre 2009**

**Comparaison données
historiques et modélisation**

- Repère de crue
- ★ Validé
 - ★ Non validé
- Témoignage
- ◆ Validé
 - ◆ Non validé
- Emprises inondables
- Axes routiers atteints par les eaux
 - ▨ Zones d'inondation constatées
 - Emprises inondables modélisées
- Éléments généraux
- ⊗ Stations de pompage
 - Cours d'eau
 - Limites communales



Système de coordonnées : Lambert 93 (RGF93)
 Projection : Lambert conique conforme
 Source : IGN, PROLOG Ingénierie
 Couche : SIM_7352_CII/2009_CN_CII.shp



Échelle : 1/500 000

2.4.3.2 Validation du calage avec la crue de novembre 2012

Aucune reconstitution des hydrogrammes aux exutoires du canal de Calais et des Pierrettes n'ayant été réalisée, le calage hydrologique pour un tel événement n'est dès lors possible. Il est cependant connu que l'événement de novembre 2012 bien que d'intensité pluvieuse inférieure à l'épisode de 2009 a conduit à des inondations proches de celles de novembre 2009 sur le secteur d'étude. Aussi, les paramètres hydrologiques de la plaine retenus ont été conservés car, comme en 2009, la plaine est saturée. Ceux des coteaux correspondant au coefficient de ruissellement ont quant à eux été incrémentés de 0,1 à cause d'un contexte pluviométrique antécédent un peu plus humide en 2012 qu'en 2009 (voir fiches synthétiques).

Pour cet événement, les données de calage sont :

- des limnigrammes sur le canal de Calais ;
- des repères de crue ;
- des témoignages.

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.

Les graphiques ci-dessous montrent la réponse du canal de Calais suite à l'événement pluvieux de novembre 2012. Sur ces graphes, le limnigramme de référence est comparé à deux limnigrammes issus de la modélisation. En effet, dans un des cas (voir à la page suivante la raison), il a été supposé que les capacités de pompage à l'exutoire du canal de Calais étaient limitées au cours de l'épisode (la station d'évacuation à la mer de la Batellerie a en effet été supposée hors service pour représenter cette limitation).

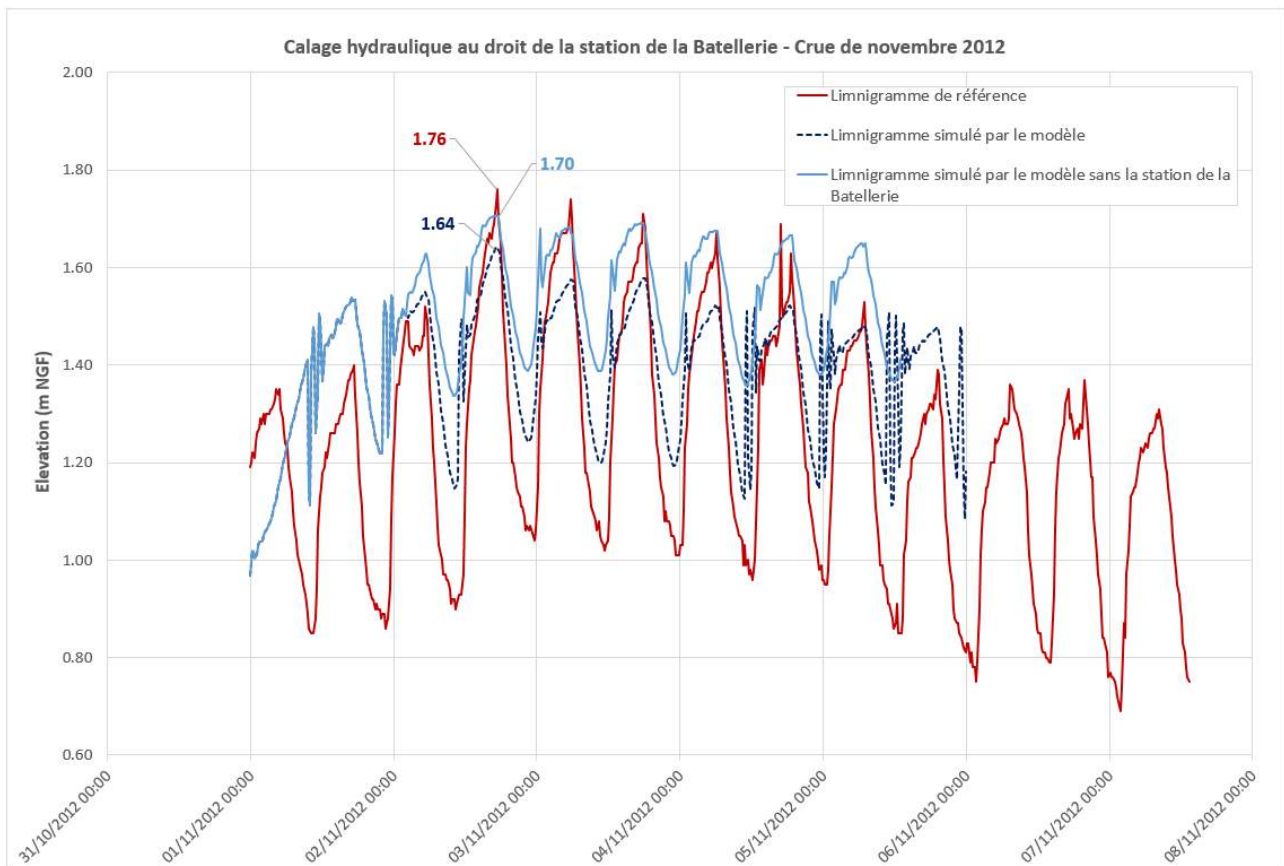


Figure 21 : Évolution du niveau d'eau au droit de la station de la Batellerie pour la crue de novembre 2012

Ces deux courbes sous-estiment de quelques centimètres l'élévation maximale au sein du canal. Cependant, le cas où la capacité de pompage est limitée représente de manière plus pertinente le pic des hautes eaux, alors que celle sans dysfonctionnement reprend mieux la dynamique de la montée des eaux ainsi que la décrue. Aussi, il semble important de s'interroger sur les capacités de pompage potentiellement amoindries pour de fortes hauteurs d'eau au sein du canal de Calais.

Le tableau ci-dessous synthétise l'écart relatif entre la mesure et le niveau d'eau simulé avec et sans la station de la Batellerie au niveau de la station de pompage des Attaques.

	Niveau Max mesuré (m NGF)	Niveau Max modélisé (1) (m NGF)	Niveau Max modélisé (2) sans Batellerie (m NGF)	Écart (1) (cm)	Écart (2) (cm)
Station des Attaques	1,81	1,69	1,73	12	8

Tableau 11 : Comparaison des niveaux mesurés et modélisés au niveau de la station de pompage des Attaques pour la crue de novembre 2012

Le tableau suivant permet de visualiser la pertinence de la représentation des repères de crues et témoignages recensés et donc des débordements modélisés.

Repère / Témoignage	Commune	Fiabilité	Observation	Résultat modèle (1)	Résultat modèle (2)	Différence (modèles/observation)
P_ARD_142_02_11_2012	Ardres	2	10 cm d'eau au niveau du premier plancher habitable	Absence de débordement	Absence de débordement	Forte
P_ARD_143_02_11_2012	Ardres	2	10 cm d'eau au niveau du premier plancher habitable	Absence de débordement	Absence de débordement	Forte
P_ARD_144_02_11_2012	Ardres	2	10 cm d'eau	3 cm d'eau	3 cm d'eau	7 cm
P_GUI_106_02_11_2012	Guînes	2	Enseigne Zeeman sous les eaux (5 cm)	3 cm d'eau	3 cm d'eau	2 cm
P_GUI_107_02_11_2012	Guînes	2	Battelage de Guînes sous les eaux (5 cm)	8 cm d'eau	8 cm d'eau	3 cm
P_NOR_168_02_11_2012	Nortkerque	2	L'eau atteint la limite du tablier du pont	Limite de débordement	Limite de débordement	Faible
P_BAL_74_02_11_2012	Balinghem	3	Pompes immergées à l'angle de la rue de la rivière Neuve et de la RD 228	Ruisseau d'Ardres en limite de débordement	Ruisseau d'Ardres en limite de débordement	Moyenne
P_BRE_150_02_11_2012	Brêmes	3	Débordement de part et d'autre de la route	Ruisseau d'Ardres en limite de débordement	Ruisseau d'Ardres en limite de débordement	Moyenne
P_BRE_152_02_11_2012	Brêmes	3	Habitation inondée au niveau du premier plancher	Maison atteinte par les eaux	Maison atteinte par les eaux	Faible
P_NOR_167_02_11_2012	Nortkerque	3	Maison inondée (mairie attaquée en justice)	Ruissellement faible	Ruissellement faible	Moyenne

Tableau 12 : Comparaison des niveaux historiques et modélisés dans la plaine pour la crue de novembre 2012

Le modèle reproduit donc de manière très satisfaisante les témoignages et mesures historiques. Seuls deux repères de crues (localisés au même endroit sur la commune d'Ardres n'ont pas été correctement calés. En effet, le fossé à l'origine des débordements touchants la maison n'a pas été intégré à la modélisation car ne faisant partie du réseau des watergangs secondaires. Trois témoignages ont une pertinence moyenne. A Balinghem et Brêmes, le ruisseau d'Ardres est en limite de débordement. Ceci est lié aux conditions locales particulières d'écoulement, ces derniers étant à proximité immédiate de ponts et passerelles potentiellement obturés par des embâcles lors de la crue. A Nortkerque, la mairie nous a indiqué l'inondation d'une maison en bordure de la rivière de Nielles mais avait un doute sur son 'origine (débordement ou ruissellement). En effet, lors de l'événement, l'eau a atteint le tablier du pont donnant accès à la maison (repère P_NOR_168_02_11_2012) provoquant sa mise en charge. Mais la maison se situe en hauteur (sur un coteau) par rapport à la berge rive droite et sur la photo fournie par la mairie, on voit un débordement en rive gauche vers le marais. De plus, des traces de ruissellement étaient visibles en arrière de la maison d'après d'autres photos aussi fournies par la mairie. Le phénomène de ruissellement semble donc à l'origine de l'inondation et le modèle reproduit ce faible ruissellement depuis le coteau derrière la maison.

Aussi, le modèle construit est donc calé de manière satisfaisante que ce soit dans sa capacité à reproduire les hydrogrammes et débits de pointes mesurés historiquement ou dans son fonctionnement hydraulique qui s'ajuste bien aux témoignages historiques.

**Carte de calage pour
l'évènement de
novembre 2012**

**Comparaison données
historiques et modélisation**

Repère de crue

- ★ Validé
- ★ Non validé

Témoignage

- ◆ Validé
- ◆ Non validé

Emprises inondables

- Axes routiers atteints par les eaux
- ▨ Zones d'inondation constatées
- Emprises inondables modélisées

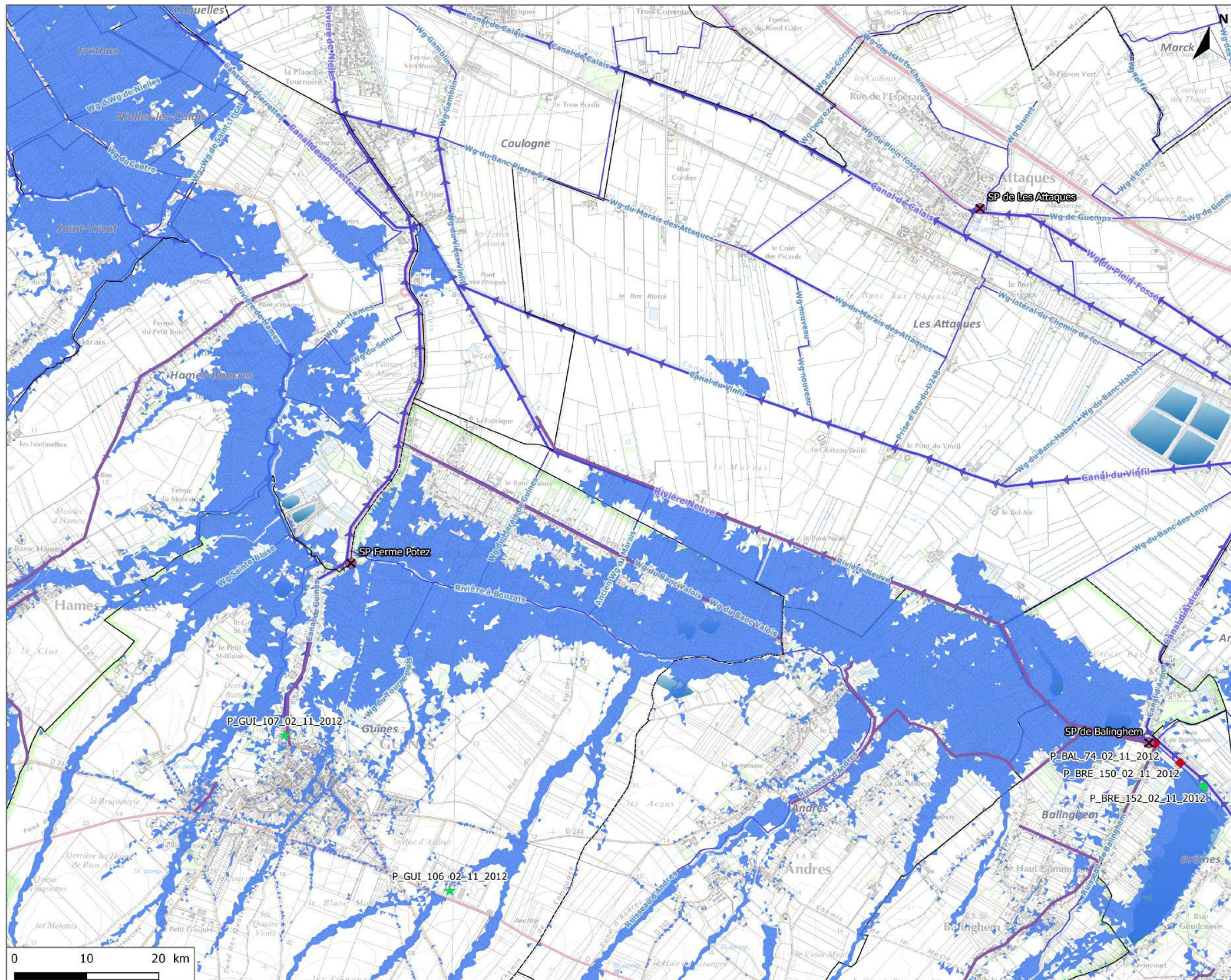
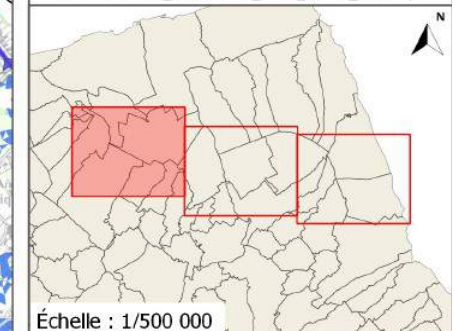
Éléments généraux

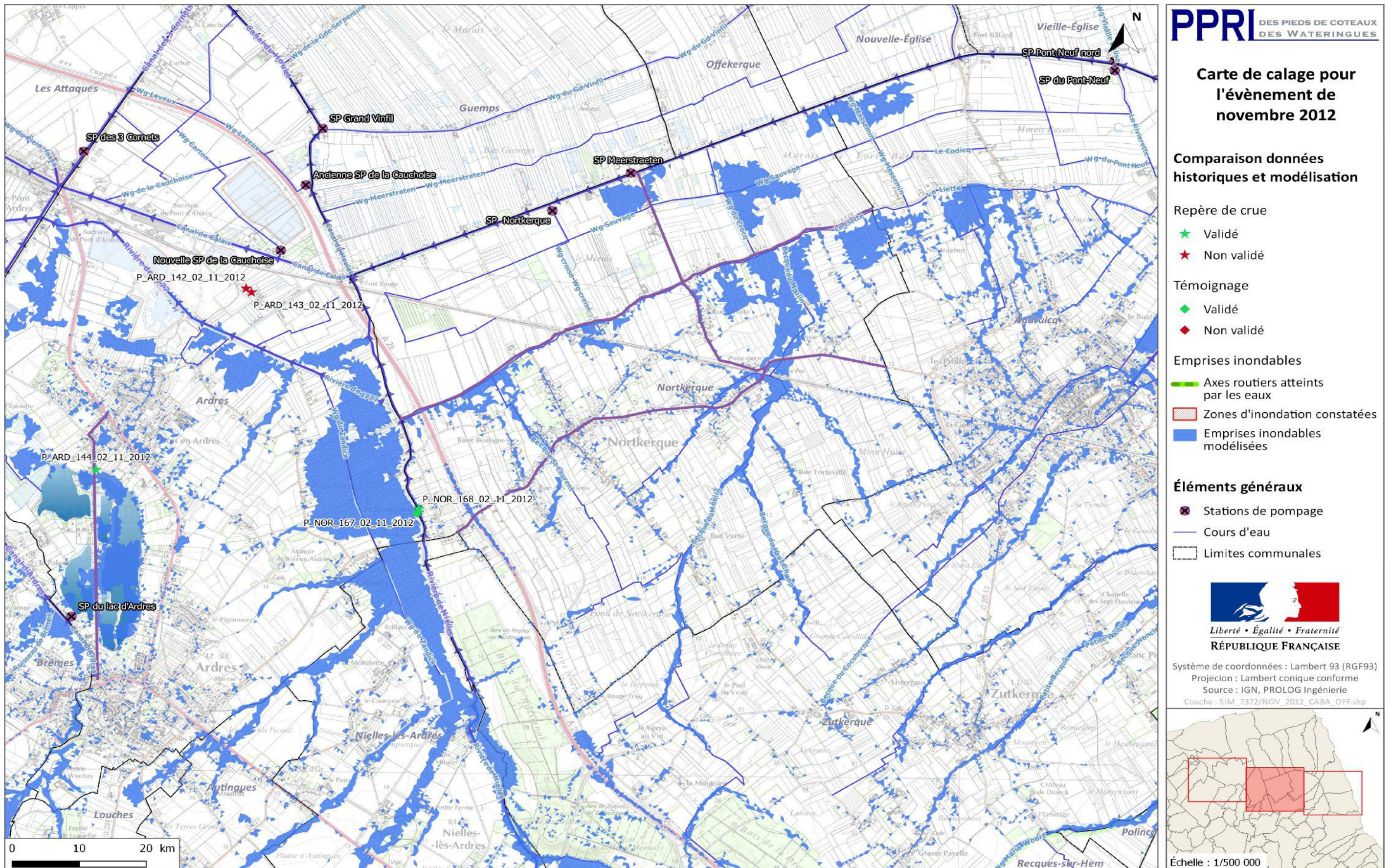
- ⊗ Stations de pompage
- Cours d'eau
- ▭ Limites communales

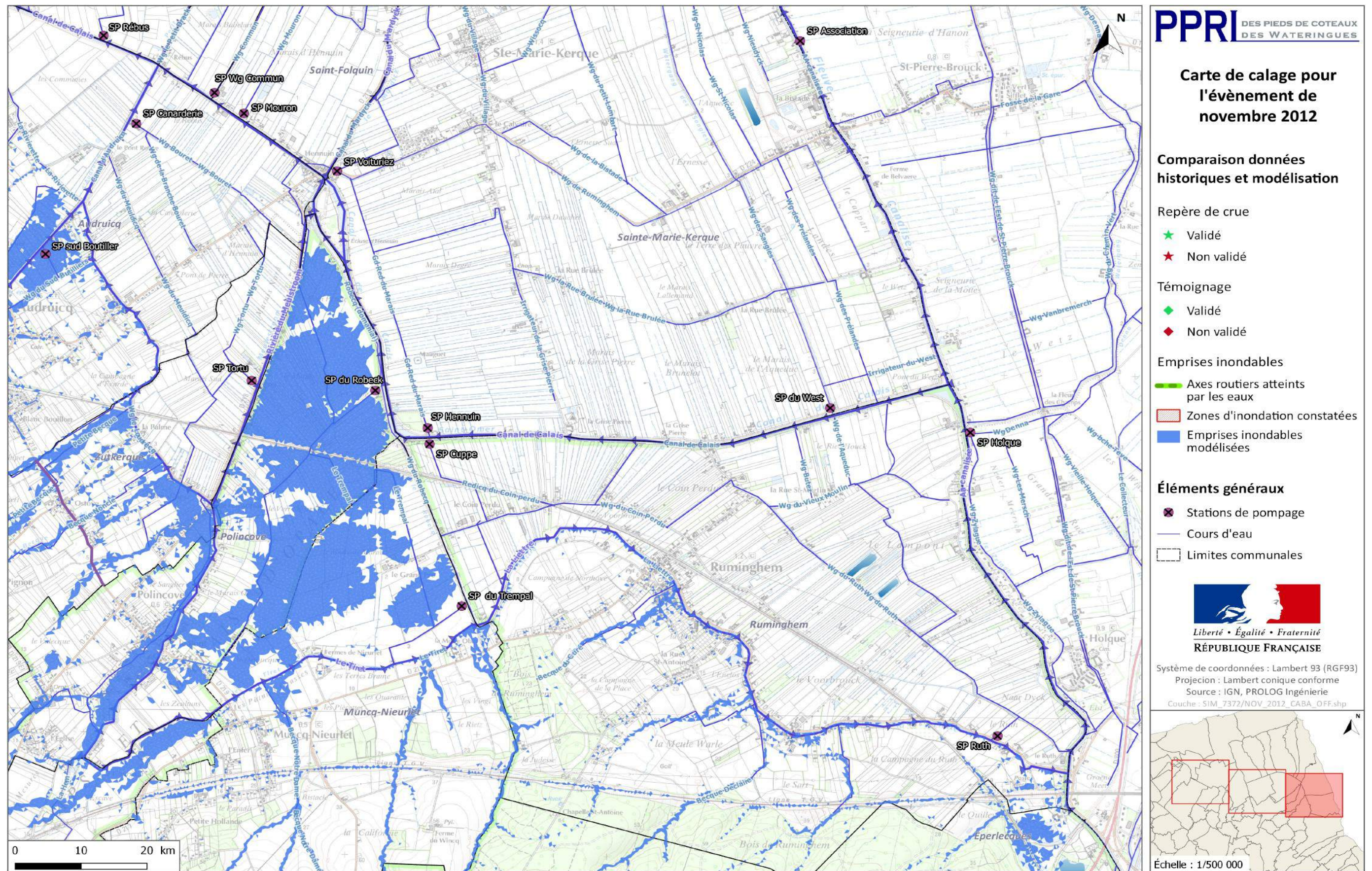


Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Système de coordonnées : Lambert 93 (RGF93)
Projection : Lambert conique conforme
Source : IGN, PROLOG Ingénierie
Couche : SIM_7372/NOV_2012_CABA_OFF.shp







**Carte de calage pour
l'évènement de
novembre 2012**

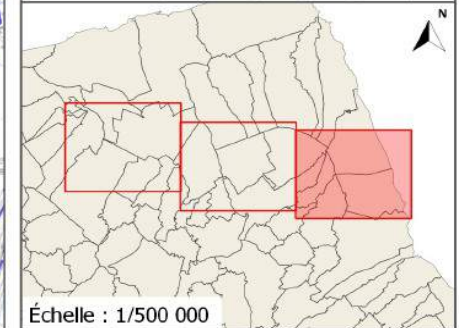
**Comparaison données
historiques et modélisation**

- Repère de crue
 - ★ Validé
 - ★ Non validé
- Témoignage
 - ◆ Validé
 - ◆ Non validé
- Emprises inondables
 - Axes routiers atteints par les eaux
 - ▨ Zones d'inondation constatées
 - Emprises inondables modélisées

- Éléments généraux**
- ⊗ Stations de pompage
 - Cours d'eau
 - ▭ Limites communales



Système de coordonnées : Lambert 93 (RGF93)
 Projection : Lambert conique conforme
 Source : IGN, PROLOG Ingénierie
 Couche : SIM_7372/NOV_2012_CABA_OFF.shp



2.4.3.3 Événement orageux d'août 2006

Il avait été convenu initialement de caler le modèle sur l'épisode orageux estival d'août 2006, particulièrement intéressant de par son intensité pluvieuse importante à l'origine de phénomènes de ruissellement dévastateurs en particulier au niveau des communes de Guînes et Hames-Boucres. Cependant, ceci n'a pu être réalisé suite aux incertitudes dont font preuve les lames d'eau RADAR. En effet, comme le précise la fiche synthétique réalisée pour l'événement, l'écart entre le pluviomètre de Guînes et la lame d'eau RADAR recalée correspondante avoisine les 50%. Le RADAR sous-estime fortement les intensités orageuses très élevées de cet événement (65-70 mm en 3-4h). Le recalage est correct à Calais (-13%) au niveau de la station utilisée pour ce dernier mais l'hétérogénéité importante des pluies entre Calais et Guînes rend le recalage mauvais ailleurs. En effet, seules les stations automatiques horaires Météo-France sont utilisées pour le recalage. Une correction manuelle est incertaine compte tenu du phénomène très localisé et de la sous-estimation importante du RADAR à partir d'une certaine intensité pluviométrique (phénomène de seuil).

L'incertitude sur la pluie de l'événement d'août 2006 rend ainsi le calage impossible, du fait que la pluie devient un paramètre de calage et non une donnée d'entrée.

Partie - 3 Détermination de l'aléa de référence

3.1 Hypothèses retenues pour le scénario de référence

Le scénario de référence du PPRI, dont l'occurrence est centennale ou supérieure en cas d'événement historique, repose sur les hypothèses listées ci-après. Deux scénarios ont été élaborés afin de représenter au mieux les phénomènes caractéristiques du territoire d'étude, à savoir :

- le ruissellement sur les coteaux, prenant place essentiellement lors des orages de type estival ;
- la saturation de la plaine des Wateringues au cours des longues pluies hivernales ;

Le scénario de référence résulte de la fusion de ces deux types d'événement, le scénario le plus pénalisant étant retenu.

3.1.1 Scénario « hivernal »

Une pluie homogène a été appliquée sur l'ensemble du territoire, elle correspond au cumul centennal à la station pluviométrique de Calais sur quatre jours estimé à 136 mm. L'intensité pluvieuse de cet événement se base sur celle de novembre 2009 (au ratio près) et est présentée ci-après.

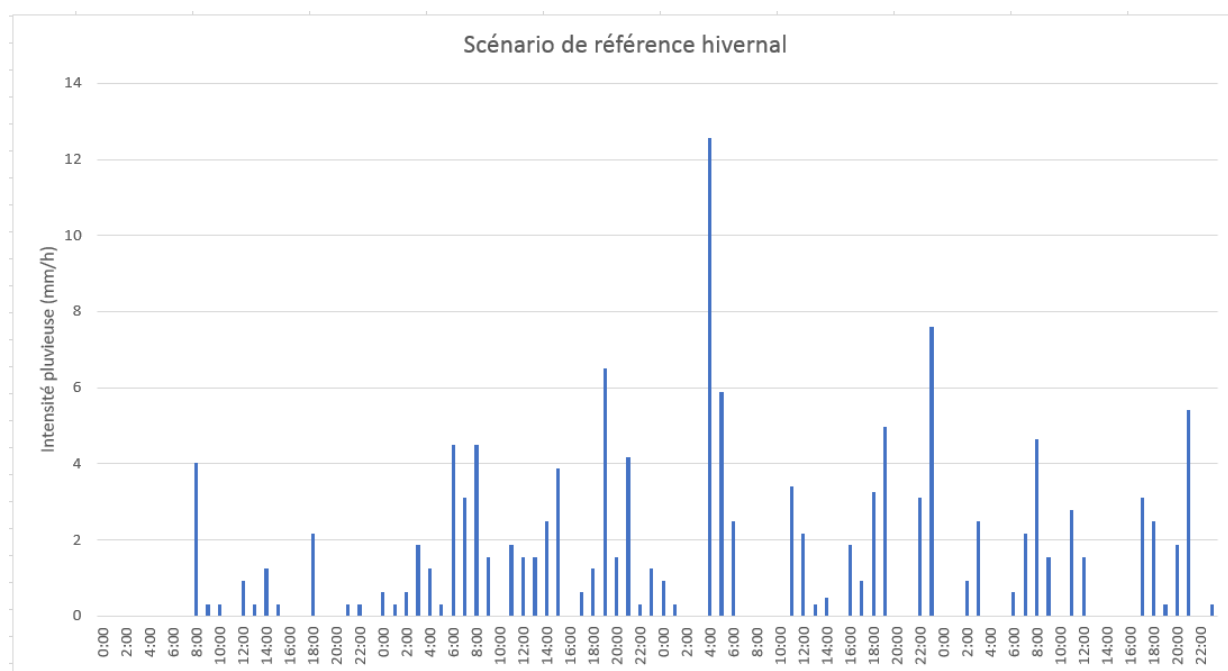


Figure 22 : Intensité pluvieuse – Scénario de référence « hivernal »

Les différents cours d'eau alimentant le secteur d'étude reprennent les mêmes débits que ceux mesurés lors de l'épisode de crues de novembre 2009 :

- une crue de la Hem avec un débit de pointe de 26 m³/s ;
- une crue de l'Aa avec un débit de pointe de 40 m³/s à Wizernes avant d'être écrêté à l'aval de Watten à 24 m³/s.

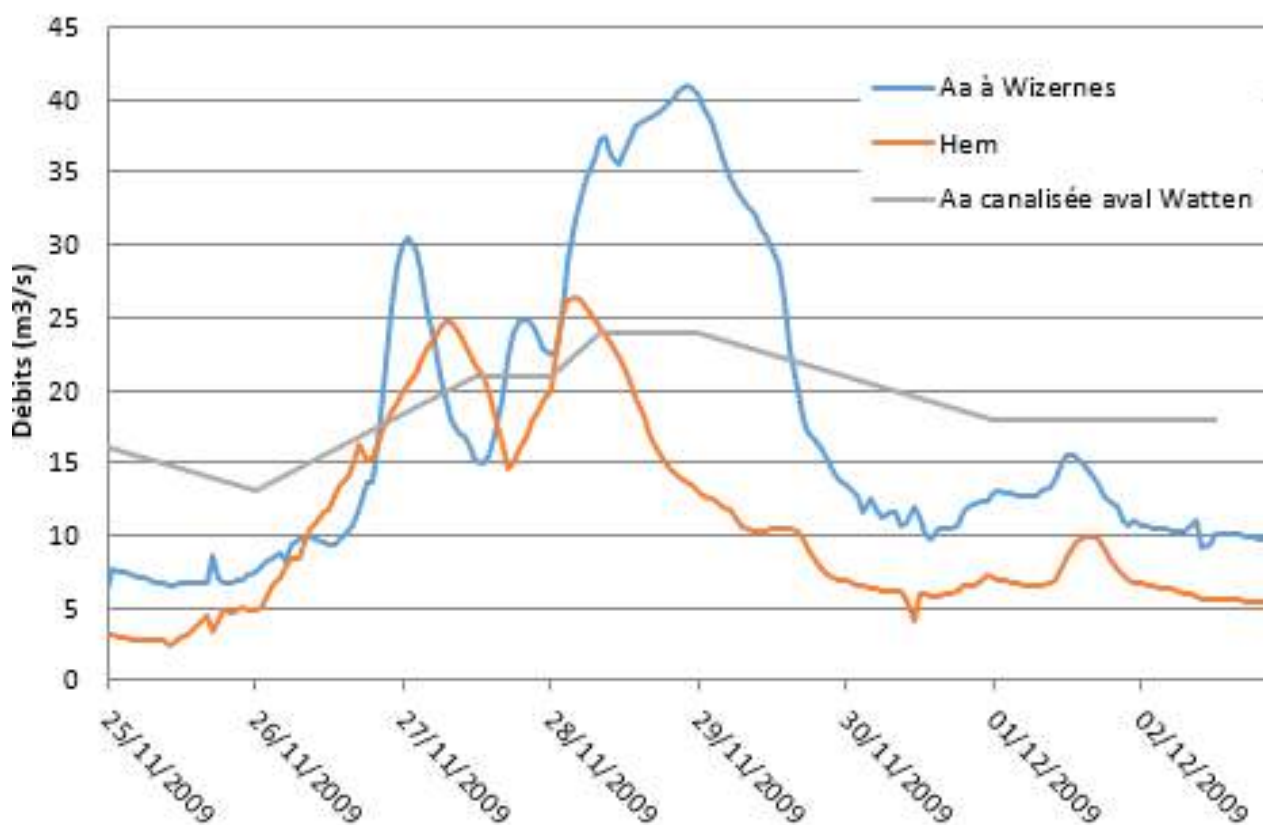


Figure 23 : Hydrogrammes injectés (Hem et Aa à Watten) pour le scénario de référence « hivernal »

Enfin, la condition aval appliquée aux exutoires du canal de Calais et du canal des Pierrettes est une marée moyenne (coefficient 72) à laquelle une surcote météorologique de 50 cm a été appliquée. Le cycle de marée a été calé temporellement afin que le pic de crue fluviale coïncide avec celui de la marée. Ces hypothèses sont cohérentes avec celles du PAPI du delta de l'Aa.

Concernant les ouvrages (stations de pompage à Calais et dans la plaine des Wateringues et vannes), un fonctionnement normal est considéré tout au long du scénario.

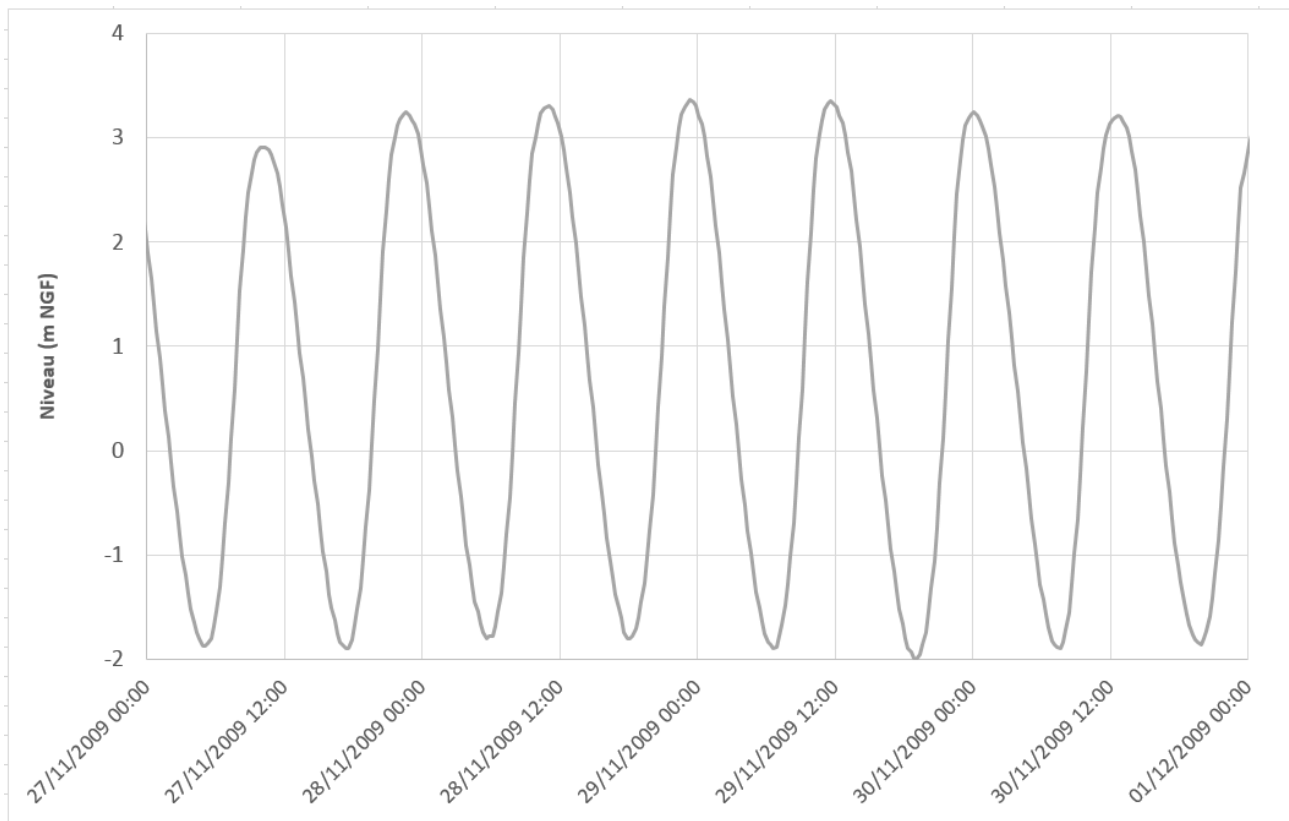


Figure 24 : Cycle de marée appliqué aux exutoires du modèle

3.1.2 Scénario « estival »

La pluie appliquée au modèle pour représenter l'épisode orageux de type estival reprend le dernier épisode orageux d'août 2006, le 13 au matin, à l'origine du ruissellement le plus important. Elle est reconstituée à partir des mesures au niveau du pluviomètre de Guînes et des données RADAR Panthère 5 minutes. Cette pluie présente un cumul de 70 mm en 4h et une période intense de 2h (période de retour supérieure à 100 ans). Elle est homogène sur tout le bassin versant des pieds de coteaux, ce phénomène orageux pouvant se produire partout. La figure ci-dessous illustre l'intensité pluvieuse de cet événement.

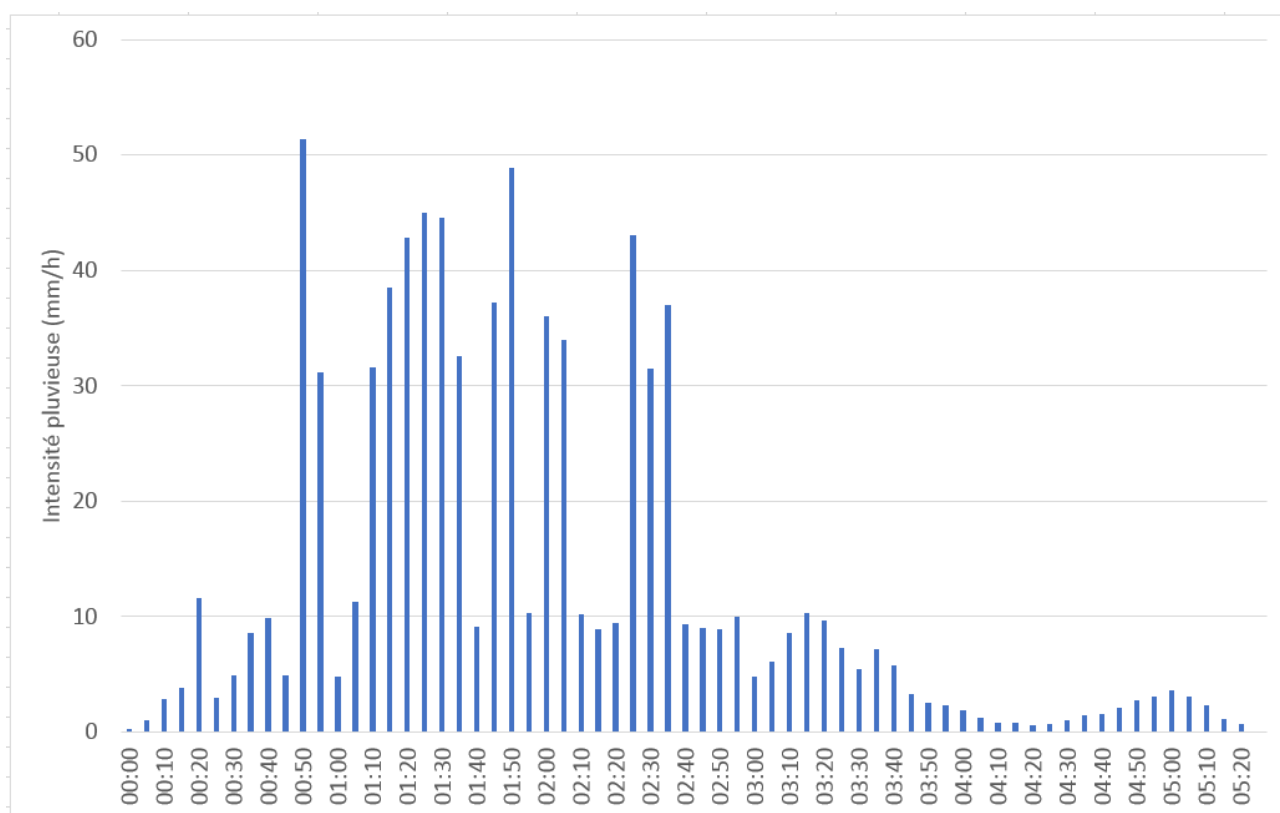


Figure 25 : Intensité pluvieuse – Scénario de référence « estival »

Les débits injectés au niveau des cours d'eau alimentant le territoire sont :

- le débit mesuré sur la Hem à Guémy, dont le débit de pointe estimé est de $52 \text{ m}^3/\text{s}$, suite aux précipitations importantes enregistrées à Licques en août 2006 (cumuls supérieurs à 100 ans) ;
- le module interannuel à la station de Wizernes pour l'Aa.

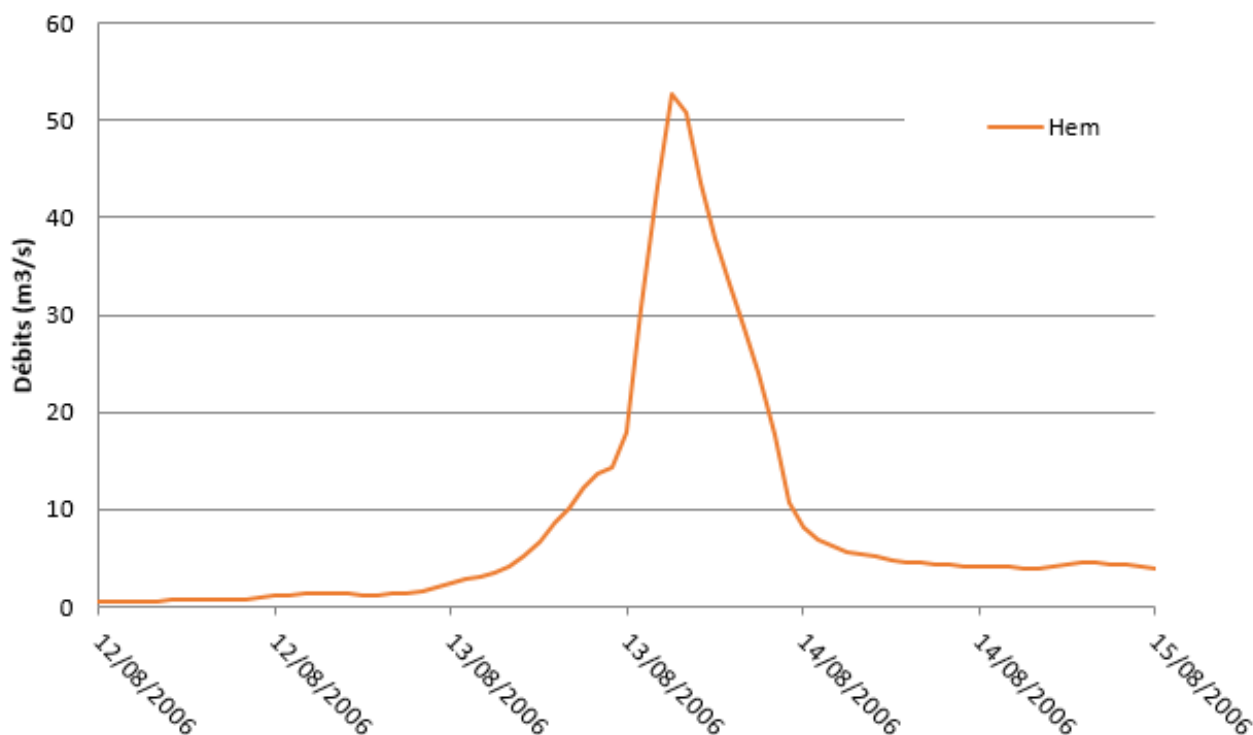


Figure 26 : Hydrogramme injecté (Hem) pour le scénario de référence estival

La condition aval appliquée au modèle reprend celle du scénario hivernal à savoir :

- une marée moyenne (coefficient 72) avec une surcote météorologique de 50 cm ;
- un pic fluvial concomitant avec le pic de marée.

De même, aucun dysfonctionnement sur les ouvrages (stations de pompage à Calais et dans la plaine des Wateringues et vannes) n'est considéré tout au long du scénario.

3.2 Définition de l'aléa

La modélisation des événements de référence, débordement de cours d'eau et ruissellement, permet d'accéder aux hauteurs de submersion maximales et aux vitesses maximales d'écoulement.

L'aléa de référence repose donc sur un croisement entre :

- **les hauteurs de submersion**, 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 1,5 m, fortes hauteurs d'eau,
 - supérieures à 1,5 m, très fortes hauteurs d'eau.
- **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.

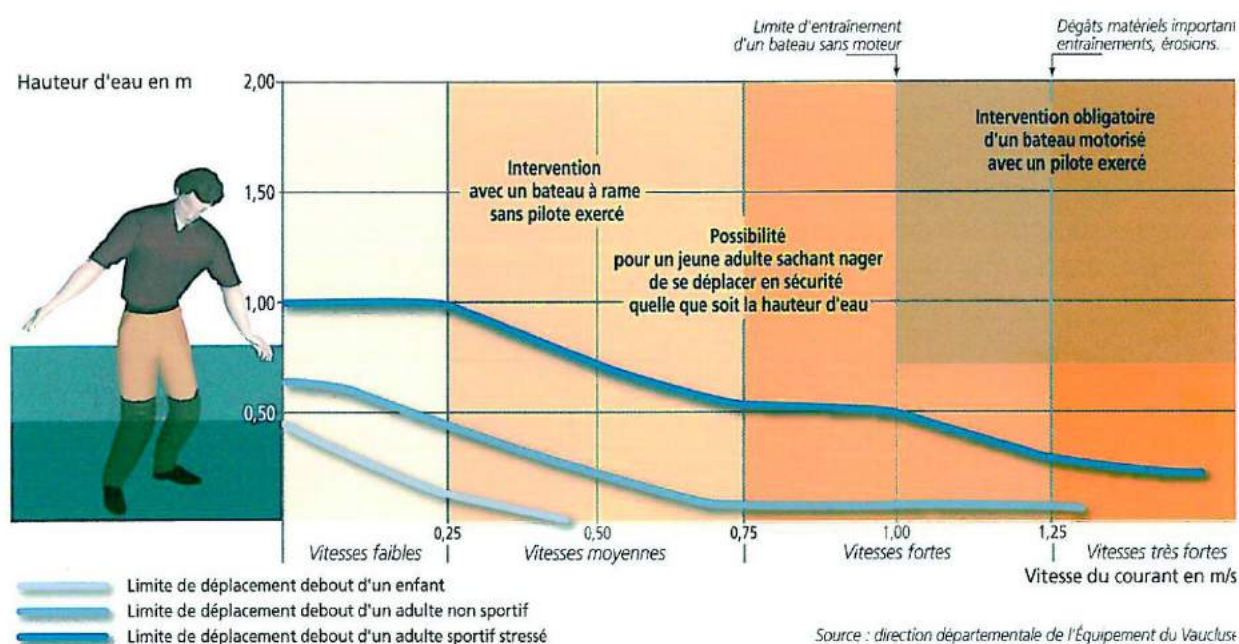


Figure 27 : Possibilités de déplacement des personnes en fonction de la hauteur d'eau et de la vitesse d'écoulement (Source : DDT Vaucluse)

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 des vitesses d'écoulements faibles et par de faibles hauteurs d'eau mais des vitesses d'écoulements élevées. La figure ci-dessous illustre l'impact du couplage de ces deux paramètres sur les possibilités de déplacement des personnes en fonction de leur âge.

La grille d'aléa proposée à la fois pour l'aléa débordement de cours d'eau et pour l'aléa ruissellement est présentée ci-dessous.

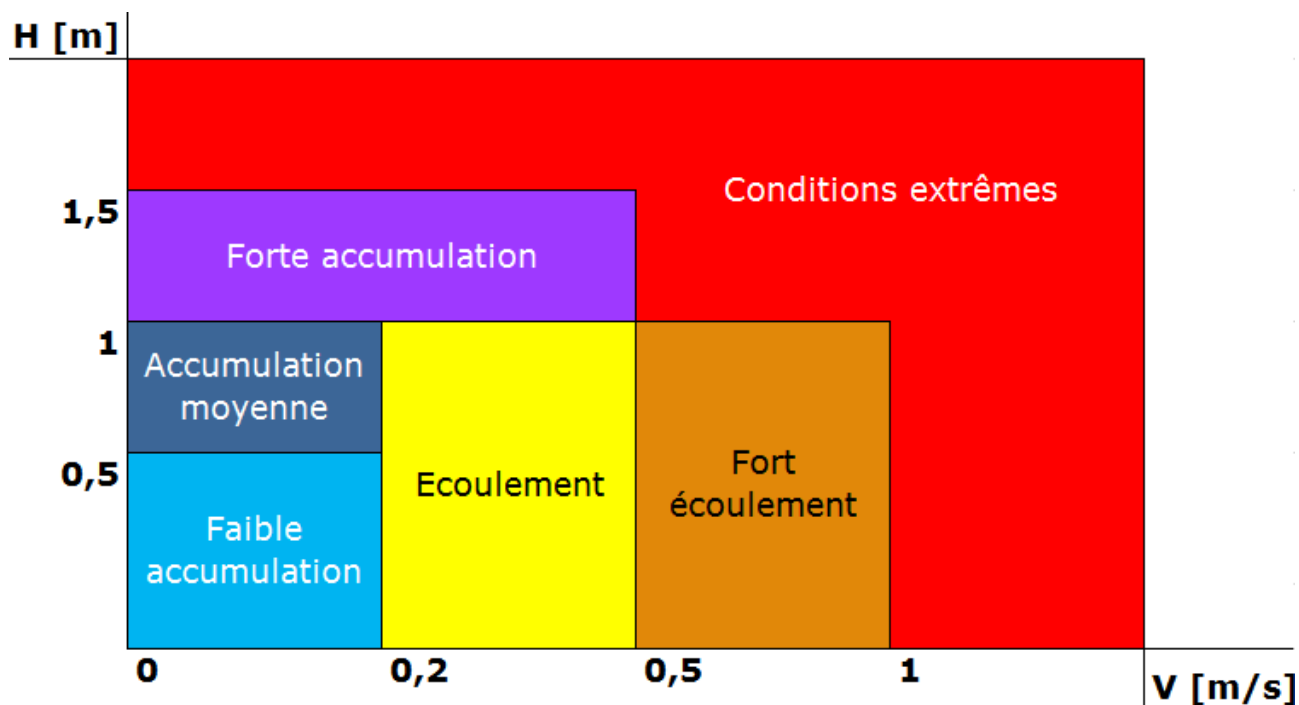


Figure 28 : Grille d'aléa proposée pour les phénomènes de débordement de cours d'eau et de ruissellement

Cette grille d'aléa ne qualifie pas le risque en termes de gravité (« aléa classique » faible, moyen ou fort) mais plutôt en termes de fonctionnement hydraulique et de phénomènes prépondérants entre l'écoulement, l'accumulation voire les deux en même temps, pour une meilleure compréhension globale et lecture des cartes.

Cette grille conserve tout de même les mêmes classes de hauteurs et de vitesses qu'une grille « d'aléa classique » (cf. ci-dessous) :

Hauteur de submersion	Supérieure à 1,50 m	Très Fort	Très Fort	Très Fort	Très Fort
	de 1 m à 1,50 m	Fort	Fort	Très Fort	Très Fort
	de 50 cm à 1 m	Moyen	Moyen	Fort	Très Fort
	Inférieure à 50 cm	Faible	Moyen	Fort	Très Fort
Vitesse d'écoulement		Inférieure à 0.2 m/s	De 0.2 m/s à 0.5 m/s	De 0.5 m/s à 1 m/s	Supérieure à 1 m/s

Figure 29 : Grille d'aléa classique pour les phénomènes de débordement de cours d'eau et de ruissellement

3.3 Élaboration des cartes

3.3.1 Création des contours de hauteurs et de vitesses

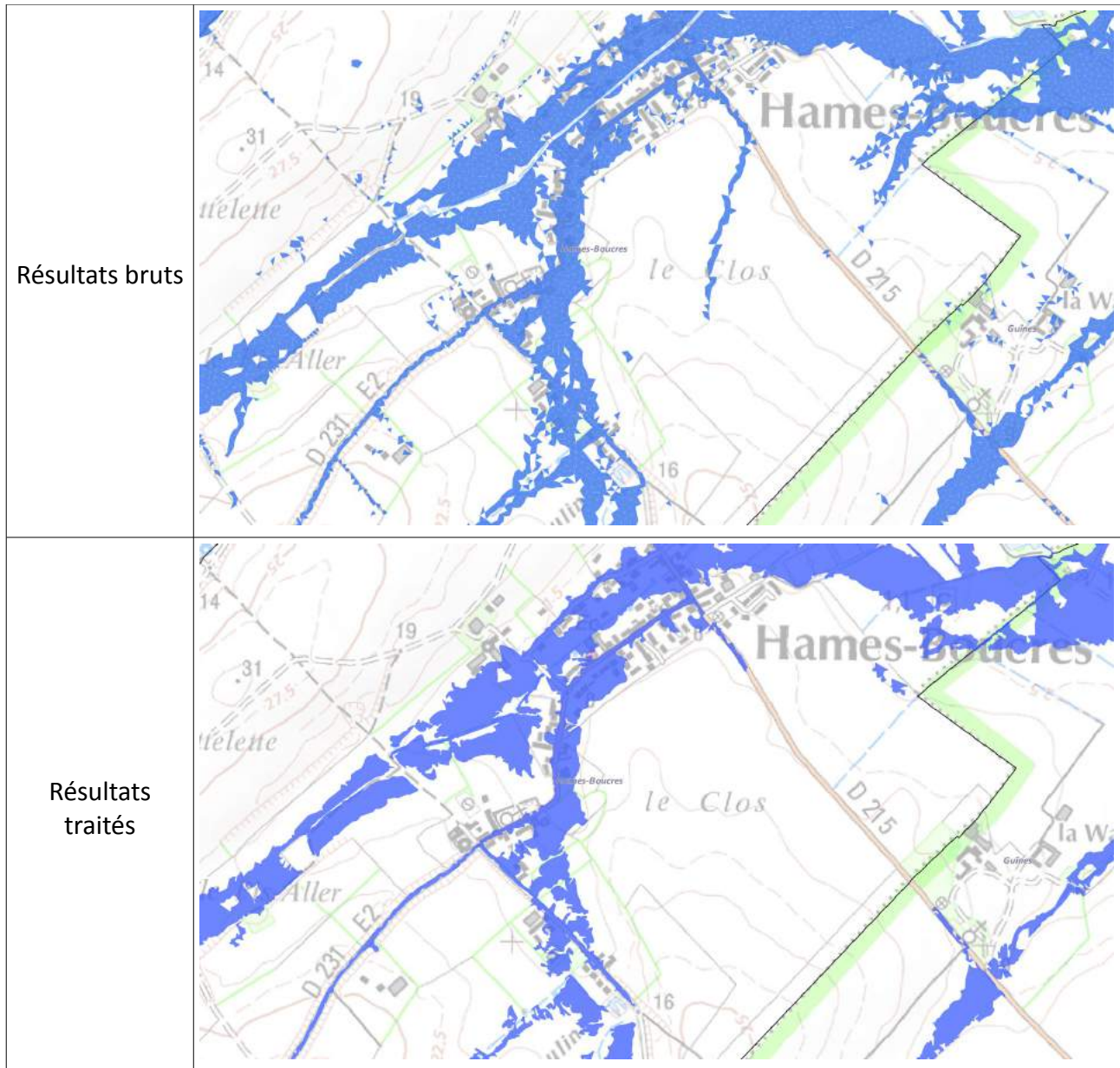
Les résultats bruts extraits d'ICM ont été traités à l'aide du logiciel SIG GrassGIS (version 7.2.0) afin d'obtenir les couches SIG de classes de hauteurs et de vitesses fournies. Les traitements cartographiques réalisés intègrent à la fois les résultats hydrauliques au niveau des mailles 2D du modèle 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 a été réalisé, afin de restreindre le poids des fichiers géomatiques produits en sortie et de conserver uniquement les informations pertinentes portées par les couches SIG.

En particulier, pour la problématique ruissellement, 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 de type ruissellement, a conduit à définir plusieurs critères de filtrage des résultats de modélisation, en concertation avec la DDTM62 :

- un critère de hauteur d'eau minimum pour filtrer les zones non significatives, un seuil de 1 cm de hauteur a été retenu ;
- un critère de surface inondée minimum de 500 m² pour filtrer les zones de connexion ou d'accumulation de petite taille, isolées et présentant de faibles hauteurs d'eau.

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



3.3.2 Continuité entre débordement de cours d'eau et ruissellement

L'objectif de la présente étude est d'élaborer, par commune, une carte d'aléa de référence unique qui synthétise à la fois les phénomènes de débordement des cours d'eau et ceux de ruissellement. Le principe général est de retenir l'aléa le plus pénalisant sur les secteurs touchés à la fois par des débordements et par le ruissellement.

3.3.3 Format des rendus et exemples

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

- au 1/5000^e, à l'échelle communale, sur fond cadastral. Les communes n'ayant pas toute la même emprise, le format des cartes sera adapté (A0, A1, A2, A3 ou A4) pour que l'échelle de rendu soit respectée ;
- au 1/25000^e, à l'échelle du bassin versant, sur fond SCAN 25.

Les cartographies suivantes seront produites :

- les hauteurs de submersion maximales ;
- les vitesses maximales d'écoulement ;
- l'aléa.

Les cartes figurent en annexe du rapport.

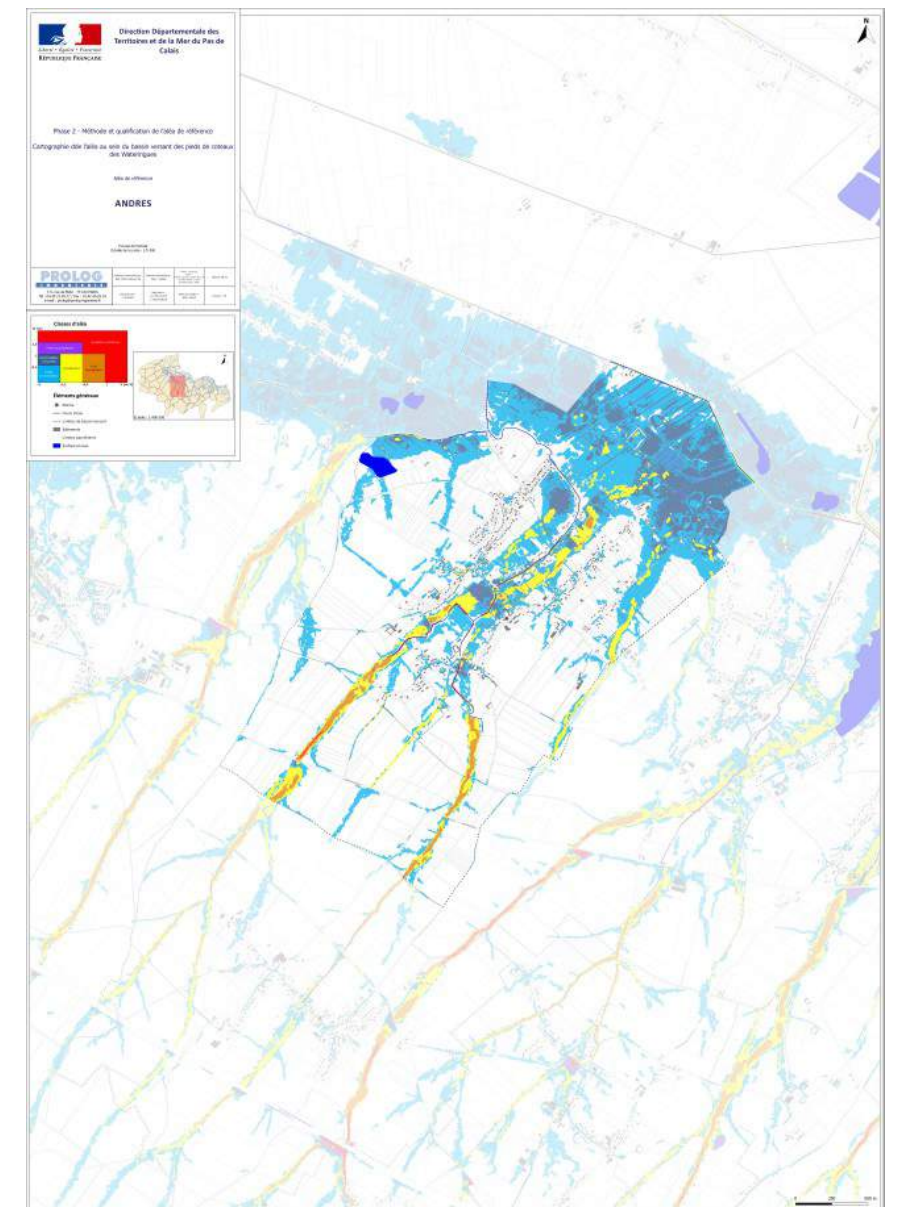
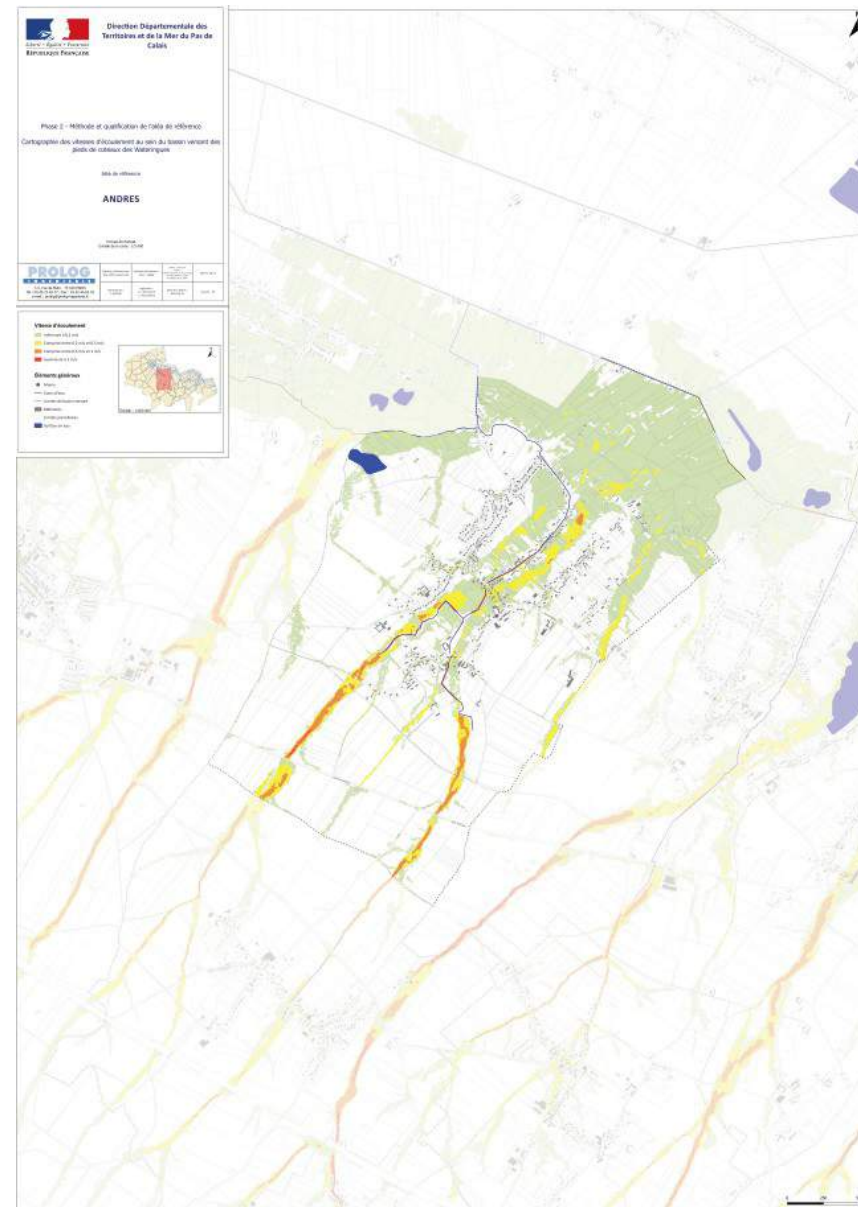
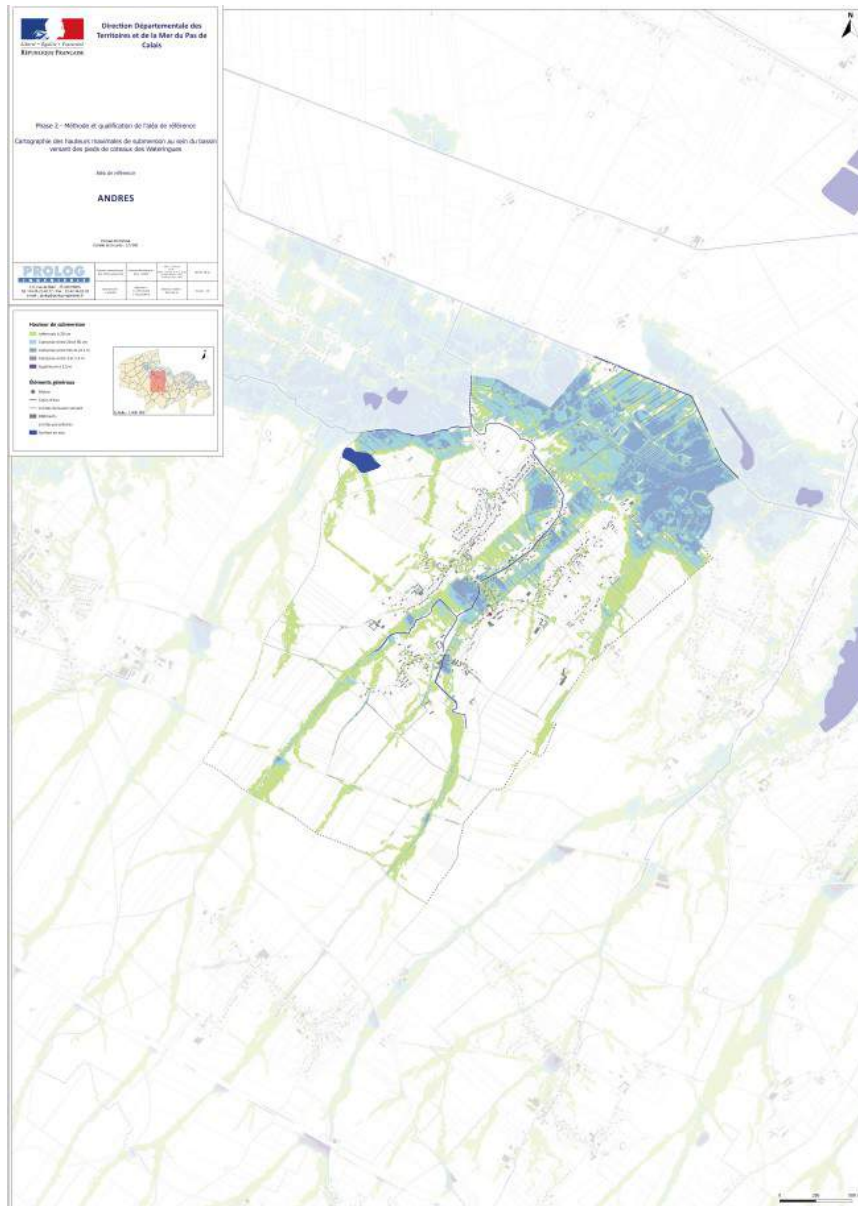


Figure 30 : Cartes des hauteurs d'eau, de vitesses et d'écoulement et d'aléa sur la commune d'Andres

3.4 Analyse de l'aléa de référence

L'aléa de référence est caractérisé au niveau du canal de Calais et du canal des Pierrettes par les valeurs caractéristiques suivantes. Ces valeurs ont été comparées à celle modélisées au cours de l'épisode de crues de novembre 2009.

	Niveau max calculé aléa référence (m NGF)	Niveau max calculé novembre 2009 (m NGF)	Différence (cm)
Station des Attaques	1,69	1,72	- 3
Écluse carrée	0,77	0,65	+ 12

Tableau 13 : Comparaison des niveaux d'eau modélisés au droit de la station des Attaques et de l'écluse carrée

Sur le canal de Calais, les niveaux modélisés sont équivalents, voire même légèrement supérieurs pour la crue de novembre 2009 du fait de la présence de pompes de secours utilisées durant l'événement. En effet, les apports de ce dernier sont limités par la capacité des stations de pompage présentes dans la plaine. Aussi, il est possible de conclure que le niveau au sein du canal de Calais est peu sensible aux précipitations appliquées sur le territoire d'étude.

Le canal des Pierrettes, situé en pieds de coteaux, est alimenté directement par les eaux du ruissellement de surface. Son niveau dépend donc fortement des précipitations. Il voit ainsi sa hauteur augmenter de 12 cm au cours du scénario de référence en comparaison avec l'épisode de novembre 2009.

Les durées de submersion étant considérées comme un facteur aggravant l'aléa ont pu être estimées à partir de la modélisation de l'aléa de référence. Cependant il est important de garder à l'esprit que le modèle ne représente pas tous les watergangs, et en particulier les tertiaires qui permettent un ressuyage de la plaine. Les durées de submersion fournies par le modèle sont donc sûrement surestimées bien que les stations de pompage (et leur régulation) soient intégrées au modèle.

Les emprises inondables sur la plaine restent relativement proches, seules les hauteurs de submersions augmentent.

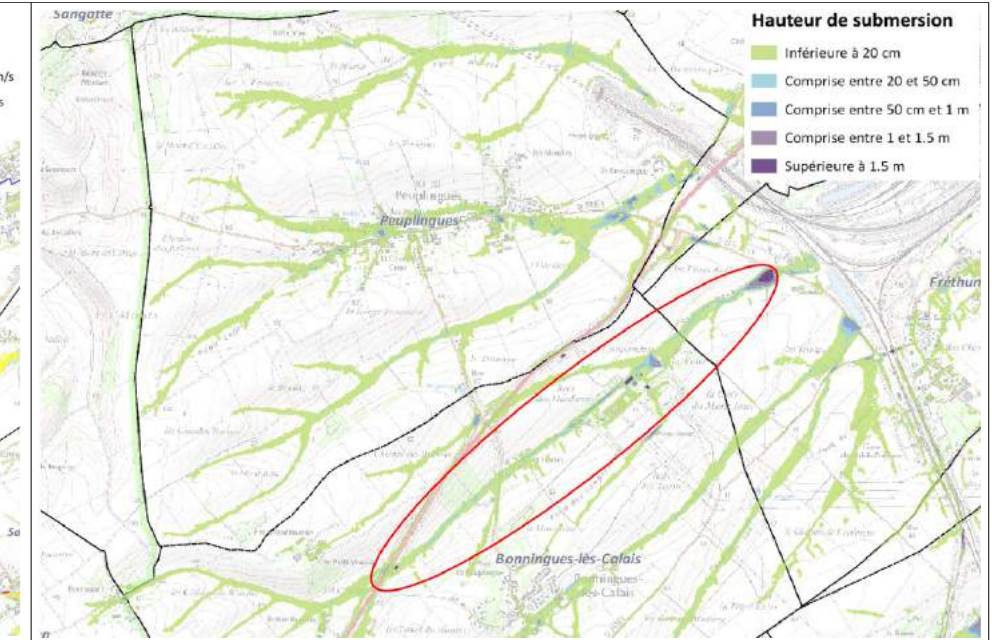
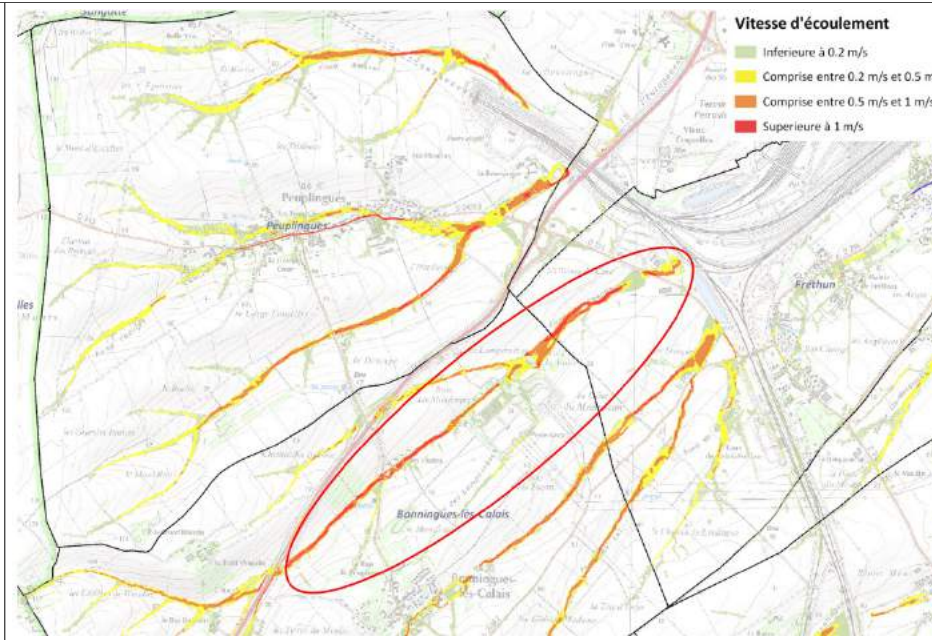
Comme attendu, la modélisation de l'aléa de référence met en évidence les deux phénomènes caractéristiques du secteur à savoir :

- des écoulements animés par une forte vitesse et une faible hauteur d'eau sur les coteaux en fond de talwegs ;
- des zones d'accumulation sur la plaine, où les vitesses d'écoulement sont faibles mais les hauteurs de submersions importantes.

Les figures ci-après illustrent ces deux propos :

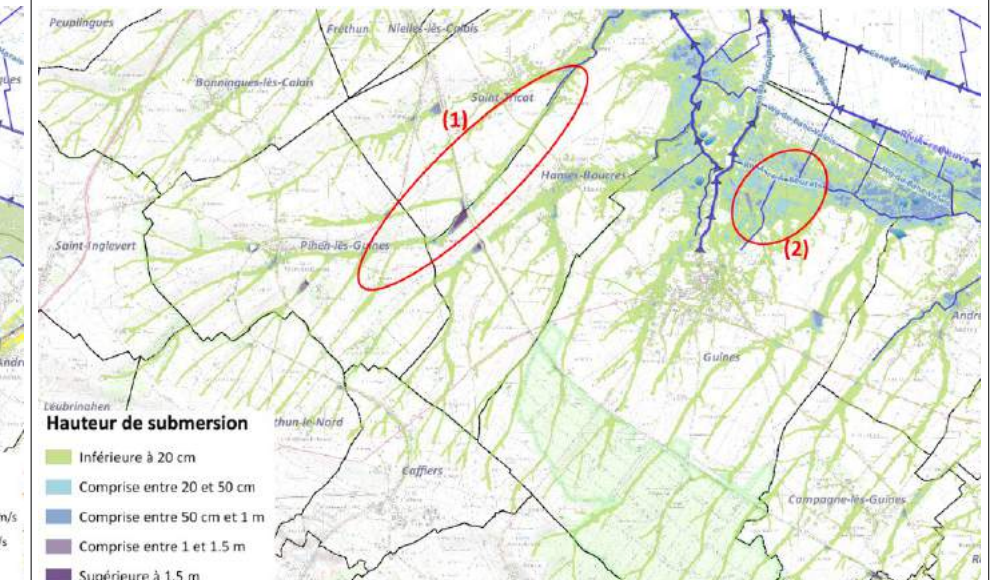
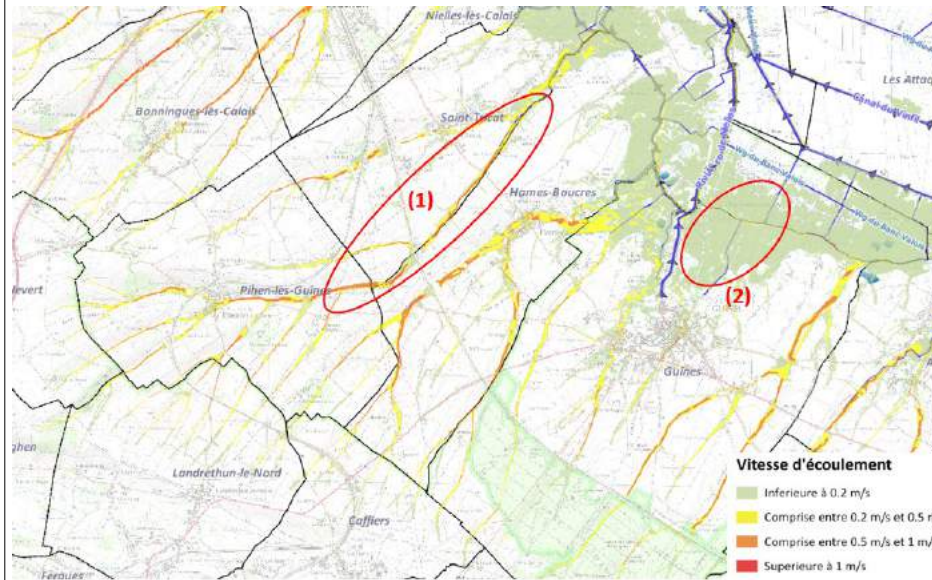
C'est sur la partie ouest du territoire que les axes de ruissellement sur les coteaux présentent les vitesses les plus importantes (i.e. > 1 m/s). Cette forte vitesse d'écoulement traduit une pente conséquente des coteaux ainsi que la présence de talwegs très marqués sur ce secteur.

Les hauteurs d'eau sont essentiellement inférieures à 20 cm, confirmant le « rôle de transfert de masse d'eau » des coteaux, excepté en amont d'ouvrage limitants (axes routiers ou ferroviaires par exemple) à l'origine de zones d'accumulation.



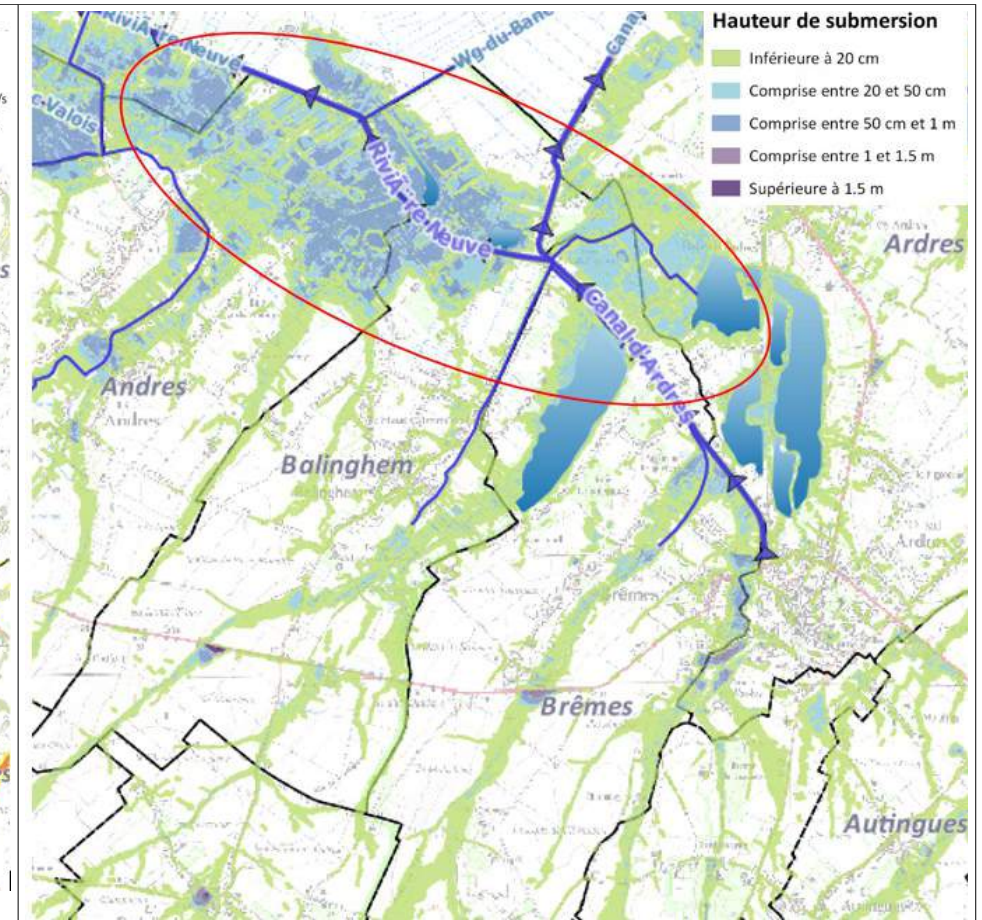
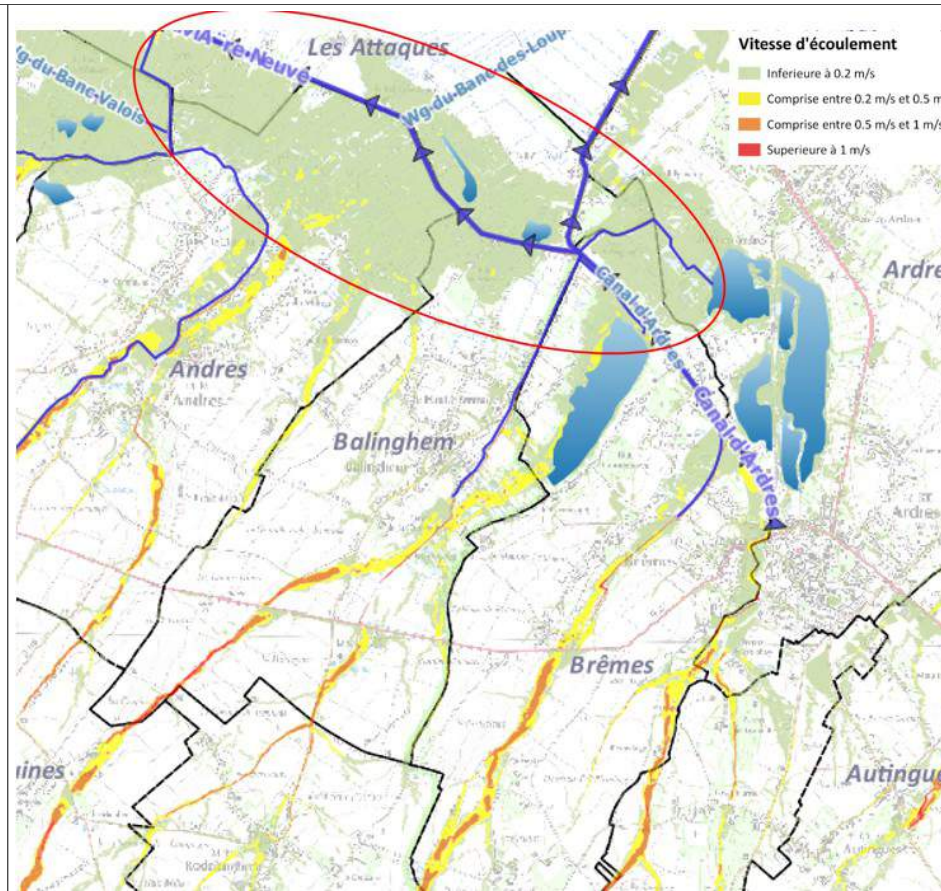
Au droit des communes de Saint-Tricat et de Hames-Boucres, les vitesses d'écoulement animant les axes de ruissellement sont plus faibles que les précédentes mais restent élevées, autour de 1 m/s (1).

Les zones d'accumulation telles que le marais de Guînes sont visibles avec des hauteurs pouvant atteindre jusqu'à 1,5 m, les durées de submersion sont quant à elles essentiellement supérieures à 10 jours (2).



Les communes localisées au centre du territoire d'étude telles que Andres, Brêmes et Ardres ont la particularité d'être touchées par les deux phénomènes caractéristiques du bassin versant à savoir :

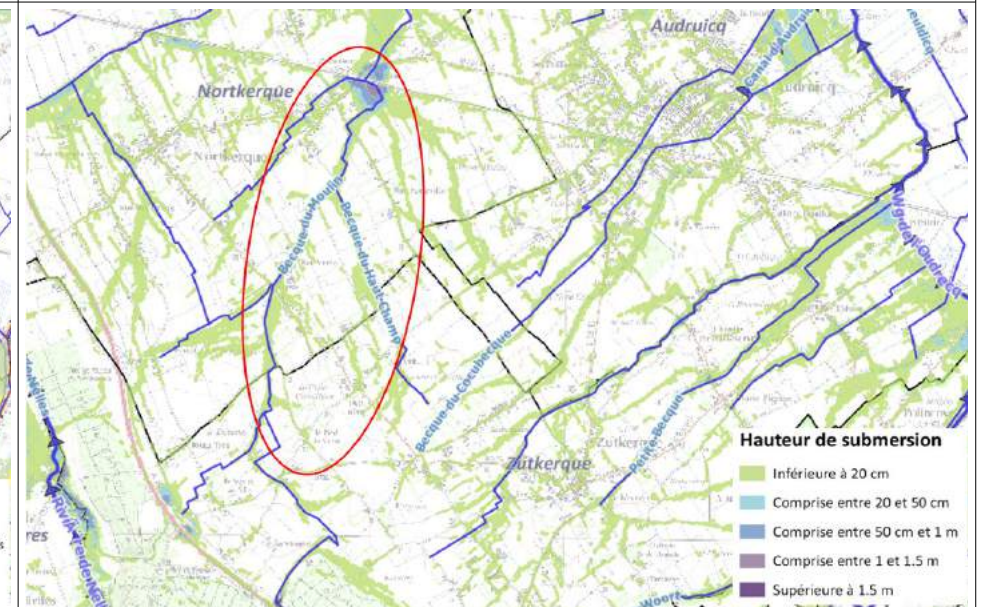
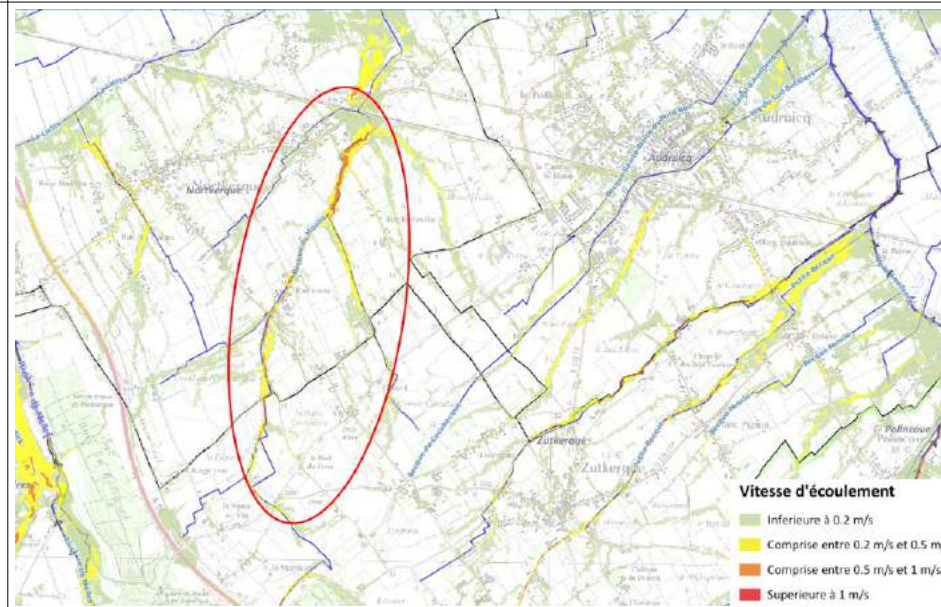
- phénomènes de ruissellement sur les coteaux avec des vitesses d'écoulement pouvant atteindre jusqu'à 1 m/s ;
- phénomènes de débordements et de hauteurs de submersion importantes (i.e. zones d'accumulation avec des durées de submersion supérieures à 10 jours) sur la plaine et aux abords du lac d'Ardres.



Plus à l'Est, aux abords de la commune d'Audruicq des axes de ruissellement sont toujours visibles mais de plus faible intensité. La pente au droit de ces secteurs est en effet plus faible qu'en amont du site Eurotunnel.

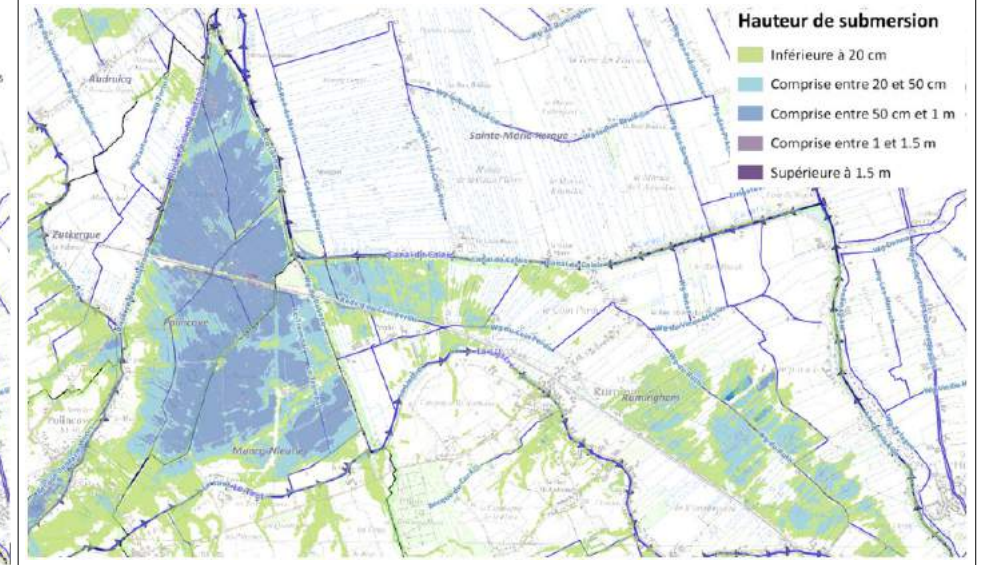
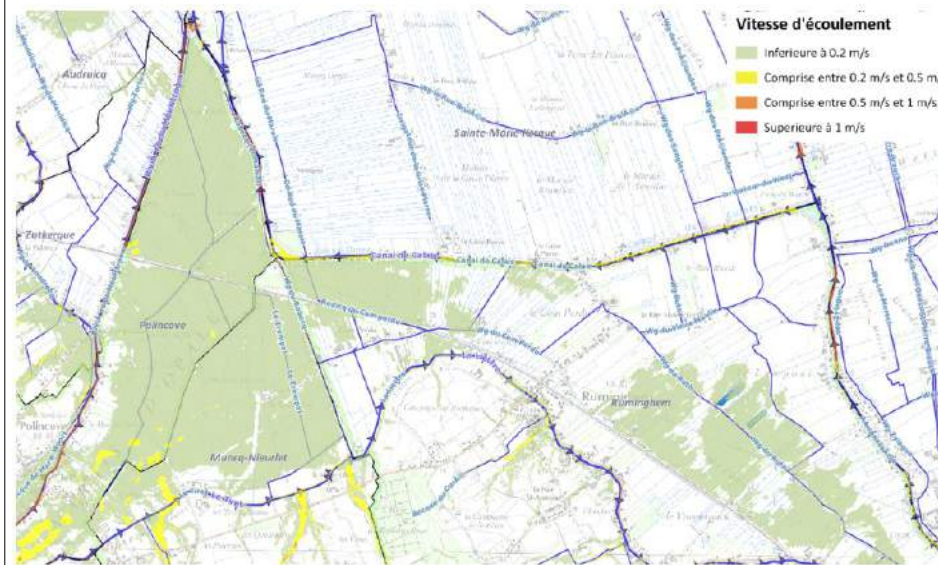
Les eaux se jetant dans le watergang de l'Oudrecq résultent davantage de phénomènes de ruissellement « diffus » que d'un talweg bien marqué comme l'indique les vitesses d'écoulement faible ($< 0,20 \text{ m/s}$)

Sur l'ensemble de ce secteur, les hauteurs sont faibles ($< 20 \text{ cm}$) exceptée en amont immédiat des axes routiers remblayés faisant dès lors obstacle à l'écoulement.



Comme identifié lors de l'analyse du fonctionnement hydraulique du territoire d'étude (cf. livrable L4c), la plaine est une zone d'accumulation et présente de ce fait :

- de faibles vitesses d'écoulement ($< 0,2$ m/s)
- de fortes hauteurs de submersion (pouvant atteindre jusqu'à 1,5 au niveau de la commune de Polincove) ;
- des durées de submersion importantes (> 10 jours) au niveau de la commune de Polincove et plus faibles (de 1 à 10 jours) sur la commune de Ruminghem.



3.5 Tests de sensibilité

Différents tests de sensibilité ont été réalisés afin de pouvoir quantifier l'influence des différents paramètres d'entrée sur les emprises inondables, les hauteurs de submersion et les vitesses d'écoulement de l'aléa de référence. **L'ensemble de ces tests à été effectué sur le scénario de référence « hivernal ».**

3.5.1 Influence de la Hem

La Hem traverse la partie est du secteur d'étude, il est donc pertinent d'analyser l'influence de son niveau sur les emprises inondable de la plaine. Aussi, l'hydrogramme injecté représente un événement d'occurrence biennale, dont le débit de pointe est de 13 m³/s (contre 26 m³/s pour le scénario de référence hivernal).

Comme le montre la figure ci-après, l'influence de la Hem, sur les emprises inondables du territoire n'est visible que dans le « triangle » de la Hem à Polincove. Aussi, les emprises inondables tout comme les hauteurs de submersion sont plus importantes lorsque la Hem est en crue. Les hauteurs sont en effet essentiellement comprises entre 0,5 et 1 m pour le scénario de référence de type hivernal alors que pour une crue plus faible de la Hem, ces dernières n'excèdent que rarement 50 cm.

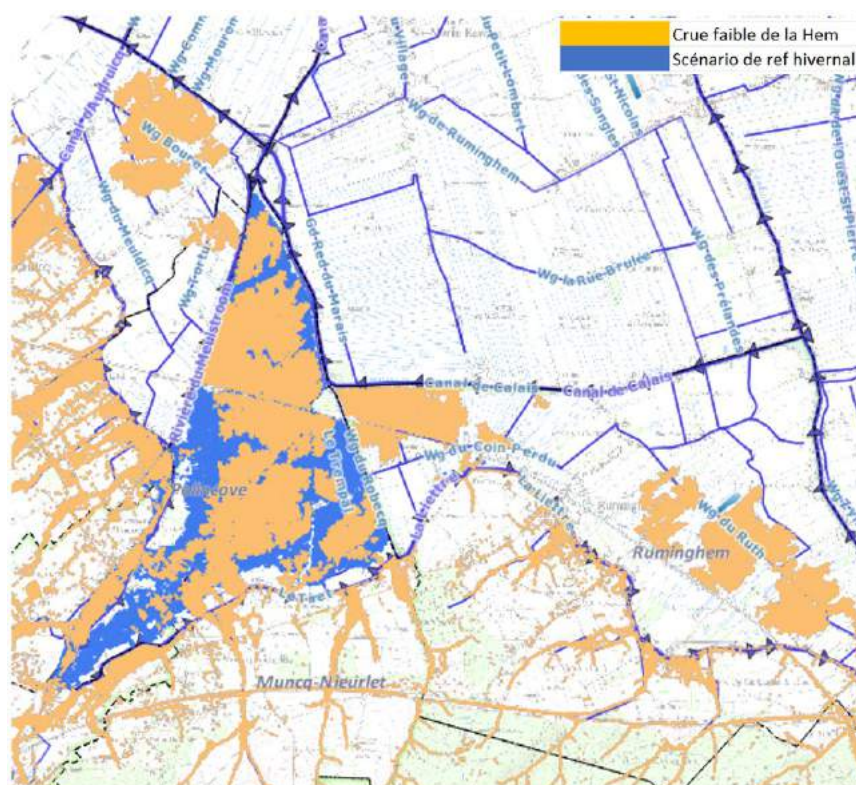


Figure 31 : Influence de la Hem sur l'emprise inondable au droit de la commune de Polincove

3.5.2 Influence de la marée

Concernant le niveau de la mer, un test de sensibilité reprenant une marée faible (coefficient 45) a été modélisé afin de pouvoir estimer l'influence de la marée sur les niveaux au sein du canal de Calais et du canal des Pierrettes.

L'application de cette nouvelle condition aux limites se traduit par une élévation du niveau au sein du canal des Pierrettes ainsi que du canal de Calais (cf. tableau ci-dessous). Cette augmentation du niveau est directement liée à la diminution du volume gravitaire évacué à marée basse, résultant d'une durée d'évacuation réduite.

	Niveau max simulé aléa réf. (m NGF)	Niveau max simulé marée faible (m NGF)	Différence (cm)
Station des Attaques (Canal de Calais)	1,69	1,72	+ 3
Écluse carrée (Canal des Pierrettes)	0,77	0,83	+ 6

Tableau 14 : Influence de la marée sur les niveaux au sein des canaux de Calais et des Pierrettes

Le dysfonctionnement de la station de la Batellerie diminue considérablement le volume pompé évacué conduisant alors à une augmentation du niveau au sein de ce dernier bien qu'il ne reçoive plus les apports de la Rivière Neuve (station de Balinghem hors service) et du lac d'Ardres (station d'Ardres). Une surverse supplémentaire du canal de Calais est constatée à Nortkerque, les emprises inondables sont dès lors plus importantes comme l'indique l'illustration ci-après.

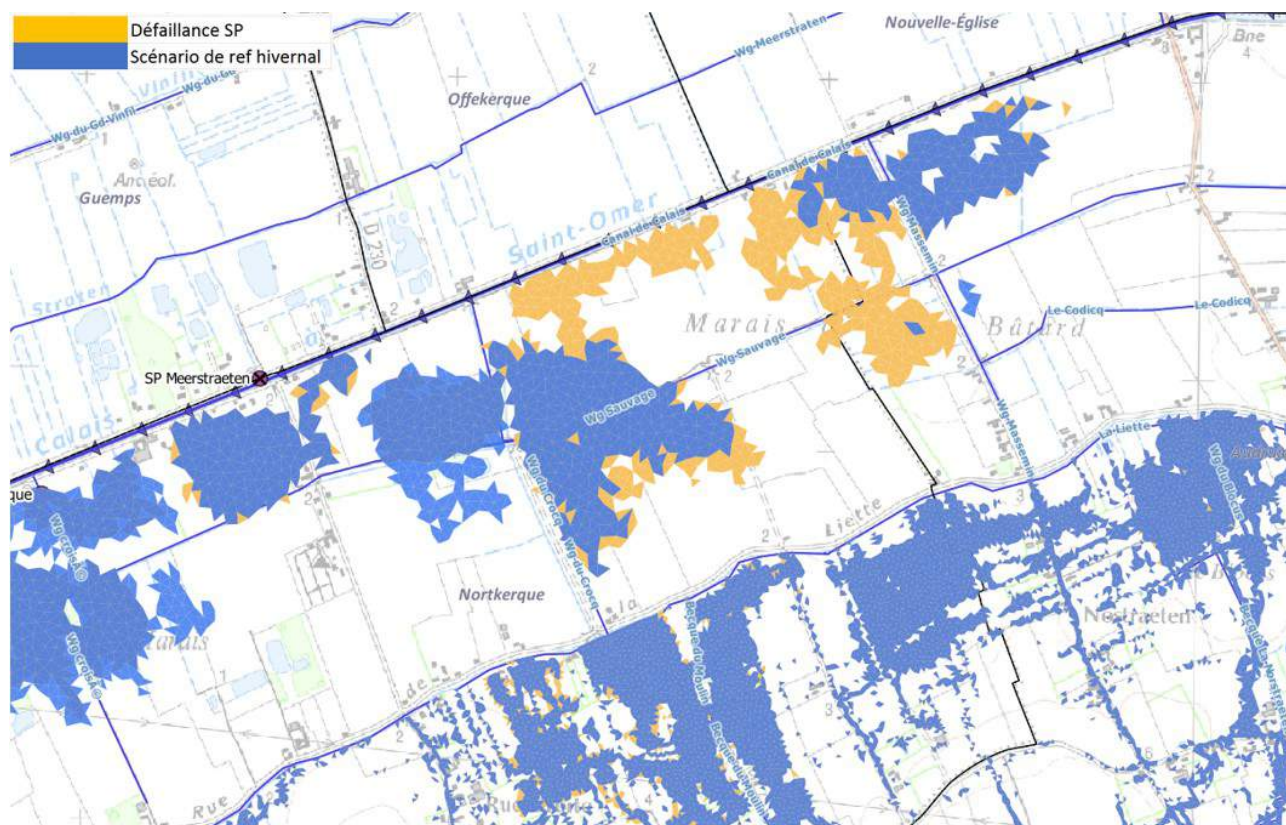


Figure 34 : Influence du dysfonctionnement des stations de pompage sur l'emprise inondable au droit du canal de Calais (Commune de Nortkerque)

Enfin, la non mise en route de la station de pompage du lac d'Ardres (et conjointement celle de Balinghem) se traduit par une augmentation des hauteurs de submersion sur ce secteur. Majoritairement inférieures à 20 cm pour l'aléa de référence, les hauteurs de submersion sont désormais comprises entre 20 et 50 cm. Les emprises inondables sur ce secteur restent quant à elles identiques.

3.5.4 Conclusion sur les tests de sensibilité

Les trois tests de sensibilité réalisés (influences du niveau de la Hem, de la marée et du dysfonctionnement de différentes stations de pompage) impactent localement les conditions d'écoulement engendrant une augmentation de l'emprise inondable et des hauteurs de submersion sur quelques secteurs de la plaine. Aussi, ces tests de sensibilité n'ont que peu d'influence sur l'aléa de référence et sur les enjeux touchés.

C'est au regard de ces résultats qu'il a été décidé de ne pas considérer ces conditions particulières pour l'aléa de référence.

Annexes

Annexe 1 - Coefficient d'imperméabilisation en fonction de l'occupation des sols

numéro de poste	poste d'occupation du sol	coefficient d'imperméabilisation
1	Bois ou forêts	0.05
2	Coupes ou clairières en forêts	0.05
3	Peupleraies	0.1
4	Terres labourées	0.1
5	Surfaces en herbe à caractère agricole	0.1
6	Vergers, pépinières	0.2
7	Maraîchage, horticulture	0.2
8	Cultures intensives sous serres	0.25
9	Eau	0
10	Surfaces en herbe non agricoles	0.1
11	Carrières, sablières	0.1
12	Décharges	0.1
13	Vacant rural	0.1
14	Parcs ou jardins	0.1
15	Jardins familiaux	0.1
16	Jardins de l'habitat	0.1
17	Terrains de sport en plein air	0.15
18	Équipements sportifs de grande surface	0.1
19	Camping, caravaning	0.1
20	Parcs liés aux activités de loisirs	0.1
21	Terrains vacants	0.4
22	Habitat individuel	0.3
23	Ensembles d'habitat individuel identique	0.4
24	Habitat rural	0.15
25	Habitat continu bas	0.7
26	Habitat collectif continu haut	0.8
27	Habitat collectif discontinu	0.6
28	Habitat autre	0.5
29	Équipements pour eau, assainissement, énergie	0.5
30	Zones ou espaces affectés aux activités	0.7
31	Entrepôts logistiques	0.9
32	Commerces	0.9
33	Bureaux	0.8
34	Bâtiments ou installations de sport	0.8
35	Équipements d'enseignement	0.6
36	Équipements de santé	0.5
37	Cimetières	0.2
38	Grands centres de congrès et d'exposition	0.6
39	Équipements culturels et de loisirs	0.6
40	Administrations, organismes officiels	0.6
41	Autres équipements accueillant du public	0.6

numéro de poste	poste d'occupation du sol	coefficient d'imperméabilisation
42	Emprises de transport ferre	0.2
43	Emprises routieres	0.9
44	Parcs de stationnement	0.9
45	Gares routieres, dépôts	0.8
46	Installations aeroportuaires	0.8
47	Chantiers	0.5

Annexe 2 - Statistiques Météo-France

DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 2 heures – Méthode du renouvellement

Statistiques sur la période 1992–2012

CALAIS–MARCK (62)

Indicatif : 62548002, alt : 2 m., lat : 50°57'30"N, lon : 01°57'18"E

L'échantillon contient 54 valeurs pour 17 années traitées.

- les valeurs de dépassement sont ajustées par **une loi de Pareto généralisée**
- on utilise une expression **asymptotique** pour la prise en compte des nombres annuels de dépassements

Durée de retour	Hauteur estimée	Intervalle de confiance à 70 %	
5 ans	25.8 mm	23.7 mm	27.9 mm
10 ans	29.3 mm	26.1 mm	32.4 mm
20 ans	32.7 mm	28.1 mm	37.4 mm
30 ans	34.8 mm	29.0 mm	40.5 mm
50 ans	37.3 mm	30.1 mm	44.6 mm
100 ans	40.9 mm	31.1 mm	50.6 mm

Seuil d'ajustement : 12.3 mm

Paramètre de forme $k = -0.01$

Paramètre d'échelle = 4.82

VALEURS MAXIMALES DE L'ECHANTILLON TRAITE

Hauteur observée	Date
31.0 mm	26/08/2011
26.9 mm	16/07/2009
26.8 mm	23/10/2006
25.4 mm	08/08/2007
24.9 mm	03/09/2011

* Les précipitations en 2 heures sont issues de mesures de l'intensité des précipitations par pas de 6 minutes et sont décomptées sur 24 heures glissantes.

DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 2 heures – Méthode du renouvellement

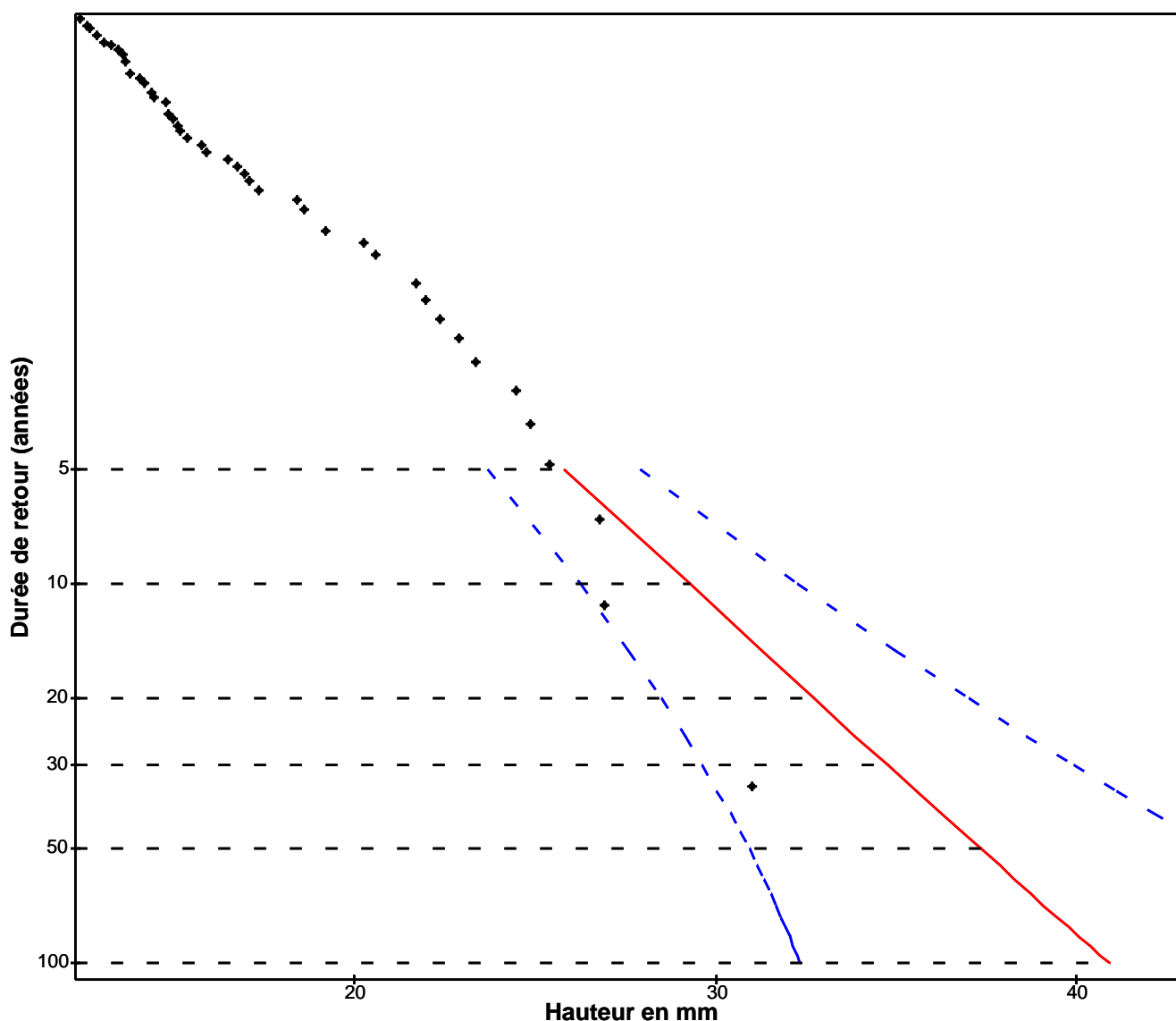
Statistiques sur la période 1992–2012

CALAIS–MARCK (62)

Indicatif : 62548002, alt : 2 m., lat : 50°57'30"N, lon : 01°57'18"E

GRAPHIQUE D'AJUSTEMENT

La droite donne la hauteur de précipitations estimée pour une durée de retour exprimée en années.
Les observations sont pointées. L'intervalle de confiance à 70 % est représenté en pointillés.





DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 3 heures – Méthode du renouvellement

Statistiques sur la période 1992–2012

CALAIS–MARCK (62)

Indicatif : 62548002, alt : 2 m., lat : 50°57'30"N, lon : 01°57'18"E

L'échantillon contient 45 valeurs pour 17 années traitées.

– les valeurs de dépassement sont ajustées par **une loi de Pareto généralisée**

– on utilise une expression **asymptotique** pour la prise en compte des nombres annuels de dépassements

Durée de retour	Hauteur estimée	Intervalle de confiance à 70 %	
5 ans	27.8 mm	26.4 mm	29.2 mm
10 ans	29.6 mm	27.8 mm	31.5 mm
20 ans	31.1 mm	28.6 mm	33.6 mm
30 ans	31.7 mm	28.8 mm	34.6 mm
50 ans	32.5 mm	29.1 mm	35.9 mm
100 ans	33.3 mm	29.2 mm	37.3 mm

Seuil d'ajustement : 14.8 mm

Paramètre de forme $k = 0.37$

Paramètre d'échelle = 7.77

VALEURS MAXIMALES DE L'ECHANTILLON TRAITE

Hauteur observée	Date
31.0 mm	26/08/2011
29.5 mm	23/10/2006
27.1 mm	16/07/2009
27.0 mm	08/06/2007
26.4 mm	28/07/1994

* Les précipitations en 3 heures sont issues de mesures de l'intensité des précipitations par pas de 6 minutes et sont décomptées sur 24 heures glissantes.

DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 3 heures – Méthode du renouvellement

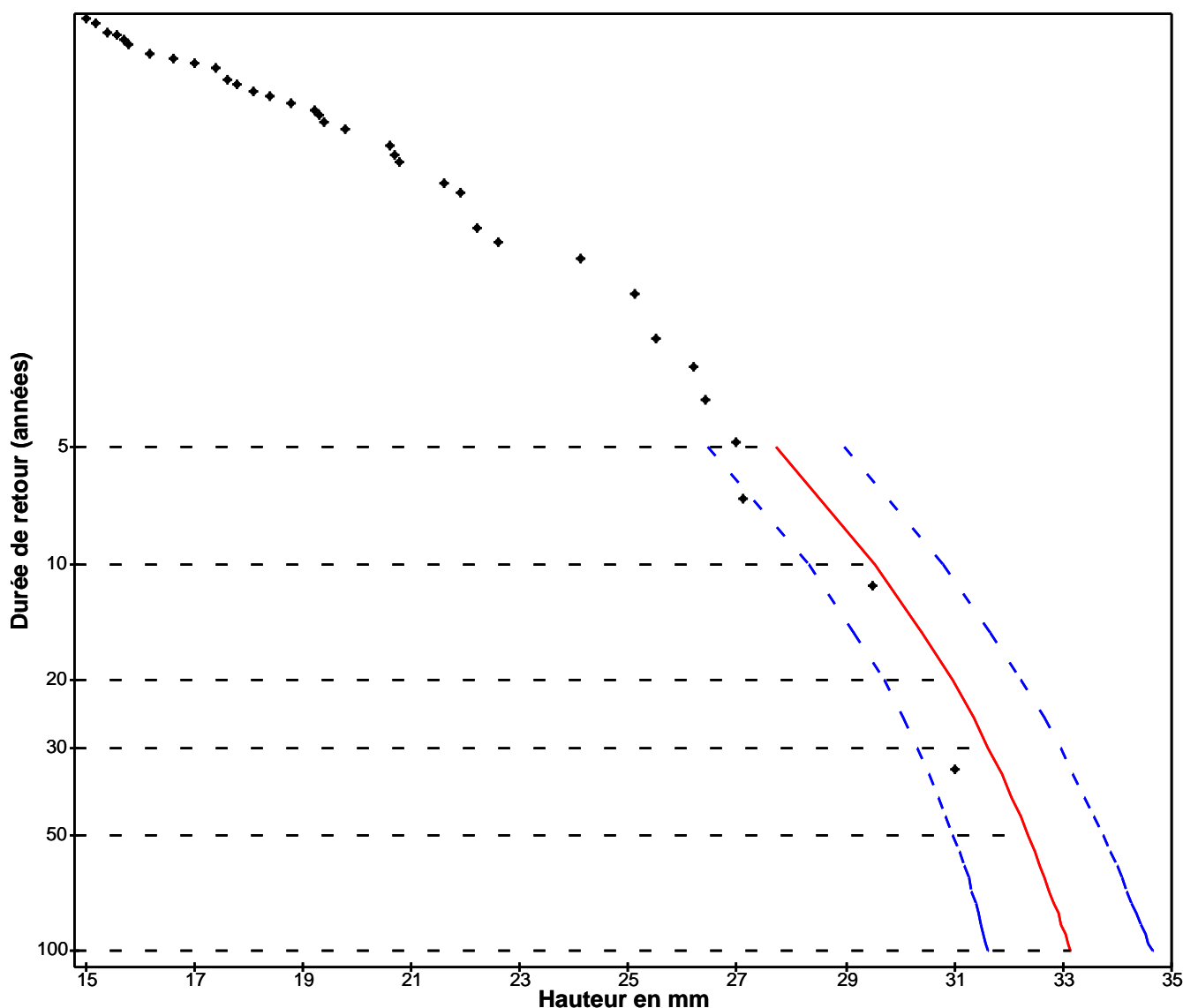
Statistiques sur la période 1992–2012

CALAIS–MARCK (62)

Indicatif : 62548002, alt : 2 m., lat : 50°57'30"N, lon : 01°57'18"E

GRAPHIQUE D'AJUSTEMENT

La droite donne la hauteur de précipitations estimée pour une durée de retour exprimée en années.
Les observations sont pointées. L'intervalle de confiance à 70 % est représenté en pointillés.





DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 12 heures – Méthode du renouvellement

Statistiques sur la période 1992–2012

CALAIS–MARCK (62)

Indicatif : 62548002, alt : 2 m., lat : 50°57'30"N, lon : 01°57'18"E

L'échantillon contient 49 valeurs pour 18 années traitées.

– les valeurs de dépassement sont ajustées par **une loi de Pareto généralisée**

– on utilise une expression **asymptotique** pour la prise en compte des nombres annuels de dépassements

Durée de retour	Hauteur estimée	Intervalle de confiance à 70 %	
5 ans	37.0 mm	35.2 mm	38.8 mm
10 ans	39.8 mm	37.3 mm	42.4 mm
20 ans	42.3 mm	38.7 mm	45.8 mm
30 ans	43.5 mm	39.3 mm	47.8 mm
50 ans	45.0 mm	39.9 mm	50.1 mm
100 ans	46.8 mm	40.4 mm	53.2 mm

Seuil d'ajustement : 22.2 mm

Paramètre de forme $k = 0.2$

Paramètre d'échelle = 7.27

VALEURS MAXIMALES DE L'ECHANTILLON TRAITE

Hauteur observée	Date
53.5 mm	12/08/2006
37.4 mm	27/12/2003
36.6 mm	29/08/1996
35.9 mm	14/12/2011
35.5 mm	26/08/2011

* Les précipitations en 12 heures sont issues de mesures de l'intensité des précipitations par pas de 6 minutes et sont décomptées sur 24 heures glissantes.

DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 12 heures – Méthode du renouvellement

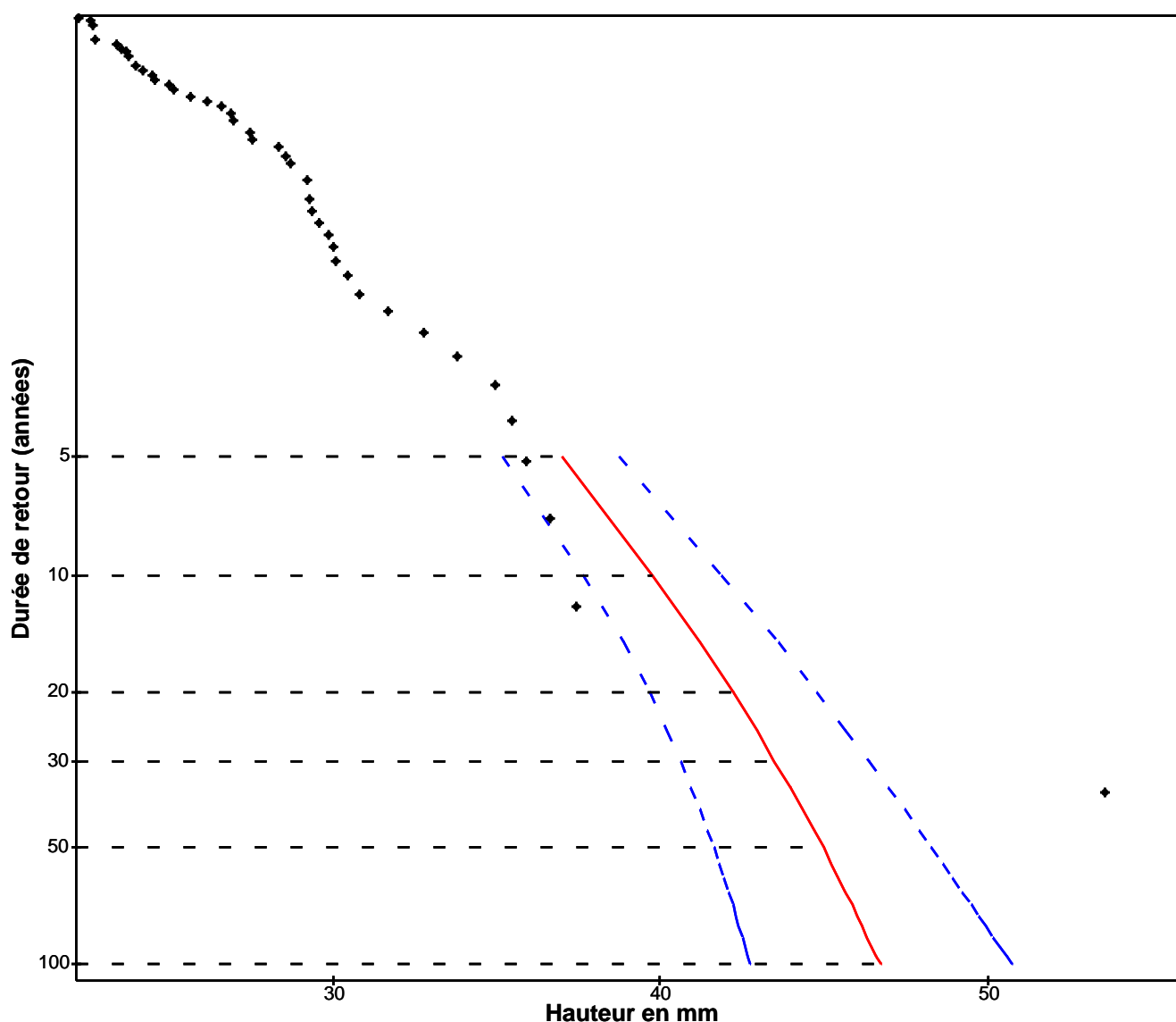
Statistiques sur la période 1992–2012

CALAIS–MARCK (62)

Indicatif : 62548002, alt : 2 m., lat : 50°57'30"N, lon : 01°57'18"E

GRAPHIQUE D'AJUSTEMENT

La droite donne la hauteur de précipitations estimée pour une durée de retour exprimée en années.
Les observations sont pointées. L'intervalle de confiance à 70 % est représenté en pointillés.



DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 1 jour – Méthode du renouvellement

Statistiques sur la période 1991–2012

CALAIS–MARCK (62)

Indicatif : 62548002, alt : 2 m., lat : 50°57'30"N, lon : 01°57'18"E

L'échantillon contient 63 valeurs pour 22 années traitées.

- les valeurs de dépassement sont ajustées par **une loi de Pareto généralisée**
- on utilise une expression **asymptotique** pour la prise en compte des nombres annuels de dépassements

Durée de retour	Hauteur estimée	Intervalle de confiance à 70 %	
5 ans	40.5 mm	38.2 mm	42.8 mm
10 ans	44.7 mm	41.3 mm	48.0 mm
20 ans	48.7 mm	43.8 mm	53.6 mm
30 ans	51.0 mm	45.1 mm	56.9 mm
50 ans	53.8 mm	46.3 mm	61.2 mm
100 ans	57.5 mm	47.7 mm	67.2 mm

Seuil d'ajustement : 22.7 mm

Paramètre de forme $k = 0.06$

Paramètre d'échelle = 7.2

VALEURS MAXIMALES DE L'ECHANTILLON TRAITE

Hauteur observée	Date
54.0 mm	19/11/1991
51.1 mm	12/08/2006
40.9 mm	14/12/2011
40.6 mm	13/11/1991
40.4 mm	18/10/1992

* Les statistiques sont établies à partir de valeurs quotidiennes relevées entre 6 heures et 6 heures UTC** (le lendemain)

** heure légale = heure UTC + 1 (hiver) ou heure UTC + 2 (été)

DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 1 jour – Méthode du renouvellement

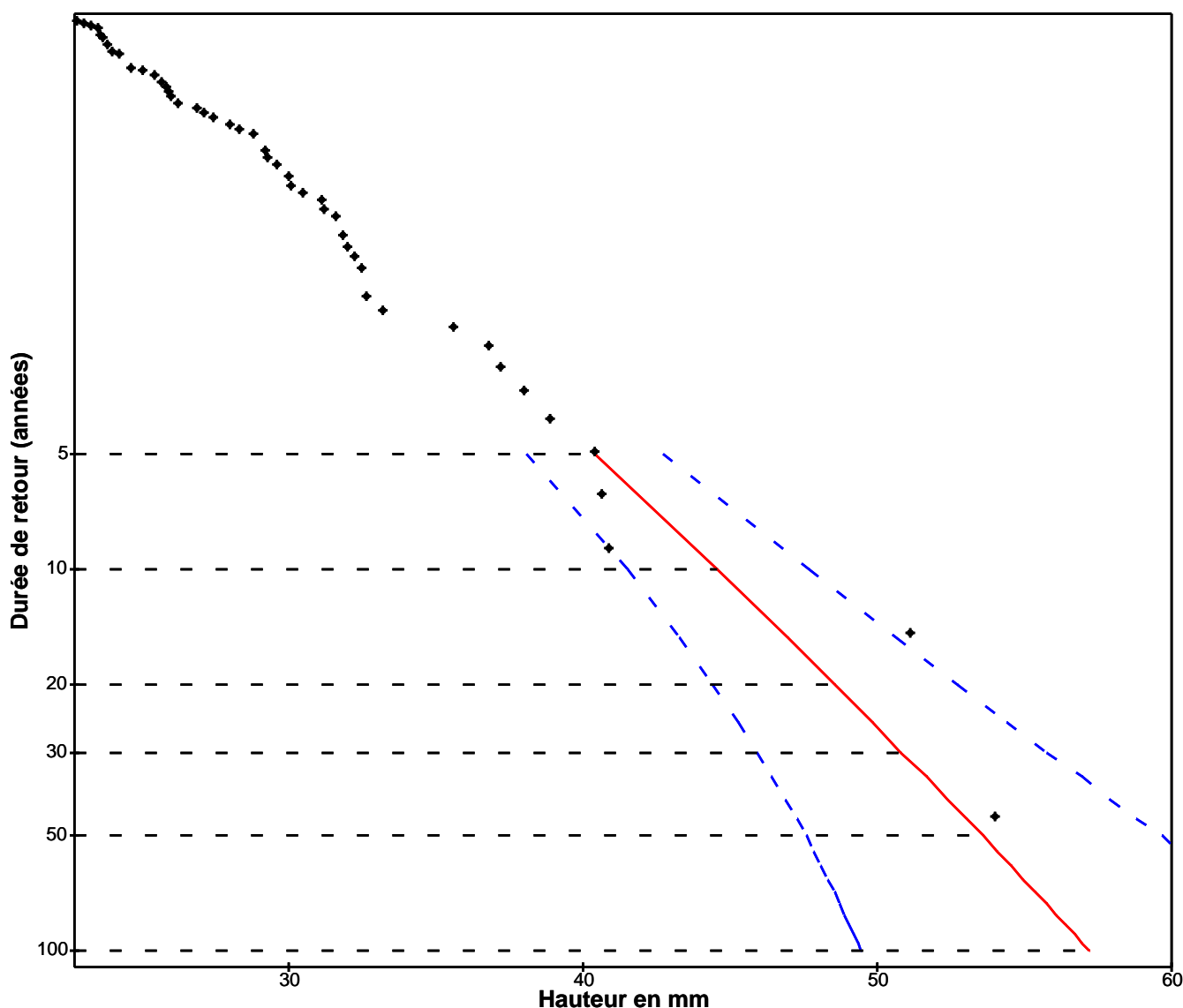
Statistiques sur la période 1991–2012

CALAIS–MARCK (62)

Indicatif : 62548002, alt : 2 m., lat : 50°57'30"N, lon : 01°57'18"E

GRAPHIQUE D'AJUSTEMENT

La droite donne la hauteur de précipitations estimée pour une durée de retour exprimée en années.
Les observations sont pointées. L'intervalle de confiance à 70 % est représenté en pointillés.



DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 2 jours – Méthode du renouvellement

Statistiques sur la période 1991–2012

CALAIS–MARCK (62)

Indicatif : 62548002, alt : 2 m., lat : 50°57'30"N, lon : 01°57'18"E

L'échantillon contient 57 valeurs pour 22 années traitées.

- les valeurs de dépassement sont ajustées par **une loi de Pareto généralisée**
- on utilise une expression **asymptotique** pour la prise en compte des nombres annuels de dépassements

Durée de retour	Hauteur estimée	Intervalle de confiance à 70 %	
5 ans	58.1 mm	54.1 mm	62.1 mm
10 ans	65.6 mm	59.7 mm	71.6 mm
20 ans	73.2 mm	64.3 mm	82.0 mm
30 ans	77.6 mm	66.6 mm	88.6 mm
50 ans	83.2 mm	69.1 mm	97.3 mm
100 ans	90.8 mm	71.8 mm	109.9 mm

Seuil d'ajustement : 30.7 mm

Paramètre de forme $k = -0.01$

Paramètre d'échelle = 10.61

VALEURS MAXIMALES DE L'ECHANTILLON TRAITE

Hauteur observée	Date
75.8 mm	18/11/1991
74.9 mm	12/08/2006
63.0 mm	13/12/2011
58.0 mm	01/11/2012
57.7 mm	26/11/2009

* Les statistiques sont établies à partir de valeurs quotidiennes relevées entre 6 heures et 6 heures UTC** (le lendemain)

** heure légale = heure UTC + 1 (hiver) ou heure UTC + 2 (été)

DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 2 jours – Méthode du renouvellement

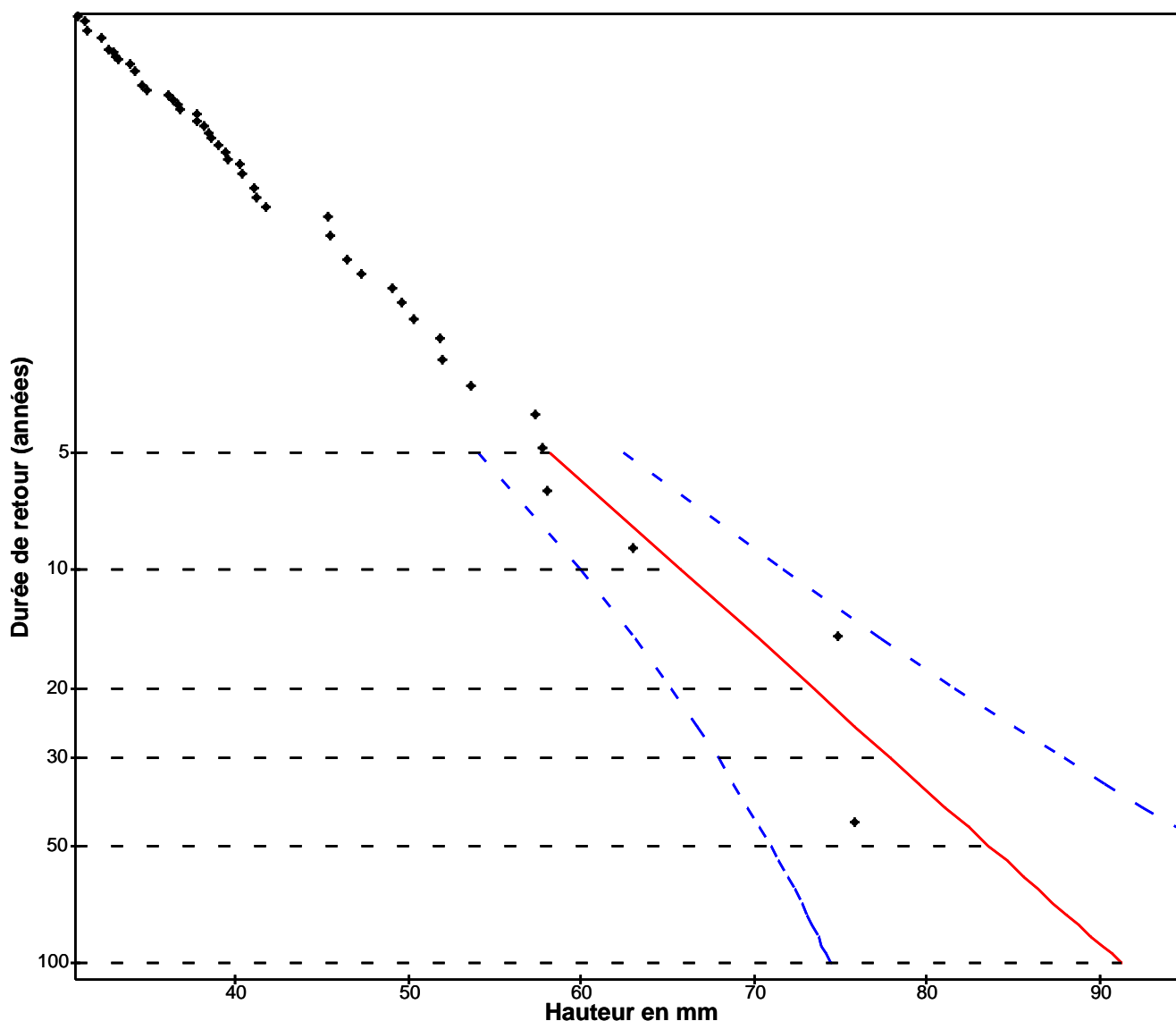
Statistiques sur la période 1991–2012

CALAIS–MARCK (62)

Indicatif : 62548002, alt : 2 m., lat : 50°57'30"N, lon : 01°57'18"E

GRAPHIQUE D'AJUSTEMENT

La droite donne la hauteur de précipitations estimée pour une durée de retour exprimée en années.
Les observations sont pointées. L'intervalle de confiance à 70 % est représenté en pointillés.



DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 4 jours – Méthode du renouvellement

Statistiques sur la période 1991–2012

CALAIS–MARCK (62)

Indicatif : 62548002, alt : 2 m., lat : 50°57'30"N, lon : 01°57'18"E

L'échantillon contient 83 valeurs pour 22 années traitées.

- les valeurs de dépassement sont ajustées par **une loi de Pareto généralisée**
- on utilise une expression **asymptotique** pour la prise en compte des nombres annuels de dépassements

Durée de retour	Hauteur estimée	Intervalle de confiance à 70 %	
5 ans	78.8 mm	72.4 mm	85.1 mm
10 ans	90.8 mm	80.9 mm	100.6 mm
20 ans	103.5 mm	88.8 mm	118.3 mm
30 ans	111.3 mm	93.0 mm	129.7 mm
50 ans	121.6 mm	97.8 mm	145.3 mm
100 ans	136.1 mm	103.6 mm	168.7 mm

Seuil d'ajustement : 35.0 mm

Paramètre de forme $k = -0.08$

Paramètre d'échelle = 13.13

VALEURS MAXIMALES DE L'ECHANTILLON TRAITE

Hauteur observée	Date
101.8 mm	11/08/2006
90.0 mm	12/12/2011
88.9 mm	25/11/2009
85.8 mm	30/10/2000
84.1 mm	26/09/2007

* Les statistiques sont établies à partir de valeurs quotidiennes relevées entre 6 heures et 6 heures UTC** (le lendemain)

** heure légale = heure UTC + 1 (hiver) ou heure UTC + 2 (été)

DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 4 jours – Méthode du renouvellement

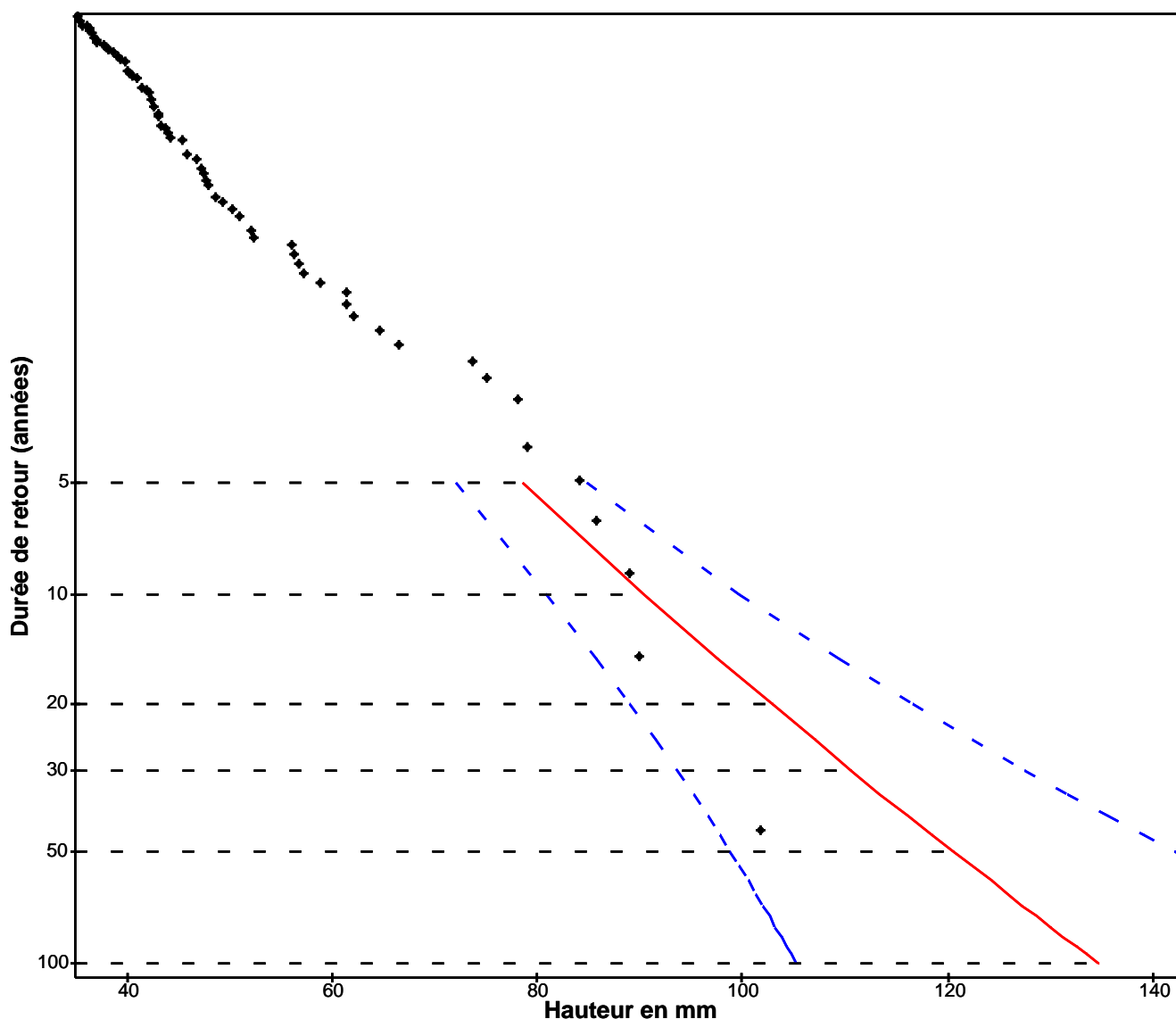
Statistiques sur la période 1991–2012

CALAIS–MARCK (62)

Indicatif : 62548002, alt : 2 m., lat : 50°57'30"N, lon : 01°57'18"E

GRAPHIQUE D'AJUSTEMENT

La droite donne la hauteur de précipitations estimée pour une durée de retour exprimée en années.
Les observations sont pointées. L'intervalle de confiance à 70 % est représenté en pointillés.



DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 8 jours – Méthode du renouvellement

Statistiques sur la période 1991–2012

CALAIS–MARCK (62)

Indicatif : 62548002, alt : 2 m., lat : 50°57'30"N, lon : 01°57'18"E

L'échantillon contient 49 valeurs pour 22 années traitées.

- les valeurs de dépassement sont ajustées par **une loi de Pareto généralisée**
- on utilise une expression **asymptotique** pour la prise en compte des nombres annuels de dépassements

Durée de retour	Hauteur estimée	Intervalle de confiance à 70 %	
5 ans	104.8 mm	96.8 mm	112.8 mm
10 ans	120.2 mm	107.9 mm	132.5 mm
20 ans	136.3 mm	117.6 mm	155.0 mm
30 ans	146.1 mm	122.5 mm	169.6 mm
50 ans	158.7 mm	127.8 mm	189.6 mm
100 ans	176.5 mm	133.3 mm	219.6 mm

Seuil d'ajustement : 56.0 mm

Paramètre de forme $k = -0.06$

Paramètre d'échelle = 18.77

VALEURS MAXIMALES DE L'ECHANTILLON TRAITE

Hauteur observée	Date
128.4 mm	12/11/1991
124.0 mm	27/10/2000
120.4 mm	10/08/2006
114.9 mm	27/10/2012
113.1 mm	21/11/2009

* Les statistiques sont établies à partir de valeurs quotidiennes relevées entre 6 heures et 6 heures UTC** (le lendemain)

** heure légale = heure UTC + 1 (hiver) ou heure UTC + 2 (été)

DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 8 jours – Méthode du renouvellement

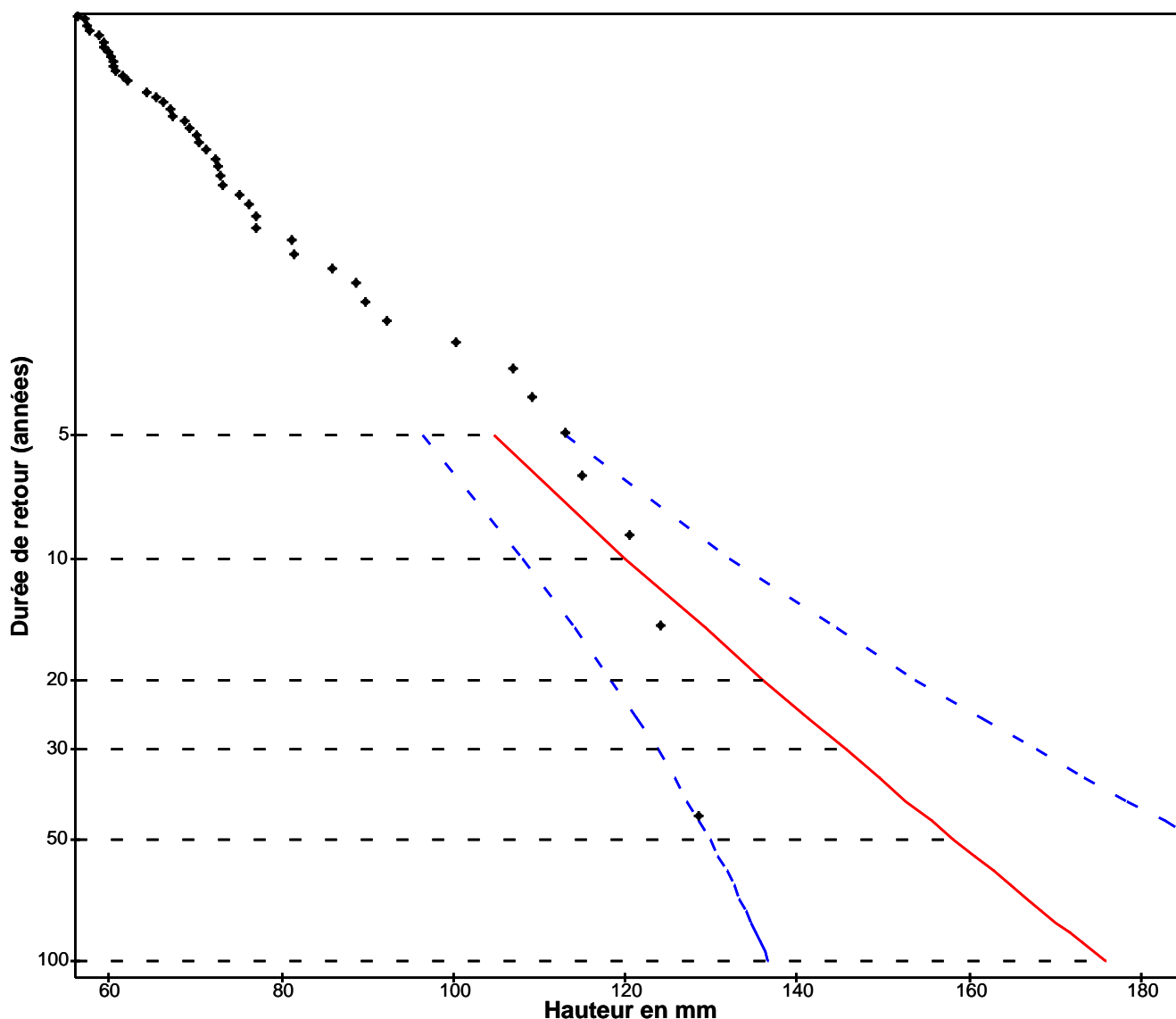
Statistiques sur la période 1991–2012

CALAIS–MARCK (62)

Indicatif : 62548002, alt : 2 m., lat : 50°57'30"N, lon : 01°57'18"E

GRAPHIQUE D'AJUSTEMENT

La droite donne la hauteur de précipitations estimée pour une durée de retour exprimée en années.
Les observations sont pointées. L'intervalle de confiance à 70 % est représenté en pointillés.



DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 1 jour – Méthode du renouvellement

Statistiques sur la période 1968–2012

LICQUES (62)

Indicatif : 62506001, alt : 75 m., lat : 50°47'00"N, lon : 01°56'36"E

L'échantillon contient 106 valeurs pour 45 années traitées.

– les valeurs de dépassement sont ajustées par **une loi de Pareto généralisée**

– on utilise une expression **asymptotique** pour la prise en compte des nombres annuels de dépassements

Durée de retour	Hauteur estimée	Intervalle de confiance à 70 %	
5 ans	52.3 mm	49.4 mm	55.2 mm
10 ans	60.5 mm	55.7 mm	65.3 mm
20 ans	69.9 mm	62.1 mm	77.6 mm
30 ans	75.9 mm	65.9 mm	85.9 mm
50 ans	84.1 mm	70.5 mm	97.7 mm
100 ans	96.5 mm	76.5 mm	116.5 mm

Seuil d'ajustement : 30.0 mm

Paramètre de forme $k = -0.18$

Paramètre d'échelle = 7.21

VALEURS MAXIMALES DE L'ECHANTILLON TRAITE

Hauteur observée	Date
111.5 mm	12/08/2006
75.0 mm	26/11/2009
71.0 mm	26/06/1981
67.5 mm	17/07/1987
64.6 mm	13/08/2006

* Les statistiques sont établies à partir de valeurs quotidiennes relevées entre 6 heures et 6 heures UTC** (le lendemain)

** heure légale = heure UTC + 1 (hiver) ou heure UTC + 2 (été)

DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 1 jour – Méthode du renouvellement

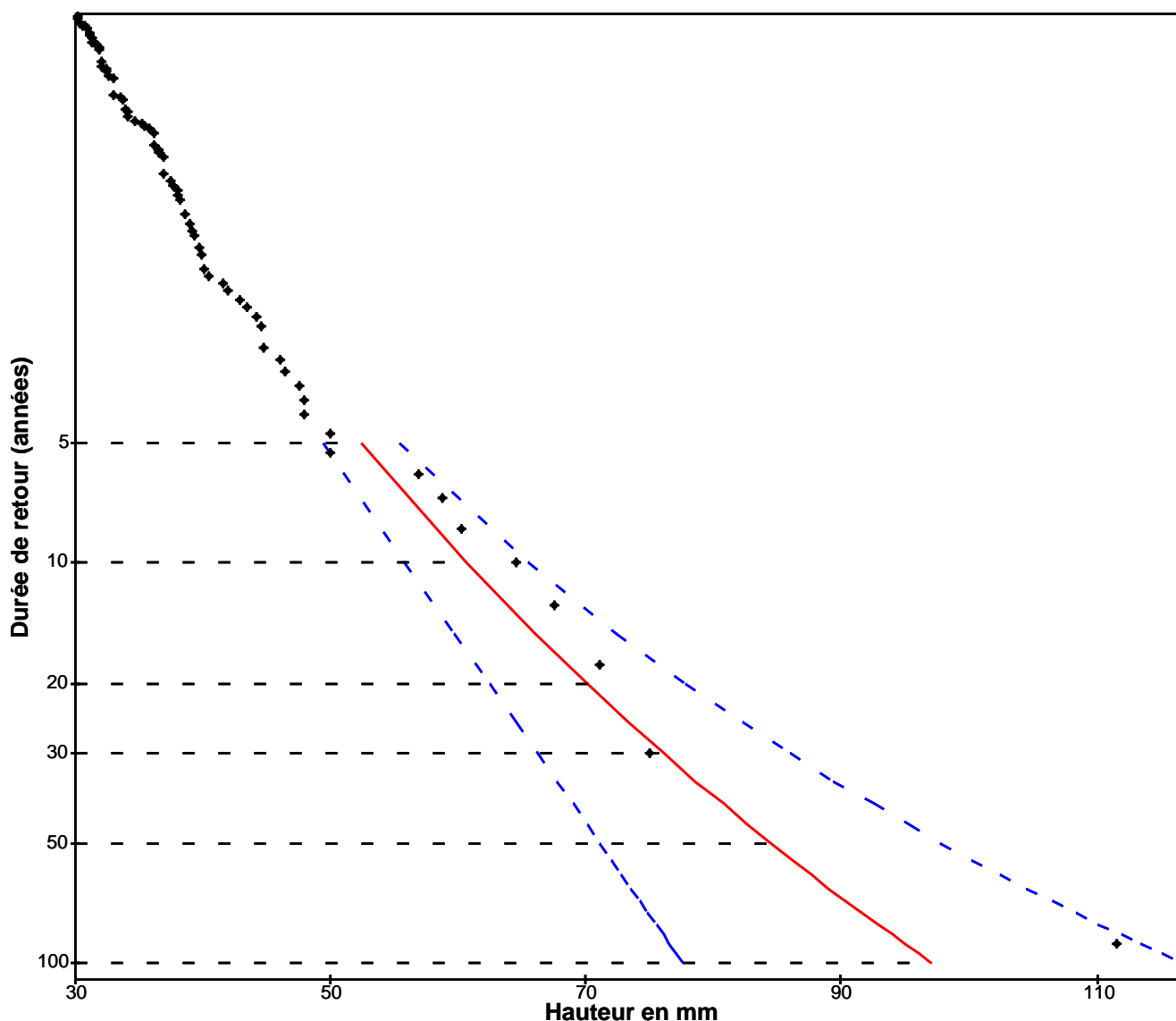
Statistiques sur la période 1968–2012

LICQUES (62)

Indicatif : 62506001, alt : 75 m., lat : 50°47'00"N, lon : 01°56'36"E

GRAPHIQUE D'AJUSTEMENT

La droite donne la hauteur de précipitations estimée pour une durée de retour exprimée en années.
Les observations sont pointées. L'intervalle de confiance à 70 % est représenté en pointillés.



DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 2 jours – Méthode du renouvellement

Statistiques sur la période 1968–2012

LICQUES (62)

Indicatif : 62506001, alt : 75 m., lat : 50°47'00"N, lon : 01°56'36"E

L'échantillon contient 191 valeurs pour 45 années traitées.

– les valeurs de dépassement sont ajustées par **une loi de Pareto généralisée**

– on utilise une expression **asymptotique** pour la prise en compte des nombres annuels de dépassements

Durée de retour	Hauteur estimée	Intervalle de confiance à 70 %	
5 ans	72.9 mm	69.0 mm	76.8 mm
10 ans	83.4 mm	77.4 mm	89.5 mm
20 ans	94.8 mm	85.7 mm	103.9 mm
30 ans	101.9 mm	90.5 mm	113.2 mm
50 ans	111.2 mm	96.4 mm	126.0 mm
100 ans	124.7 mm	104.4 mm	145.1 mm

Seuil d'ajustement : 34.9 mm

Paramètre de forme $k = -0.11$

Paramètre d'échelle = 10.48

VALEURS MAXIMALES DE L'ECHANTILLON TRAITE

Hauteur observée	Date
176.1 mm	12/08/2006
119.2 mm	26/11/2009
93.0 mm	25/06/1981
89.4 mm	04/03/2012
87.5 mm	13/12/2011

* Les statistiques sont établies à partir de valeurs quotidiennes relevées entre 6 heures et 6 heures UTC** (le lendemain)

** heure légale = heure UTC + 1 (hiver) ou heure UTC + 2 (été)

DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 2 jours – Méthode du renouvellement

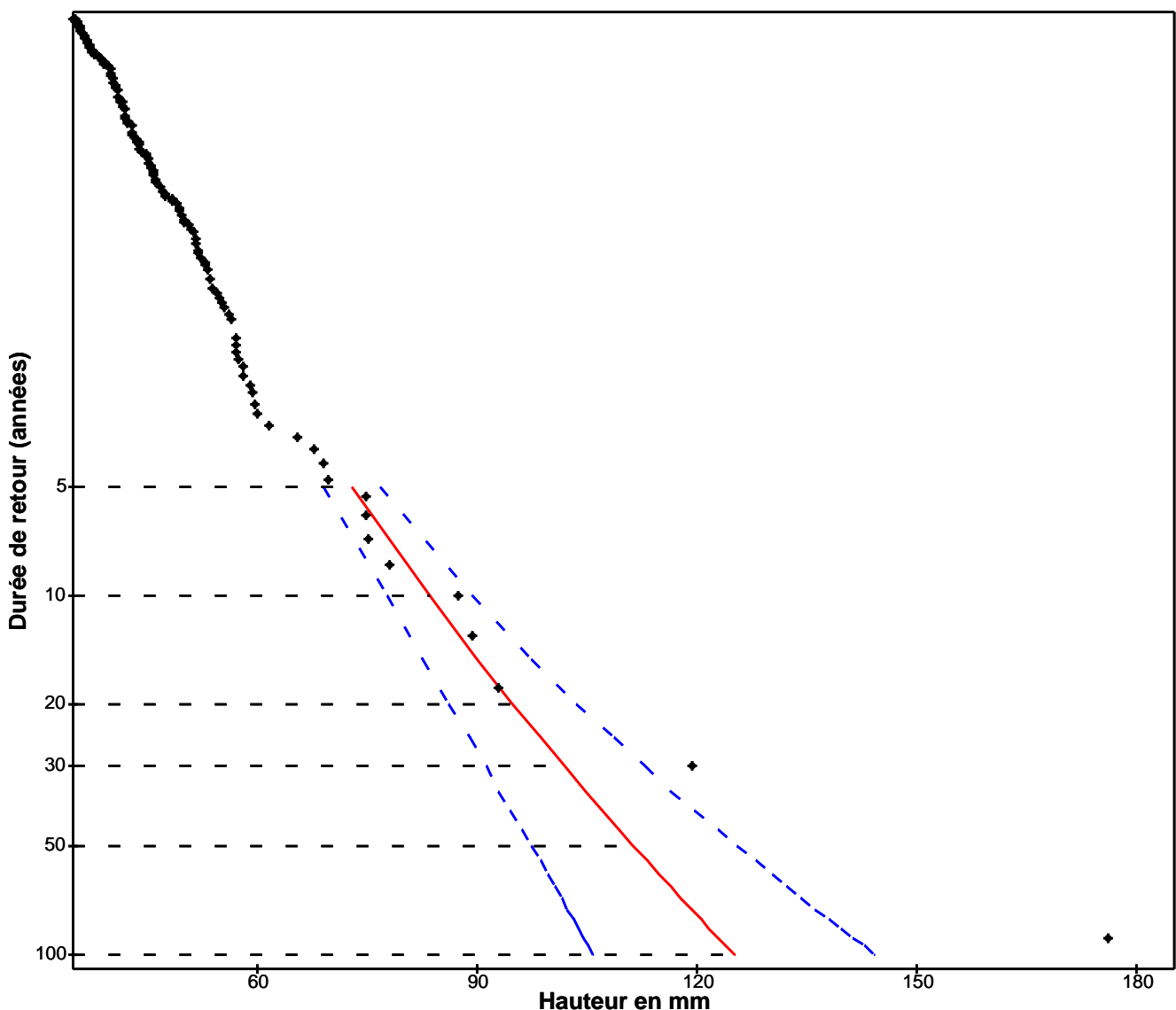
Statistiques sur la période 1968–2012

LICQUES (62)

Indicatif : 62506001, alt : 75 m., lat : 50°47'00"N, lon : 01°56'36"E

GRAPHIQUE D'AJUSTEMENT

La droite donne la hauteur de précipitations estimée pour une durée de retour exprimée en années.
Les observations sont pointées. L'intervalle de confiance à 70 % est représenté en pointillés.



Page 2/2

Edité le : 20/04/2016

N.B. : La vente, redistribution ou rediffusion des informations reçues, en l'état ou sous forme de produits dérivés, est strictement interdite sans l'accord de METEO-FRANCE

DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 4 jours – Méthode du renouvellement

Statistiques sur la période 1968–2012

LICQUES (62)

Indicatif : 62506001, alt : 75 m., lat : 50°47'00"N, lon : 01°56'36"E

L'échantillon contient 124 valeurs pour 45 années traitées.

- les valeurs de dépassement sont ajustées par **une loi de Pareto généralisée**
- on utilise une expression **asymptotique** pour la prise en compte des nombres annuels de dépassements

Durée de retour	Hauteur estimée	Intervalle de confiance à 70 %	
5 ans	102.4 mm	97.0 mm	107.8 mm
10 ans	117.3 mm	108.9 mm	125.7 mm
20 ans	133.0 mm	120.2 mm	145.7 mm
30 ans	142.5 mm	126.5 mm	158.5 mm
50 ans	155.0 mm	134.1 mm	175.9 mm
100 ans	172.7 mm	143.6 mm	201.7 mm

Seuil d'ajustement : 52.6 mm

Paramètre de forme $k = -0.08$

Paramètre d'échelle = 17.17

VALEURS MAXIMALES DE L'ECHANTILLON TRAITE

Hauteur observée	Date
199.6 mm	11/08/2006
179.8 mm	25/11/2009
127.6 mm	12/12/2011
122.2 mm	25/06/1981
110.6 mm	30/10/2000

* Les statistiques sont établies à partir de valeurs quotidiennes relevées entre 6 heures et 6 heures UTC** (le lendemain)

** heure légale = heure UTC + 1 (hiver) ou heure UTC + 2 (été)

DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 4 jours – Méthode du renouvellement

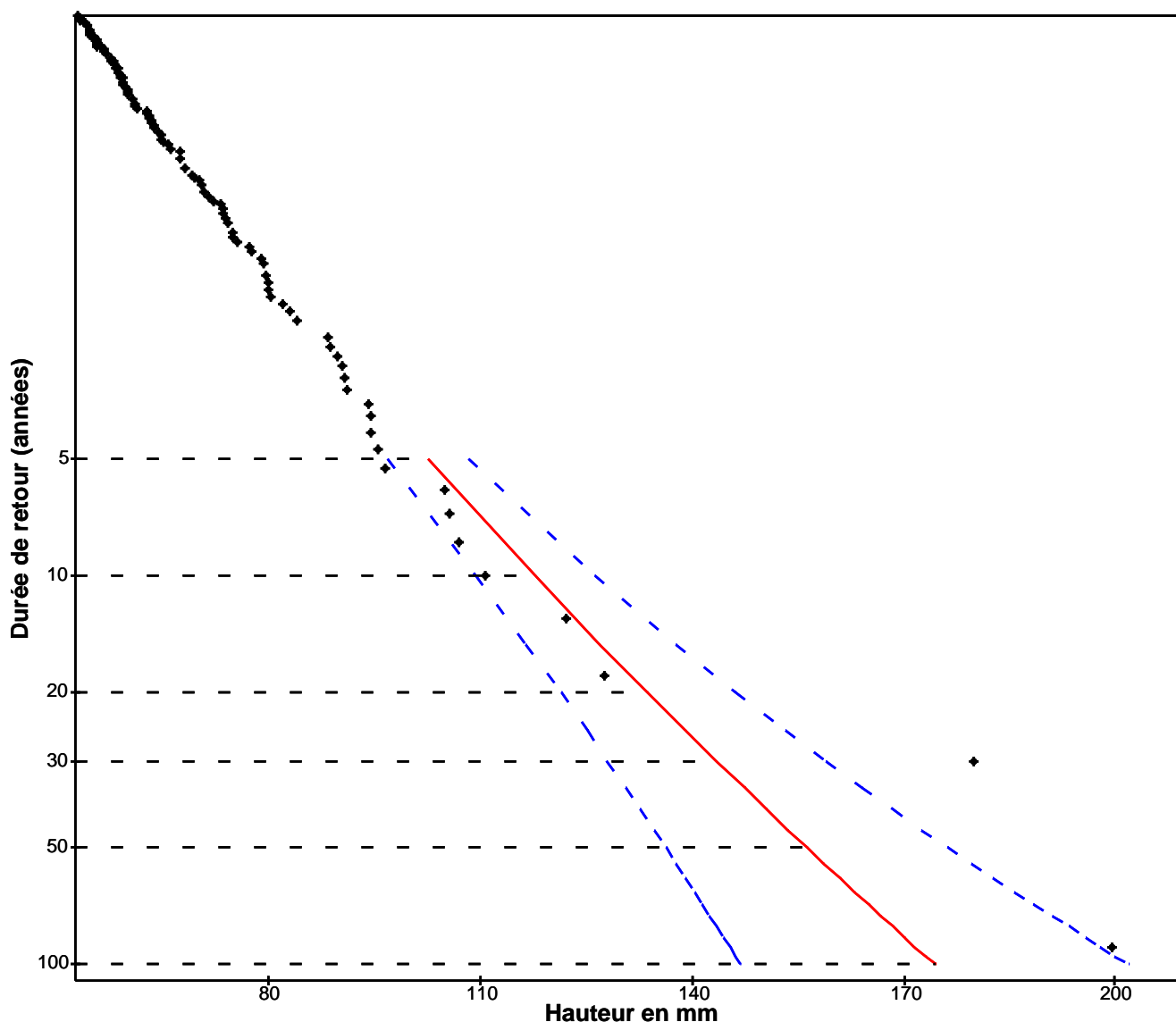
Statistiques sur la période 1968–2012

LICQUES (62)

Indicatif : 62506001, alt : 75 m., lat : 50°47'00"N, lon : 01°56'36"E

GRAPHIQUE D'AJUSTEMENT

La droite donne la hauteur de précipitations estimée pour une durée de retour exprimée en années.
Les observations sont pointées. L'intervalle de confiance à 70 % est représenté en pointillés.



Page 2/2

Edité le : 20/04/2016

N.B. : La vente, redistribution ou rediffusion des informations reçues,
en l'état ou sous forme de produits dérivés, est strictement interdite sans l'accord de METEO-FRANCE

DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 8 jours – Méthode du renouvellement

Statistiques sur la période 1968–2012

LICQUES (62)

Indicatif : 62506001, alt : 75 m., lat : 50°47'00"N, lon : 01°56'36"E

L'échantillon contient 112 valeurs pour 45 années traitées.

- les valeurs de dépassement sont ajustées par **une loi de Pareto généralisée**
- on utilise une expression **asymptotique** pour la prise en compte des nombres annuels de dépassements

Durée de retour	Hauteur estimée	Intervalle de confiance à 70 %	
5 ans	139.1 mm	132.3 mm	145.9 mm
10 ans	157.8 mm	147.4 mm	168.2 mm
20 ans	177.0 mm	161.3 mm	192.7 mm
30 ans	188.5 mm	168.9 mm	208.1 mm
50 ans	203.3 mm	177.9 mm	228.7 mm
100 ans	223.9 mm	188.9 mm	258.9 mm

Seuil d'ajustement : 75.6 mm

Paramètre de forme $k = -0.04$

Paramètre d'échelle = 23.87

VALEURS MAXIMALES DE L'ECHANTILLON TRAITE

Hauteur observée	Date
229.0 mm	21/11/2009
205.8 mm	10/08/2006
169.0 mm	27/10/2000
165.5 mm	12/12/2011
145.1 mm	26/10/2012

* Les statistiques sont établies à partir de valeurs quotidiennes relevées entre 6 heures et 6 heures UTC** (le lendemain)

** heure légale = heure UTC + 1 (hiver) ou heure UTC + 2 (été)

DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 8 jours – Méthode du renouvellement

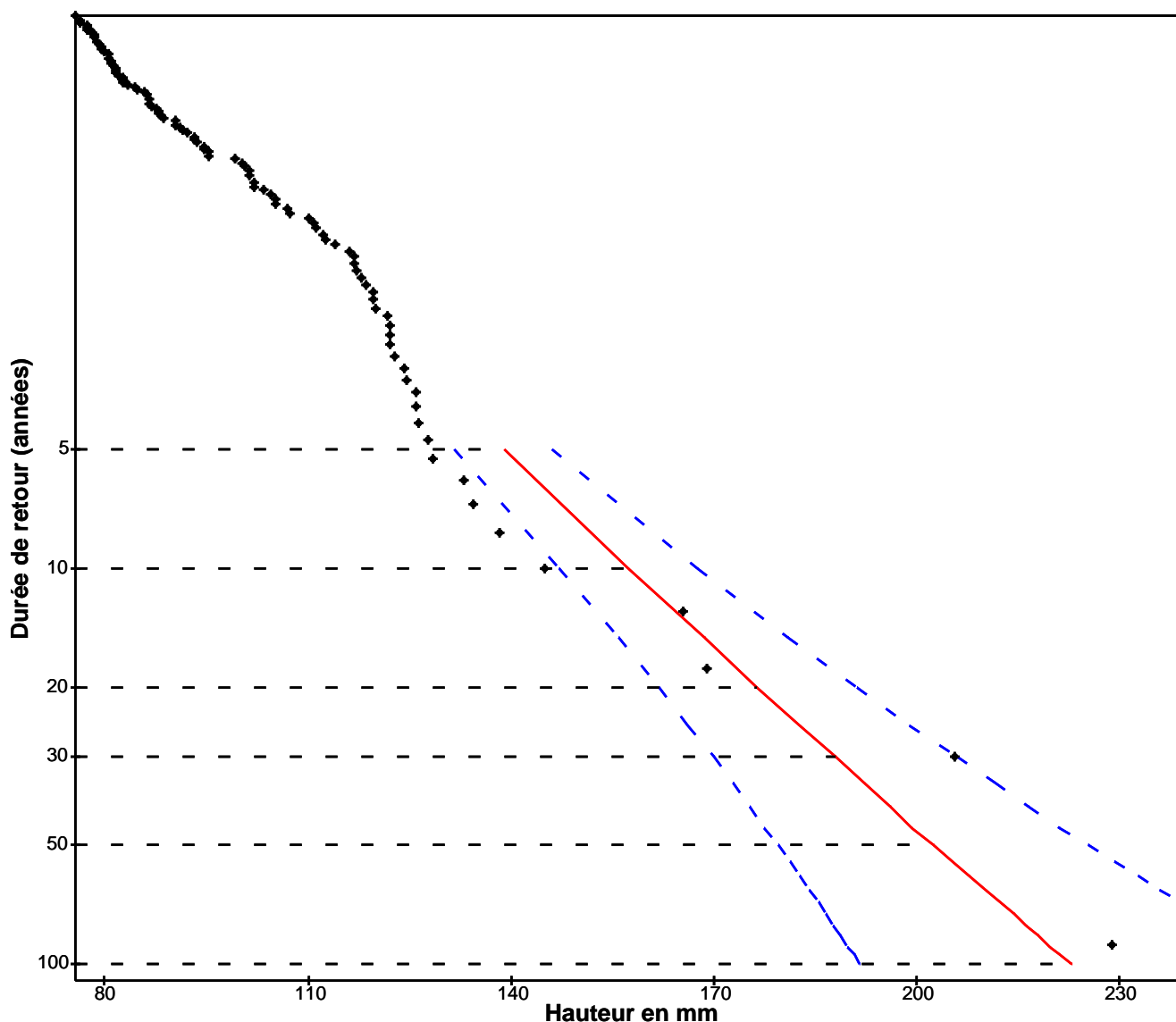
Statistiques sur la période 1968–2012

LICQUES (62)

Indicatif : 62506001, alt : 75 m., lat : 50°47'00"N, lon : 01°56'36"E

GRAPHIQUE D'AJUSTEMENT

La droite donne la hauteur de précipitations estimée pour une durée de retour exprimée en années.
Les observations sont pointées. L'intervalle de confiance à 70 % est représenté en pointillés.



DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 1 jour – Méthode du renouvellement

Statistiques sur la période 1960–2012

WATTEN (59)

Indicatif : 59647001, alt : 7 m., lat : 50°50'00"N, lon : 02°12'48"E

L'échantillon contient 214 valeurs pour 53 années traitées.

- les valeurs de dépassement sont ajustées par **une loi de Pareto généralisée**
- on utilise une expression **asymptotique** pour la prise en compte des nombres annuels de dépassements

Durée de retour	Hauteur estimée	Intervalle de confiance à 70 %	
5 ans	41.9 mm	39.9 mm	43.9 mm
10 ans	47.7 mm	44.7 mm	50.8 mm
20 ans	53.9 mm	49.3 mm	58.5 mm
30 ans	57.7 mm	52.0 mm	63.4 mm
50 ans	62.6 mm	55.3 mm	70.0 mm
100 ans	69.7 mm	59.6 mm	79.7 mm

Seuil d'ajustement : 20.0 mm

Paramètre de forme $k = -0.08$

Paramètre d'échelle = 6.44

VALEURS MAXIMALES DE L'ECHANTILLON TRAITE

Hauteur observée	Date
57.2 mm	29/08/1996
51.6 mm	26/11/2009
50.9 mm	02/07/2009
50.9 mm	27/07/1994
50.0 mm	02/09/1998

* Les statistiques sont établies à partir de valeurs quotidiennes relevées entre 6 heures et 6 heures UTC** (le lendemain)

** heure légale = heure UTC + 1 (hiver) ou heure UTC + 2 (été)

DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 1 jour – Méthode du renouvellement

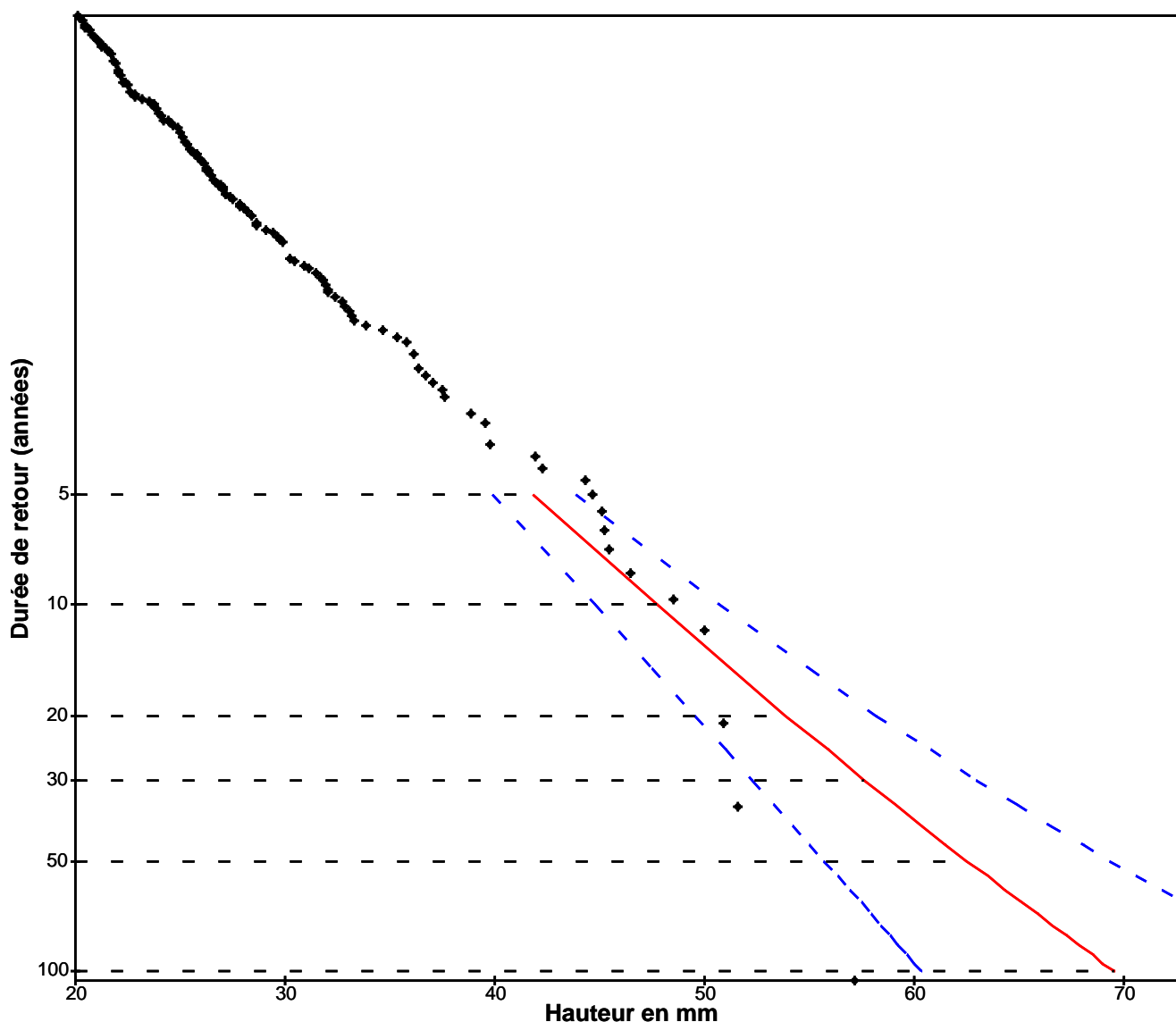
Statistiques sur la période 1960–2012

WATTEN (59)

Indicatif : 59647001, alt : 7 m., lat : 50°50'00"N, lon : 02°12'48"E

GRAPHIQUE D'AJUSTEMENT

La droite donne la hauteur de précipitations estimée pour une durée de retour exprimée en années.
Les observations sont pointées. L'intervalle de confiance à 70 % est représenté en pointillés.



DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 2 jours – Méthode du renouvellement

Statistiques sur la période 1960–2012

WATTEN (59)

Indicatif : 59647001, alt : 7 m., lat : 50°50'00"N, lon : 02°12'48"E

L'échantillon contient 200 valeurs pour 53 années traitées.

- les valeurs de dépassement sont ajustées par **une loi de Pareto généralisée**
- on utilise une expression **asymptotique** pour la prise en compte des nombres annuels de dépassements

Durée de retour	Hauteur estimée	Intervalle de confiance à 70 %	
5 ans	55.9 mm	52.9 mm	58.8 mm
10 ans	64.7 mm	60.0 mm	69.4 mm
20 ans	74.4 mm	67.1 mm	81.7 mm
30 ans	80.6 mm	71.4 mm	89.8 mm
50 ans	88.9 mm	76.8 mm	101.0 mm
100 ans	101.3 mm	84.1 mm	118.4 mm

Seuil d'ajustement : 27.2 mm

Paramètre de forme $k = -0.15$

Paramètre d'échelle = 7.79

VALEURS MAXIMALES DE L'ECHANTILLON TRAITE

Hauteur observée	Date
84.8 mm	26/11/2009
79.1 mm	02/09/1998
76.3 mm	28/08/1996
73.0 mm	04/03/2012
72.7 mm	07/07/1980

* Les statistiques sont établies à partir de valeurs quotidiennes relevées entre 6 heures et 6 heures UTC** (le lendemain)

** heure légale = heure UTC + 1 (hiver) ou heure UTC + 2 (été)

DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 2 jours – Méthode du renouvellement

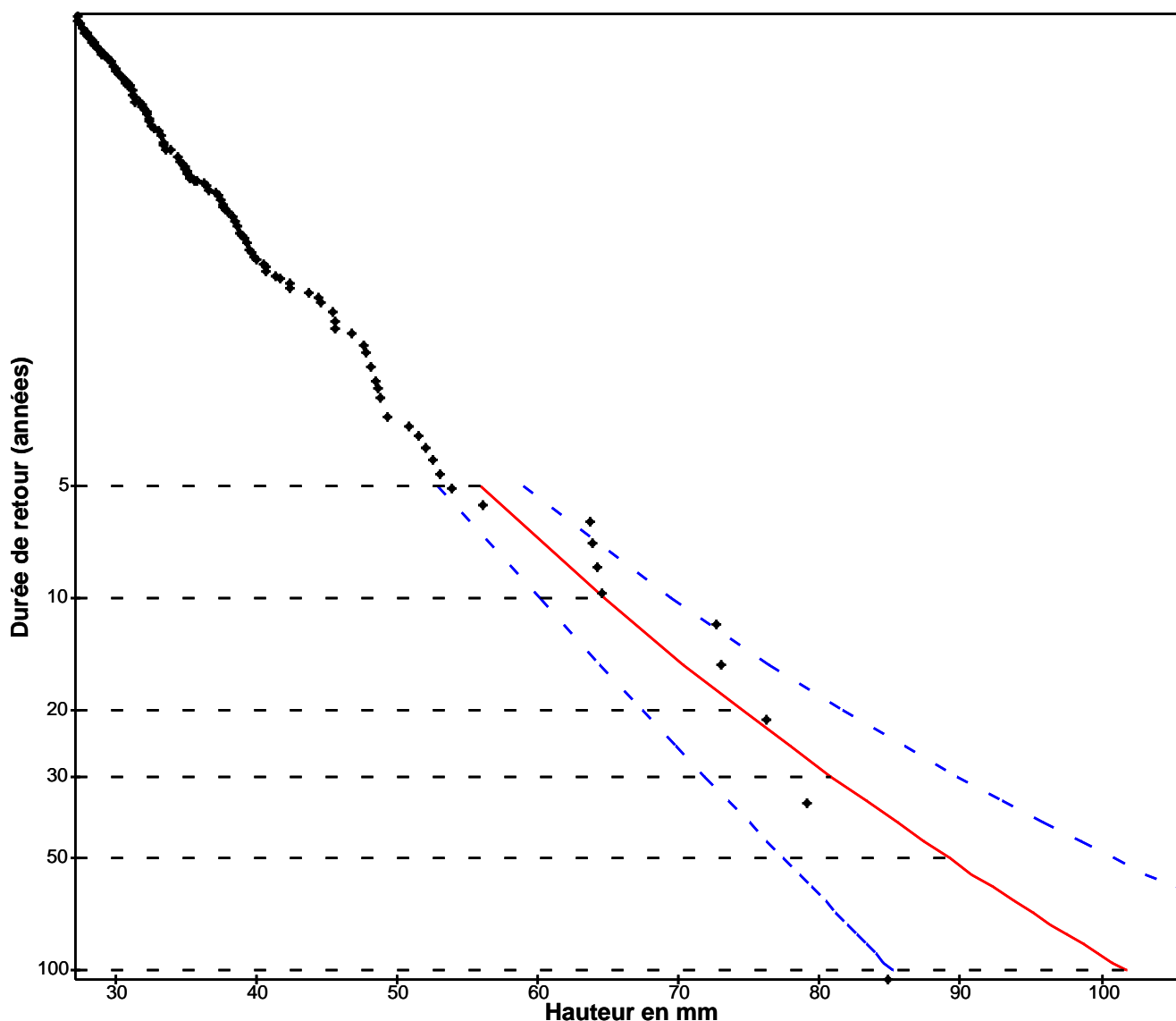
Statistiques sur la période 1960–2012

WATTEN (59)

Indicatif : 59647001, alt : 7 m., lat : 50°50'00"N, lon : 02°12'48"E

GRAPHIQUE D'AJUSTEMENT

La droite donne la hauteur de précipitations estimée pour une durée de retour exprimée en années.
Les observations sont pointées. L'intervalle de confiance à 70 % est représenté en pointillés.



Page 2/2

Edité le : 20/04/2016

N.B. : La vente, redistribution ou rediffusion des informations reçues, en l'état ou sous forme de produits dérivés, est strictement interdite sans l'accord de METEO-FRANCE

DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 4 jours – Méthode du renouvellement

Statistiques sur la période 1960–2012

WATTEN (59)

Indicatif : 59647001, alt : 7 m., lat : 50°50'00"N, lon : 02°12'48"E

L'échantillon contient 144 valeurs pour 53 années traitées.

- les valeurs de dépassement sont ajustées par **une loi de Pareto généralisée**
- on utilise une expression **asymptotique** pour la prise en compte des nombres annuels de dépassements

Durée de retour	Hauteur estimée	Intervalle de confiance à 70 %	
5 ans	73.4 mm	70.3 mm	76.5 mm
10 ans	82.3 mm	77.7 mm	86.9 mm
20 ans	91.2 mm	84.4 mm	97.9 mm
30 ans	96.3 mm	88.0 mm	104.6 mm
50 ans	102.7 mm	92.1 mm	113.2 mm
100 ans	111.3 mm	97.2 mm	125.4 mm

Seuil d'ajustement : 38.7 mm

Paramètre de forme $k = 0.02$

Paramètre d'échelle = 13.59

VALEURS MAXIMALES DE L'ECHANTILLON TRAITE

Hauteur observée	Date
108.7 mm	25/11/2009
98.1 mm	07/07/1980
96.7 mm	02/09/1998
85.5 mm	12/12/2011
82.6 mm	25/06/1981

* Les statistiques sont établies à partir de valeurs quotidiennes relevées entre 6 heures et 6 heures UTC** (le lendemain)

** heure légale = heure UTC + 1 (hiver) ou heure UTC + 2 (été)

DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 4 jours – Méthode du renouvellement

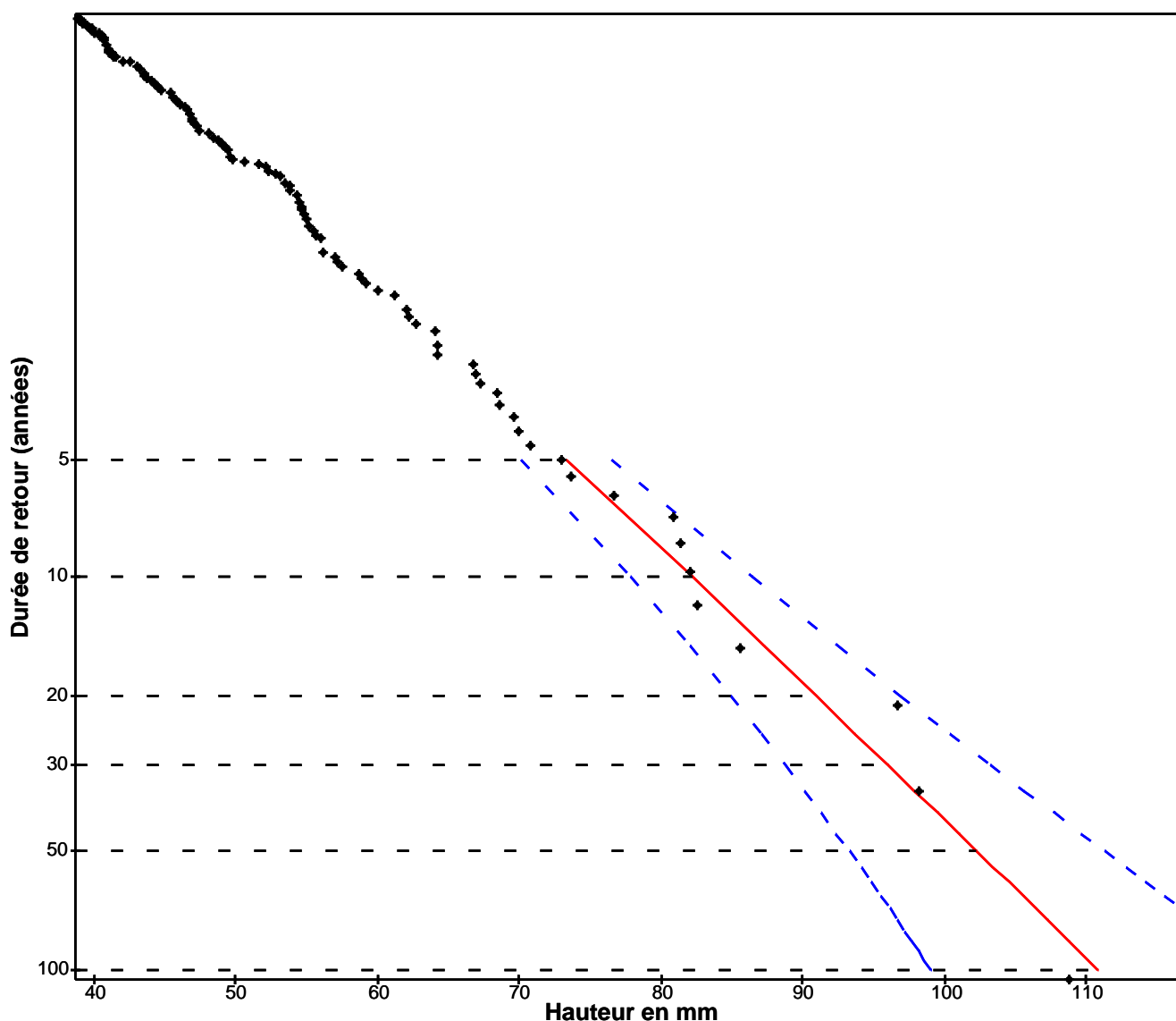
Statistiques sur la période 1960–2012

WATTEN (59)

Indicatif : 59647001, alt : 7 m., lat : 50°50'00"N, lon : 02°12'48"E

GRAPHIQUE D'AJUSTEMENT

La droite donne la hauteur de précipitations estimée pour une durée de retour exprimée en années.
Les observations sont pointées. L'intervalle de confiance à 70 % est représenté en pointillés.



Page 2/2

Edité le : 20/04/2016

N.B. : La vente, redistribution ou rediffusion des informations reçues, en l'état ou sous forme de produits dérivés, est strictement interdite sans l'accord de METEO-FRANCE

DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 8 jours – Méthode du renouvellement

Statistiques sur la période 1960–2012

WATTEN (59)

Indicatif : 59647001, alt : 7 m., lat : 50°50'00"N, lon : 02°12'48"E

L'échantillon contient 157 valeurs pour 53 années traitées.

- les valeurs de dépassement sont ajustées par **une loi de Pareto généralisée**
- on utilise une expression **asymptotique** pour la prise en compte des nombres annuels de dépassements

Durée de retour	Hauteur estimée	Intervalle de confiance à 70 %	
5 ans	97.6 mm	93.4 mm	101.8 mm
10 ans	109.8 mm	103.5 mm	116.2 mm
20 ans	122.2 mm	112.8 mm	131.6 mm
30 ans	129.5 mm	117.9 mm	141.1 mm
50 ans	138.7 mm	123.9 mm	153.5 mm
100 ans	151.4 mm	131.5 mm	171.3 mm

Seuil d'ajustement : 51.2 mm

Paramètre de forme $k = -0.02$

Paramètre d'échelle = 16.86

VALEURS MAXIMALES DE L'ECHANTILLON TRAITE

Hauteur observée	Date
151.6 mm	21/11/2009
120.8 mm	29/10/2000
119.7 mm	06/07/1980
113.8 mm	02/09/1998
109.4 mm	26/10/2012

* Les statistiques sont établies à partir de valeurs quotidiennes relevées entre 6 heures et 6 heures UTC** (le lendemain)

** heure légale = heure UTC + 1 (hiver) ou heure UTC + 2 (été)

DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 8 jours – Méthode du renouvellement

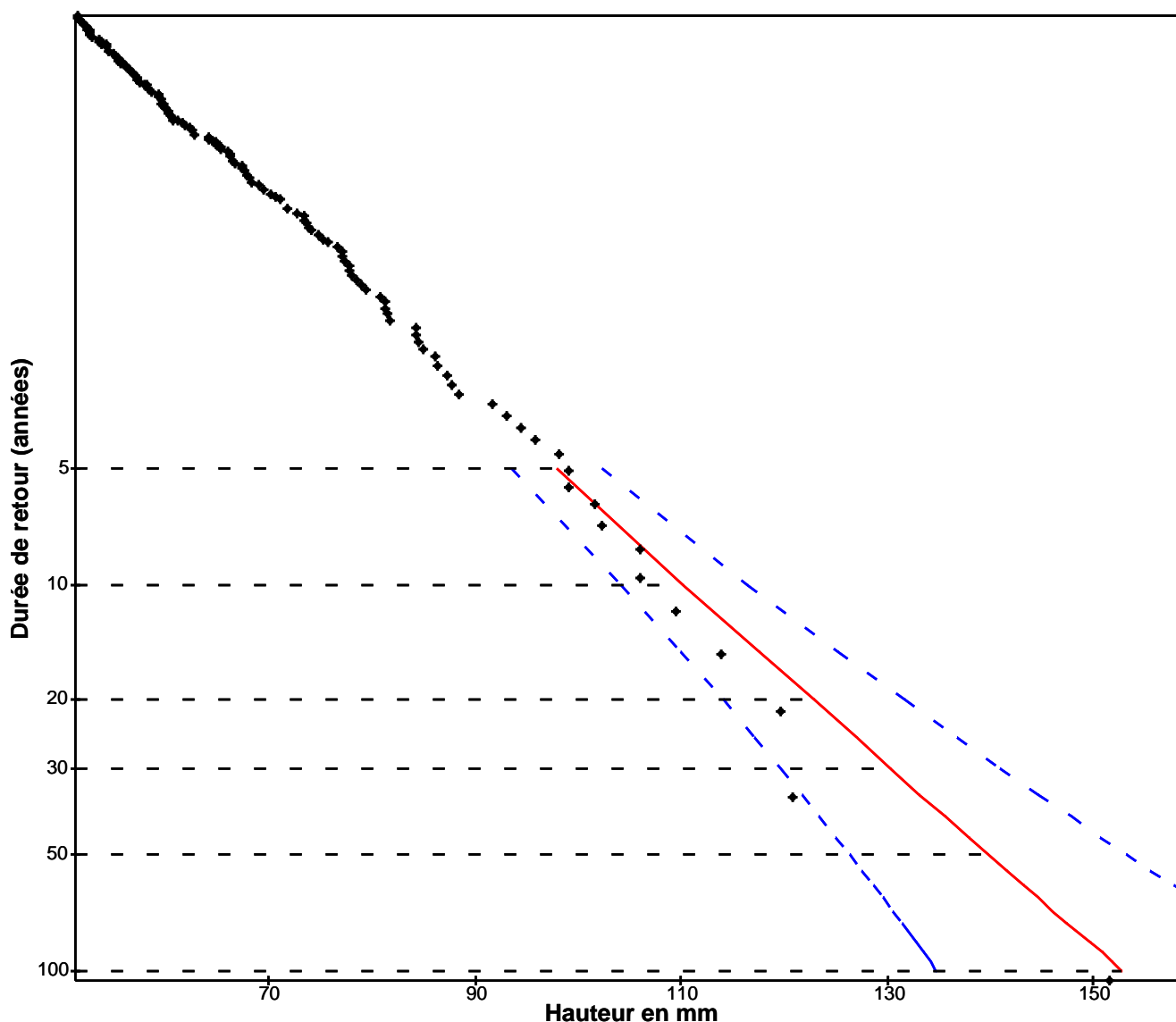
Statistiques sur la période 1960–2012

WATTEN (59)

Indicatif : 59647001, alt : 7 m., lat : 50°50'00"N, lon : 02°12'48"E

GRAPHIQUE D'AJUSTEMENT

La droite donne la hauteur de précipitations estimée pour une durée de retour exprimée en années.
Les observations sont pointées. L'intervalle de confiance à 70 % est représenté en pointillés.



Page 2/2

Edité le : 20/04/2016

N.B. : La vente, redistribution ou rediffusion des informations reçues, en l'état ou sous forme de produits dérivés, est strictement interdite sans l'accord de METEO-FRANCE

Annexe 3 - Fiches événements

Nature du désordre : Débordement, ruissellement

- Nombre d'informations propres à l'événement : 39
- Nombre d'informations géolocalisées : 12
- Dont repères de crue : 1
- Dont témoignages ponctuels : 2
- Dont informations à la rue ou au quartier : 9

MARAIS DE GUINES

Une digue pour contrer la rivière

La montée des eaux de la rivière Neuve menaçait hier le Marais de Guines. Pour préserver les habitations, on a procédé à l'installation d'une digue, à l'extrémité du premier banc.



Les deux premiers pontons...
C'est la première Neuve...
Après les travaux, le...
Le chantier de la digue...

La rue de la Plate rivière victime des pluies incessantes et d'un réseau défaillant

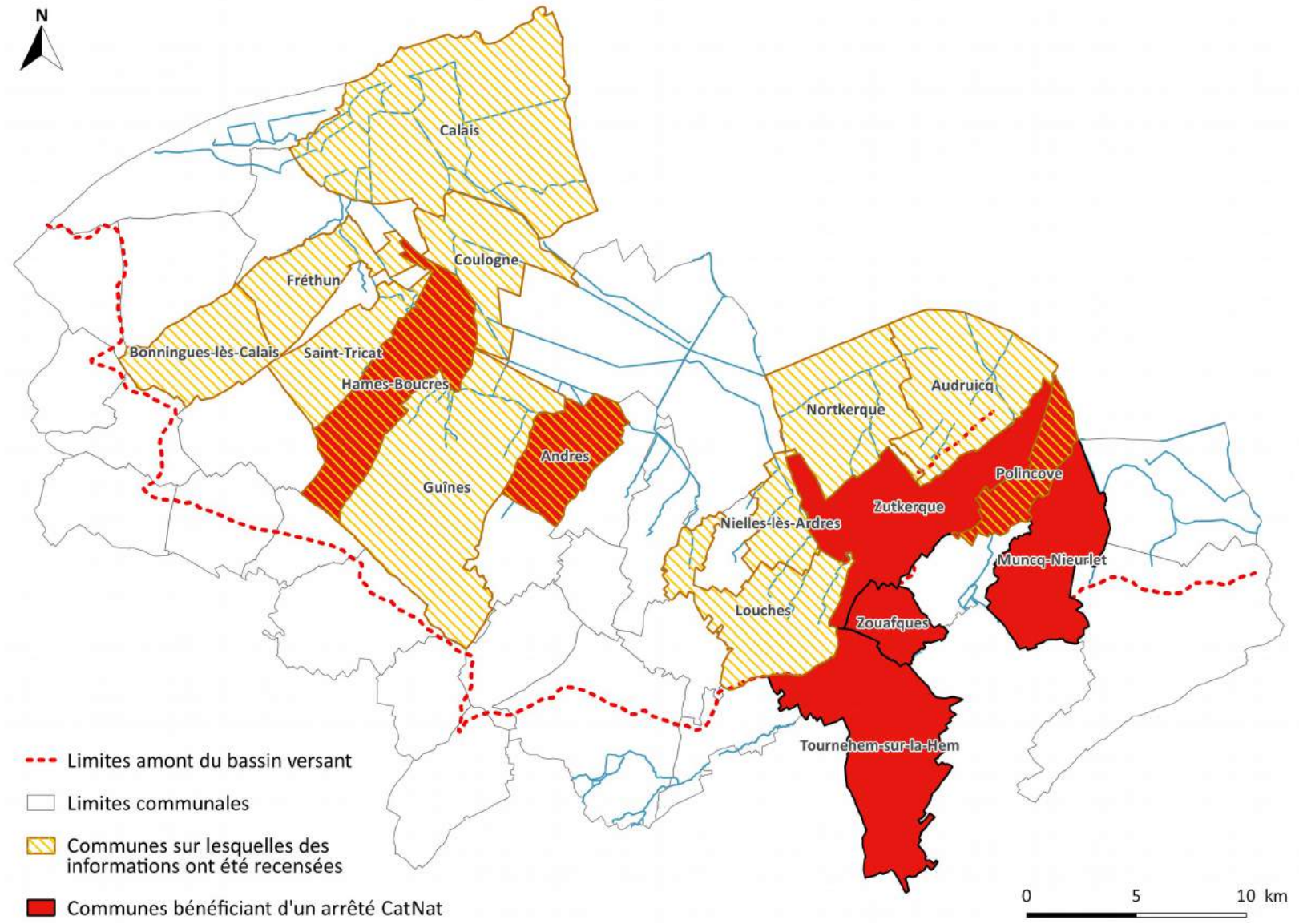
Ce jardin qui plaît tant aux canards...



Balux le samedi, il est plus ou moins facile d'accéder aux trains à Fréthun.

Un jardinier...
Pour les visiteurs, le...
Après les travaux, le...
Le chantier de la digue...

Cartographie des communes touchées par l'événement



Au début du mois de novembre 2000, une inondation couplant phénomènes de débordement et de ruissellement s'est abattue sur le territoire d'étude. Plusieurs communes ont été déclarées en catastrophe naturelle, dont principalement celles soumises au débordement de la Hem, phénomène non pris en compte au sein de la présente étude. Néanmoins, la cartographie ci-dessus montre que plus d'une dizaine de communes non concernées par la Hem, ont également été inondées. Deux d'entre elles ont d'ailleurs fait l'objet d'une déclaration en catastrophe naturelle, à savoir, Andres et Hames-Boucres.

Bien que certaines habitations ont été envahies par les eaux, on ne relève pas de hauteurs d'eau significatives au niveau des premiers planchers habitables de ces dernières, hormis à Andres où « dans de nombreuses maisons, l'eau a atteint plus de 20 cm de hauteur ». La rue de la Plate Rivière a par ailleurs été recouverte par plus de 50 cm d'eau, d'après les articles de presse de l'époque.

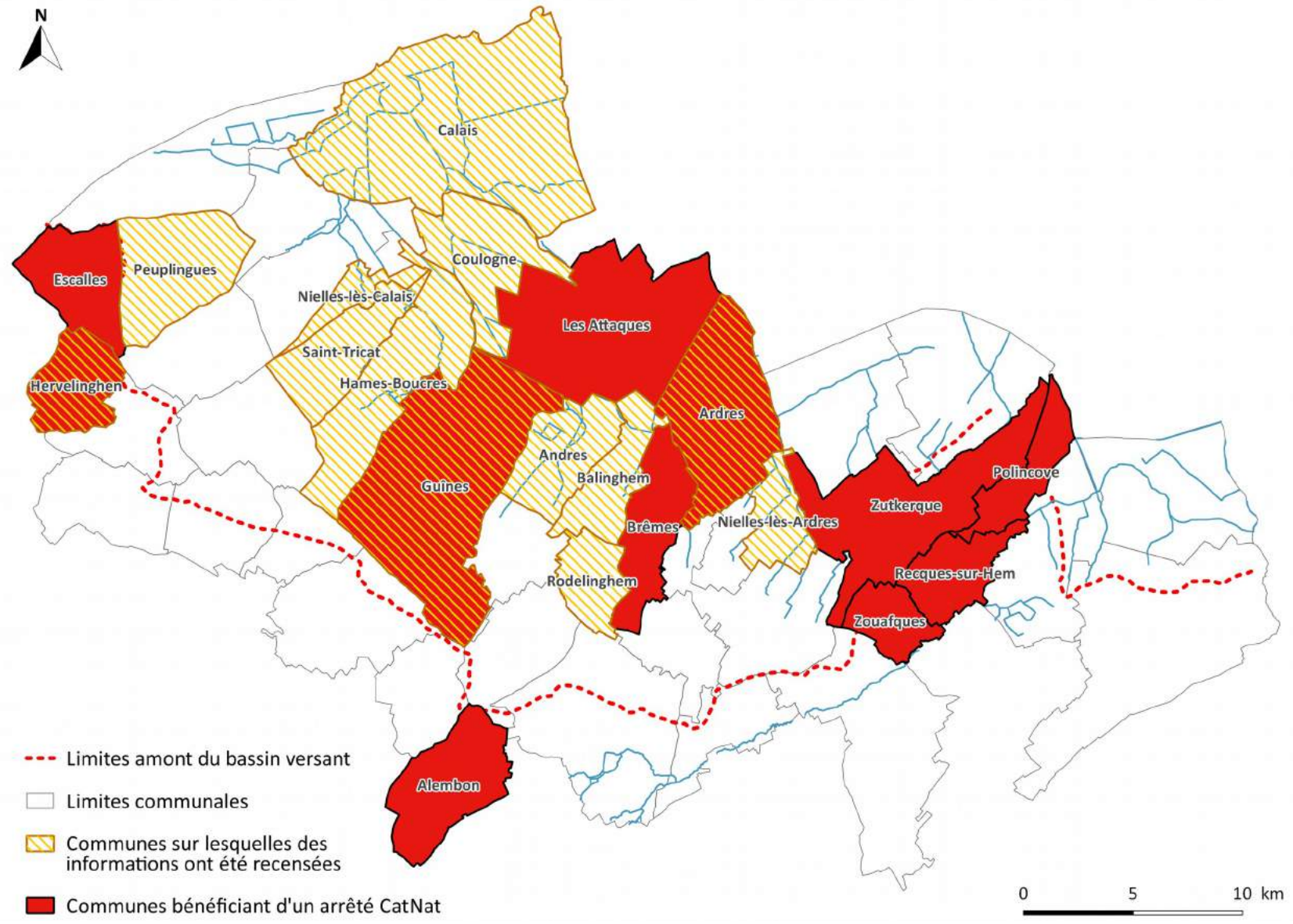
Plusieurs rues ont été inondées, notamment à Fréthun où la route départementale 215 permettant de relier la gare a été coupée. Cependant, les informations collectées quant à l'inondation du 1^{er} novembre 2000, laissent à penser que l'inondation a eu des conséquences sur l'ensemble du territoire d'étude mais avec une intensité modérée, sauf peut-être à Andres où l'ampleur du phénomène pourrait être expliquée en partie par le sous-dimensionnement des collecteurs de la rue Lannoy, selon une riveraine. Enfin, notons que le Creusin a débordé à Hames-Boucres engendrant également des dommages.

Nature du désordre : Débordement, ruissellement

Nombre d'informations propres à l'événement : 33
 Nombre d'informations géolocalisées : 12
 Dont repères de crue : 1
 Dont témoignages ponctuels : 2
 Dont informations à la rue ou au quartier : 9



Cartographie des communes touchées par l'événement



Une seconde inondation s'est produite au cours du mois de novembre 2000, d'une intensité plus importante que celle du 1^{er}. Concernant les phénomènes étudiés au sein de la présente étude (hors débordement de la Hem), six communes ont été déclarées en catastrophe naturelle et des informations ont été collectées pour près d'une quinzaine d'entre elles.

Plusieurs habitations ont été envahies par les eaux au niveau des premiers planchers habitables, notamment à Ardres, rue de la Rivière ; à Ardres, rue du Canal ; à Guînes, rue Aristide Briand ; à Hames-Boucres, rue de Hames, rue des Sources, route de Guînes et rue de Leulingue ; à Peuplingues, au lotissement des Trois-Cheminées ; ou encore à Rodelinghem, rue des Berceaux. Par ailleurs, des rues ont été inondées un peu partout au sein du territoire d'étude.

Enfin, on note qu'à Calais « quelques salles de classe de l'école Malherbe, boulevard Victor Hugo, ont dû être nettoyées » suite à cet événement.

Début de l'événement : Novembre 2000

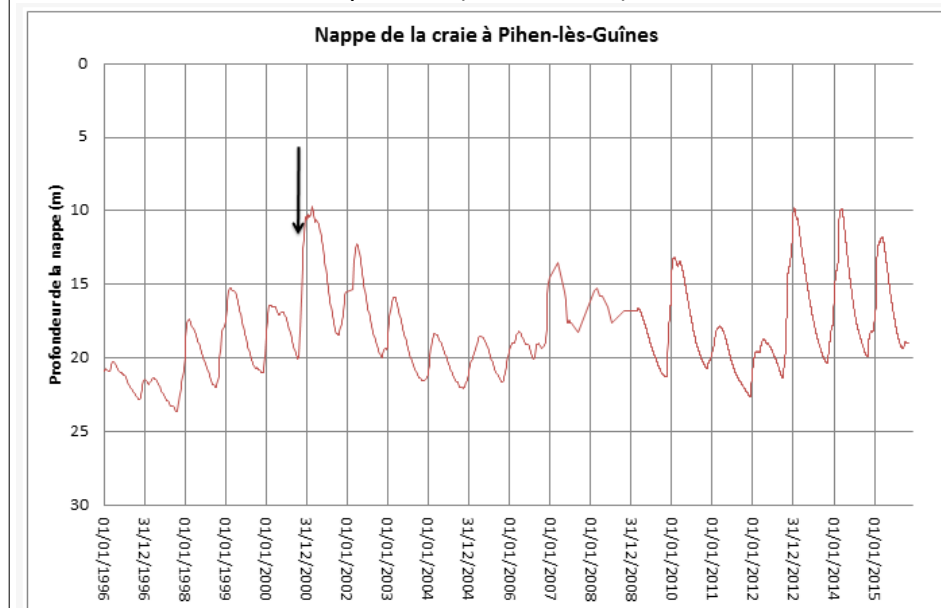
Contexte pluviométrique

Les figures ci-contre comparent les cumuls de précipitations mensuels mesurés entre août 2000 et novembre 2000, aux valeurs normales mensuelles calculées sur la période 1966-2015.

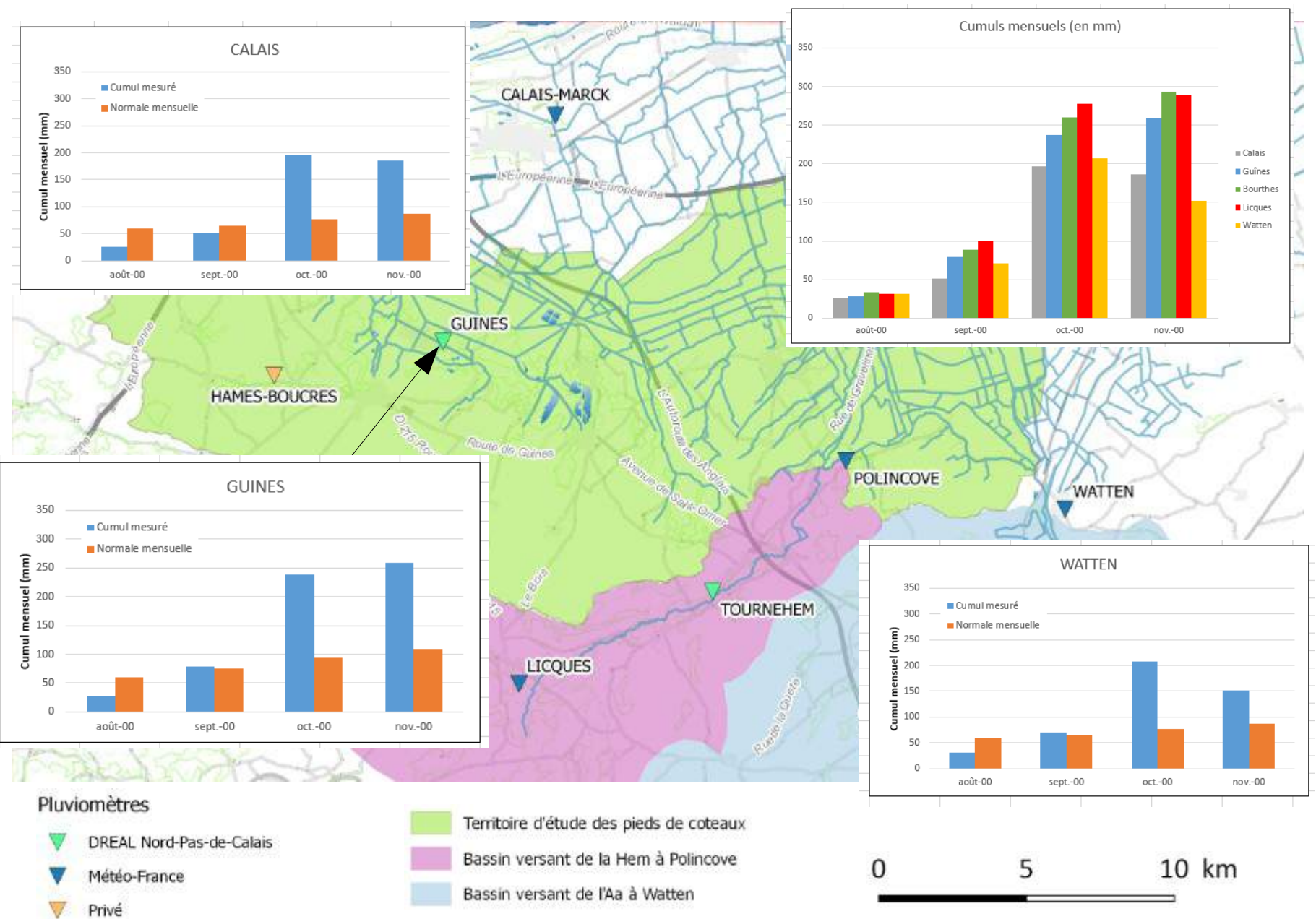
Les mois d'août et de septembre 2000 sont proches des normales alors que le mois d'octobre est très arrosé, avec des cumuls 2 à 3 fois plus importants que les moyennes mensuelles. Cet écart supérieur à la moyenne est généralisé sur les pieds de coteaux, y compris sur la Hem (Licques) et l'Aa (Bourthes).

Contexte piézométrique

La figure ci-dessous présente l'évolution du niveau de la nappe de la craie à Pihen-lès-Guînes de 1996 à aujourd'hui et situe l'événement de novembre 2000 sur cette période (flèche noire).



L'évolution montre que ces épisodes de novembre 2000 se situent dans une période où les niveaux de nappe sont bas, les épisodes faisant monter brusquement le niveau de 20 à 14 m de profondeur.



Début de l'événement : Novembre 2000

Contexte pluviométrique autour de l'événement

Les figures ci-contre présentent :

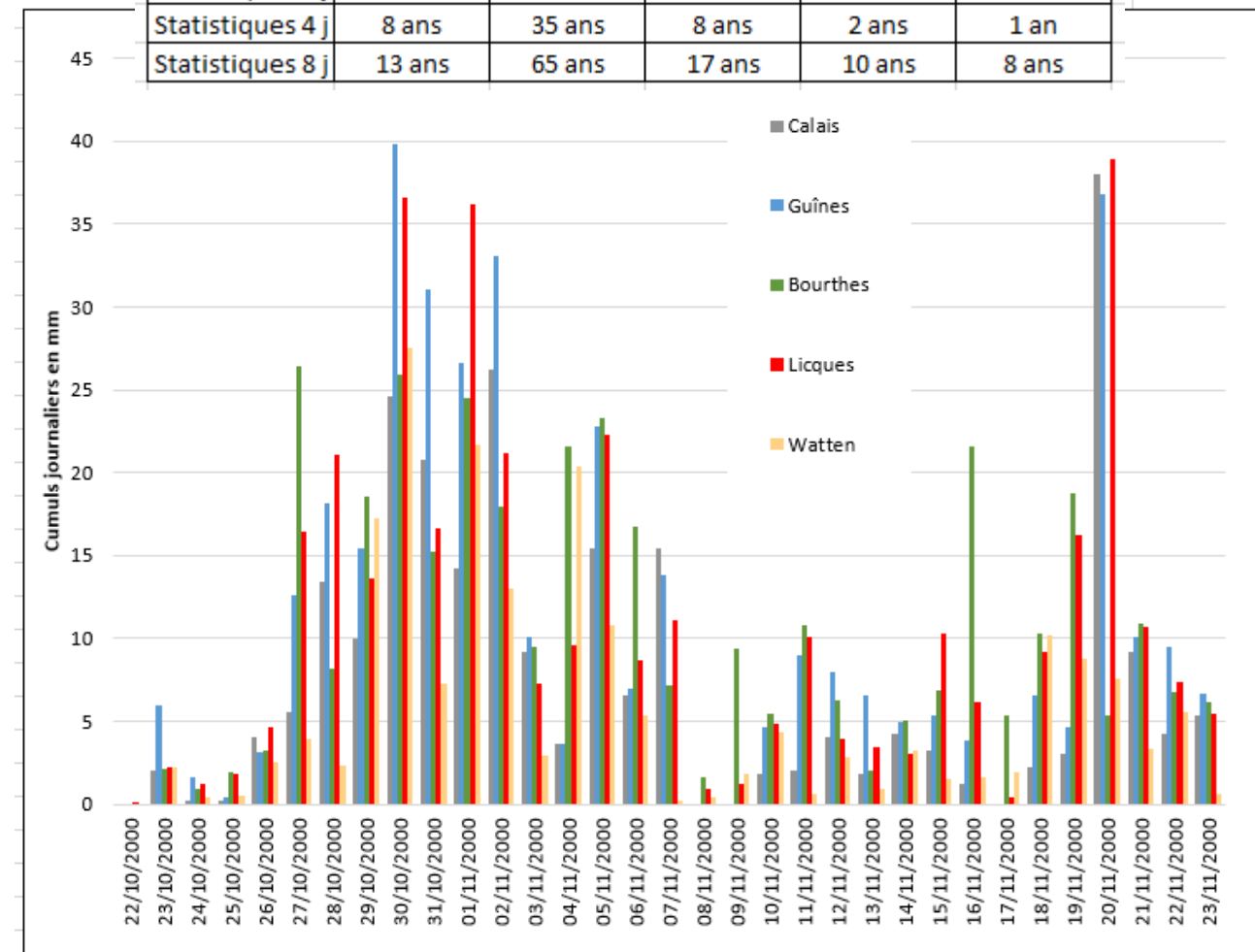
- les cumuls maximaux de pluie mesurés sur 1 j / 2 j / 4 j et 8 j calculés à partir des données journalières Météo-France (stations de Calais, Licques et Watten) et DREAL (statistiques 1 j seulement pour les stations de Bourthes) ;
- les cumuls journaliers des stations de Calais, Guînes, Licques, Watten et Bourthes entre le 19 et le 30 novembre 2009.

Les données montrent un premier épisode de pluie, du 27 octobre au 3 novembre, avec des cumuls importants du 30 octobre au 2 novembre. Il concerne principalement le territoire des pieds de coteaux. Les cumuls journaliers sont compris entre 20 et 40 mm. Un deuxième épisode pluvieux, le 20 novembre, survient seulement une quinzaine de jours plus tard, sachant que des pluies faibles continues séparent ces deux épisodes.

Pour le premier épisode, les cumuls sur 4 jours et 8 jours ont des périodes de retour de 13 à 65 ans sur les pieds de coteaux. En revanche, le second épisode a une période de retour fréquente (1 an) sur 1 jour..

Les cumuls importants de la fin octobre-début novembre, associés au mois déjà excédentaire d'octobre 2000, sont à l'origine de ces inondations. Le deuxième épisode arrive peu de temps après, sur une plaine complètement saturée, provoquant des nouveaux débordements malgré des cumuls plutôt faibles.

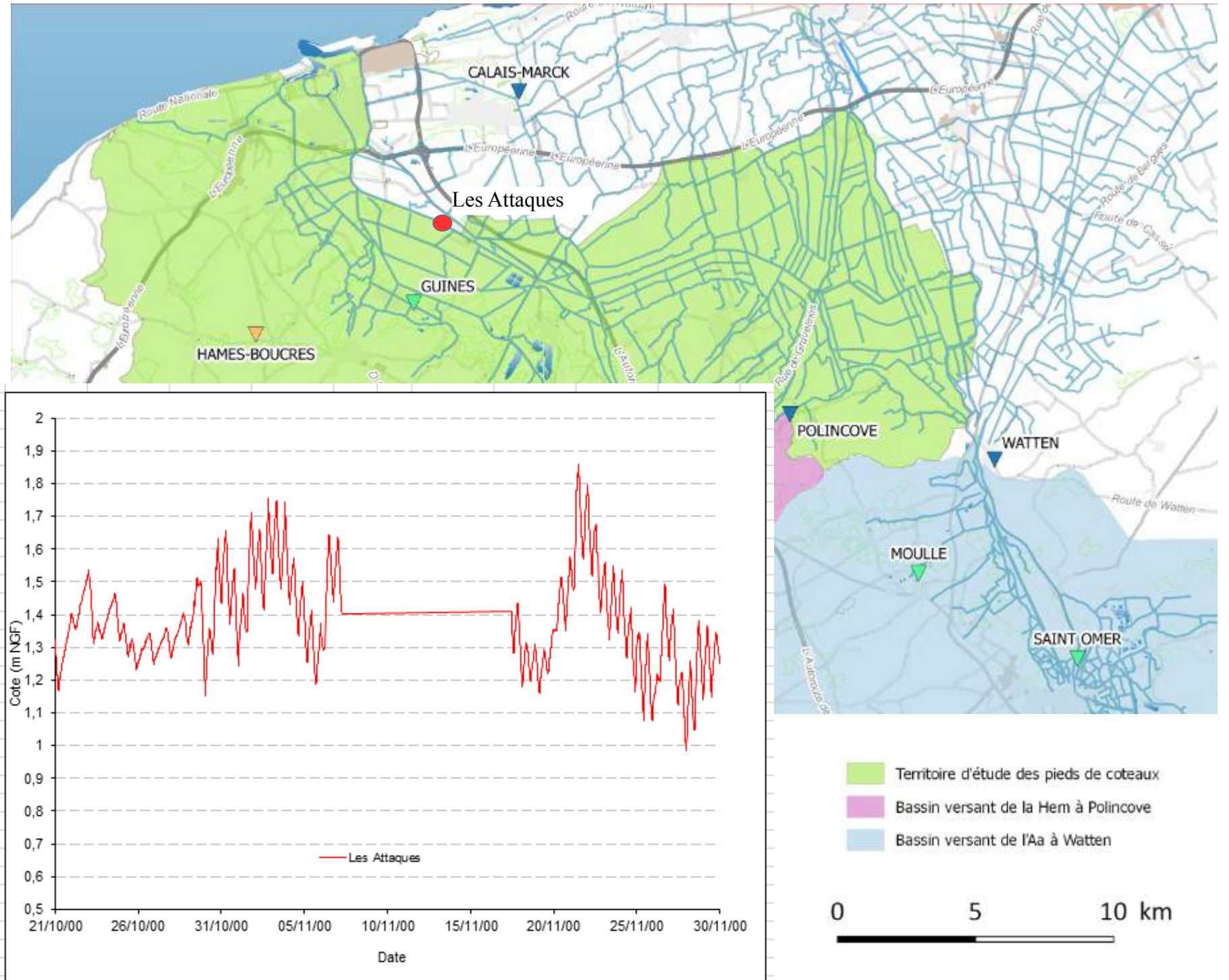
Cumul (mm)	Calais	Guînes	Licques	Watten	Bourthes
27/10/2000	5,6	12,6	16,4	3,9	26,4
28/10/2000	13,4	18,2	21,1	2,3	8,2
29/10/2000	10	15,4	13,6	17,2	18,6
30/10/2000	24,6	39,8	36,6	27,5	25,9
31/10/2000	20,8	31	16,6	7,3	15,2
01/11/2000	14,2	26,6	36,2	21,7	24,5
02/11/2000	26,2	33,1	21,2	13	18
03/11/2000	9,2	10,1	7,3	2,9	9,5
Statistiques 1 j	< 1 an	1 an	< 1 an	2 ans	< 1 an
Statistiques 2 j	4 ans	8 ans	1 an	5 ans	< 1 an
Statistiques 4 j	8 ans	35 ans	8 ans	2 ans	1 an
Statistiques 8 j	13 ans	65 ans	17 ans	10 ans	8 ans



Dynamique de crue

La figure ci-contre montre l'évolution de la cote du canal de Calais à la station des Attaques en fonction des cumuls pluviométriques à la station de Calais.

Le canal de Calais réagit au premier épisode de pluie de fin octobre-début novembre et son niveau atteint à 1,72 m NGF. Le deuxième épisode fait nettement faire réagir le canal de Calais, avec une cote maximum de 1,86 m NGF.



Début de l'événement : Août 2006

Nature du désordre : Ruissellement

Nombre d'informations propres à l'événement : 260

Nombre d'informations géolocalisées : 146

Dont repères de crue : 38

Dont témoignages ponctuels : 35

Dont informations à la rue ou au quartier : 73

94,8mm d'eau tombé ce week-end Il a plu l'équivalent d'un mois et demi en deux jours

Lors d'un mois d'août que l'on qualifie de "calvaire", il tombe sur Calais l'équivalent de 60 à 70 millimètres d'eau. Cela permet de mieux appréhender l'ampleur des pluies qui sont tombées entre vendredi soir et dimanche matin : 94,8 millimètres. Soit l'équivalent en deux jours d'un mois et demi de précipitation...

Une double dépression

Puis il est tombé en vingt quatre heures, de samedi midi à dimanche midi, 60 millimètres. Un phénomène qui a été localisé puisque sur Boulogne, sur l'ensemble du week-end, il est tombé 24mm d'eau tandis que 38mm sont arrivés sur Dunkerque. Le niveau alarme atteint de niveau d'alerte sur 4, à dans des secteurs respectifs.



Une double dépression... Du côté de Metz France, on explique ce phénomène par la présence d'une "double" précipitation. « Depuis plusieurs jours, il existe un grand centre dépressionnaire entre l'Allemagne et les Pays-Bas. Au niveau local, une

René Lotte n'a pas arrêté deux jours. Sur le pied de guerre dès deux heures du matin, dimanche, le premier adjoint de la commune a parié sur plus creusé. La coulée de boue a été soudaine semble-t-il ?



L'eau a recouvert la borne, explique René Lotte. Ce qui n'est pas ce week-end.

L'imprimerie de Balinghem inondée en une demi-heure Cache sous les eaux

Dimanche matin aux alentours de 08h30, Thierry Cache, gérant de l'imprimerie du même nom localisée à Balinghem, s'inquiète de la pluie qui tombe à torrents. Il va vérifier que dans l'imprimerie tout est bien fermé pour éviter les rentrées d'eau. Malheureusement ces précautions ne seront pas suffisantes. Une demi-heure plus tard, il y avait vingt-cinq centimètres d'eau sur la route départementale tandis que 50 centimètres d'eau et de boue envahissent les deux bâtiments de l'entreprise.



70 employés en chômage technique

« En un quart d'heure, il est tombé 50 centimètres d'eau. Les tapis des machines, les moteurs, tout était dans l'eau. C'est réparabile, bien sûr mais il faut tout changer. C'est réparabile mais on n'a pas les trois rotatives sont défectueuses, et quand on voit une machine comme

L'imprimerie Cache sous l'eau. Les tapis des machines, les moteurs, tout était dans l'eau. C'est réparabile, bien sûr mais il faut tout changer. C'est réparabile mais on n'a pas les trois rotatives sont défectueuses, et quand on voit une machine comme

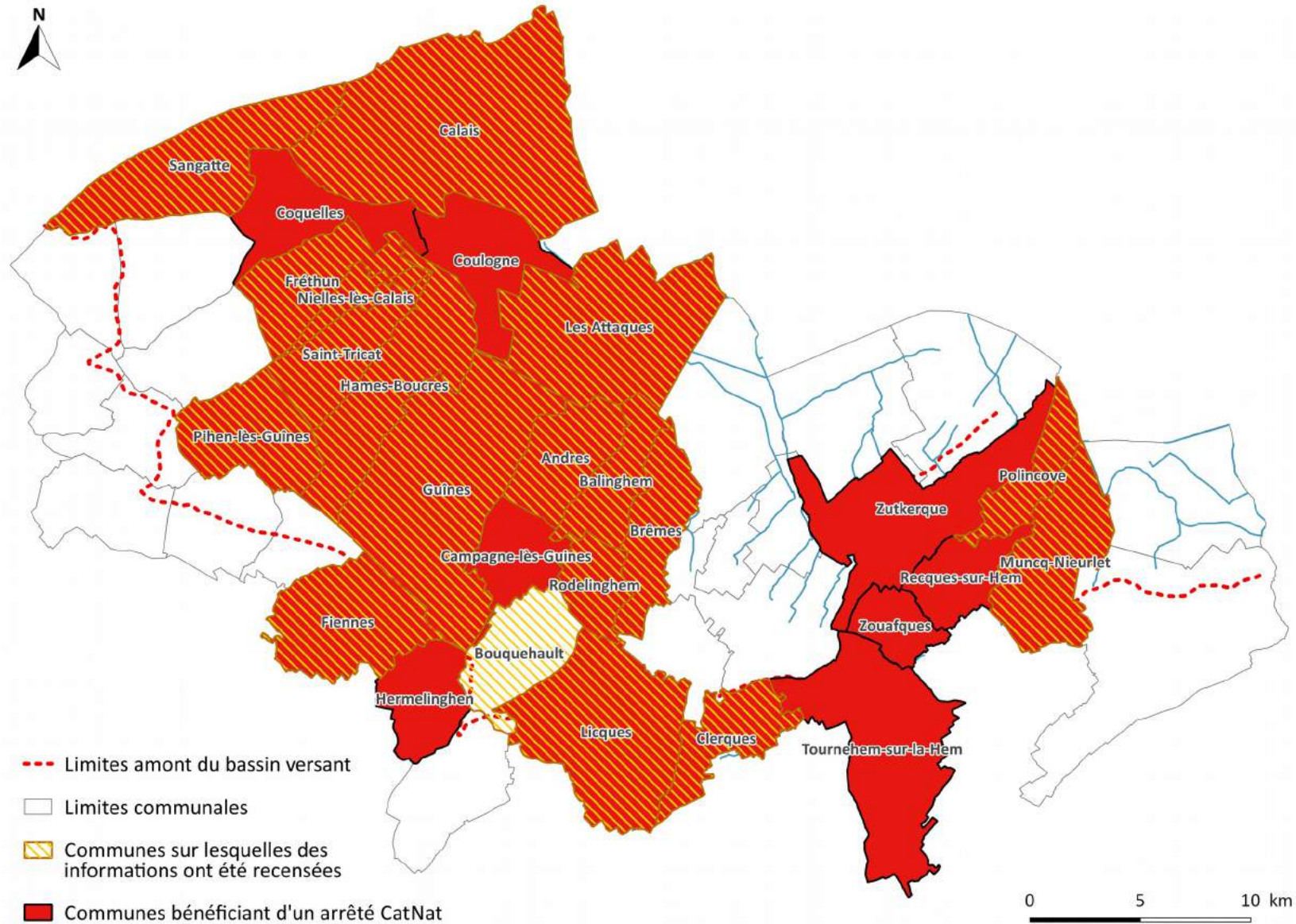
tion va être considérée comme une catastrophe naturelle, dans ce cas tous les dégâts sont couverts et remboursés, mais pour l'instant on attend l'arrêt du pré-

Rose-Marie Guillemant maire d'Andres «Nous avons été surpris»

Andres fait partie des communes du triangle des Trois-Pays, les plus inondées par les inondations. Si la municipalité n'a pas encore pu recenser tous les sinistrés, Christian Thiébaud, adjoint au maire, annonce 100 logements et 500 personnes touchés. Les dégâts sont en partie liés à des pluies de 90 mm d'eau. Le maire est en déplacement pour les services municipaux. La ville est à l'abandon. Les habitants sont évacués. Les dégâts sont très importants. Les dégâts sont très importants. Les dégâts sont très importants.

Pour le directeur, Thierry Cache, cette surprise est difficile. Il est débordé par l'ampleur de la tâche. Dans cette usine, même les bureaux sont dévastés par la boue.

Cartographie des communes touchées par l'événement



L'événement d'août 2006 et de loin le plus significatif ayant été relevé au sein du territoire des pieds de coteaux des Wateringues, en témoigne l'importance du nombre d'informations collectées, et le nombre de communes déclarées en catastrophe naturelle à cette occasion. Les dommages ont été très importants, avec plusieurs dizaines d'habitations inondées au niveau des premiers planchers habitables dans de nombreuses communes, dont à titre d'exemple à Andres où « l'eau est montée à une hauteur d'un mètre dans certaines habitations » ; à Hames-Boucres où « une cinquantaine de maisons ont été inondées, une dizaine de familles évacuées » ; à Guînes, où plusieurs habitants ont déclaré des dégâts au sein de leurs habitations ; à Saint-Tricat où on a relevé des maisons inondées au quartier du Petit Marais ; etc.

L'imprimerie Cache, située à Balinghem, a enregistré à elle-seule plusieurs millions d'euros de dommages de par l'inondation des machines, ainsi que la mise au chômage technique des employés.

Enfin, notons que les dégâts aux cultures ont été considérables, notamment à Rodelinghem.

Début de l'événement : Août 2006

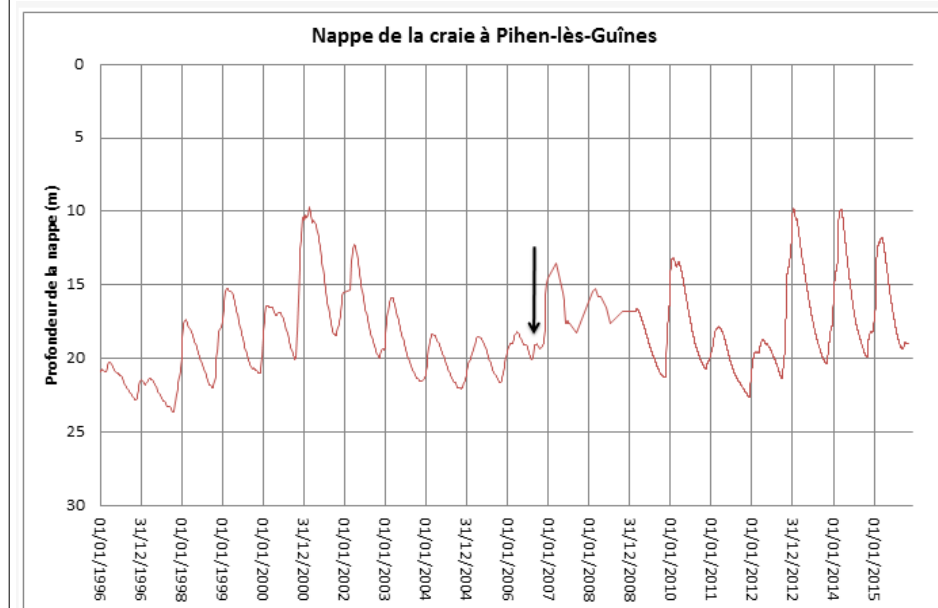
Contexte pluviométrique

Les figures ci-contre comparent les cumuls de précipitations mensuels mesurés entre mai et août 2006 (du 1^{er} au 11), aux valeurs normales mensuelles calculées sur la période 1966-2015.

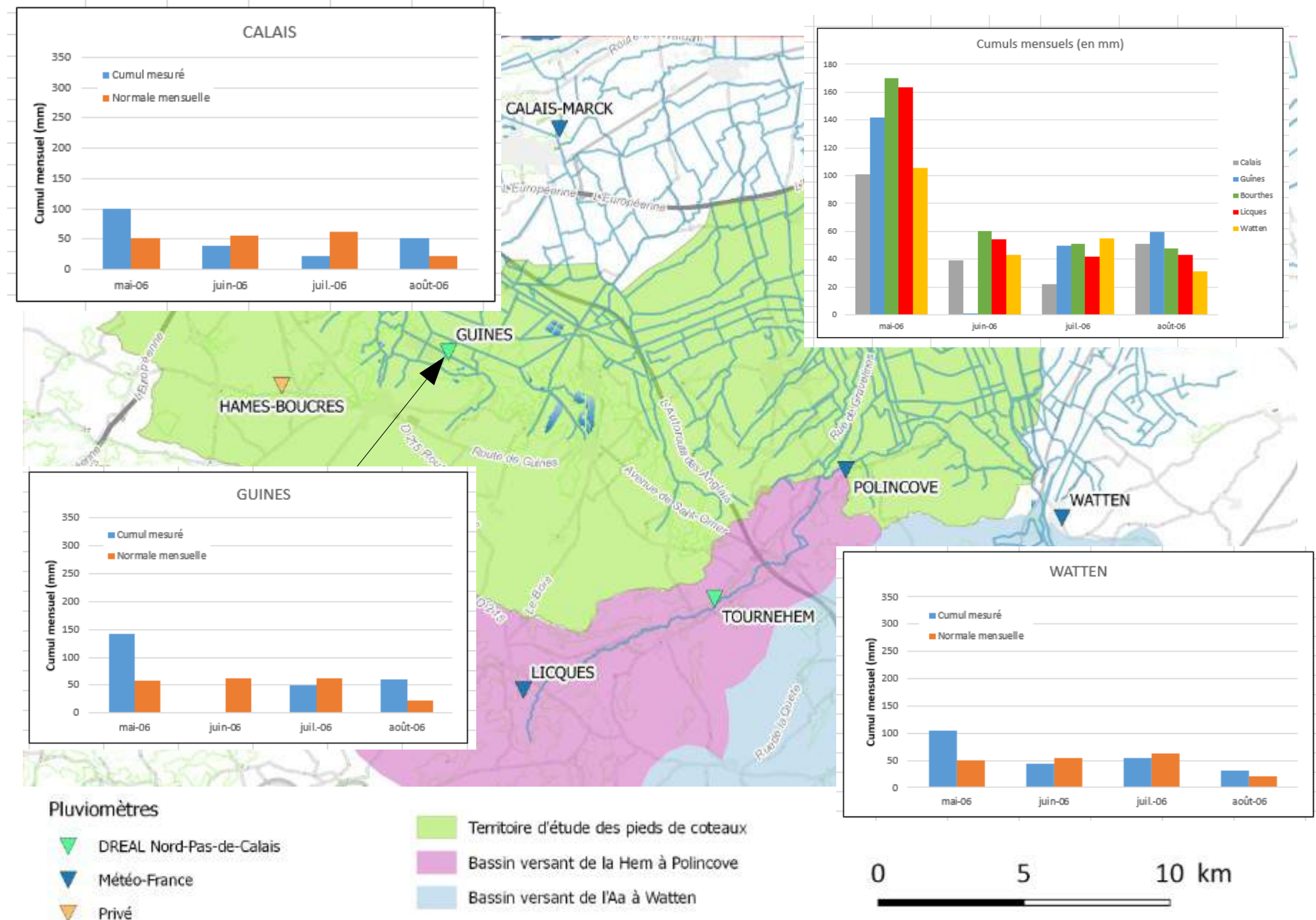
Le cumul du mois de mai 2006 est 2 fois plus important que la normale mensuelle alors que les mois de juin et juillet sont très secs. Cette tendance est la même sur tous les pluviomètres.

Contexte piézométrique

La figure ci-dessous présente l'évolution du niveau de la nappe de la craie à Pihen-lès-Guînes de 1996 à aujourd'hui et situe l'événement d'août 2006 sur cette période (flèche noire).



L'évolution montre que cet épisode se situe dans une période où les niveaux de nappe sont bas, avec un niveau de nappe autour de 20 m de profondeur lors de l'événement.



Début de l'événement : Août 2006

Contexte pluviométrique autour de l'événement

Les figures ci-contre présentent :

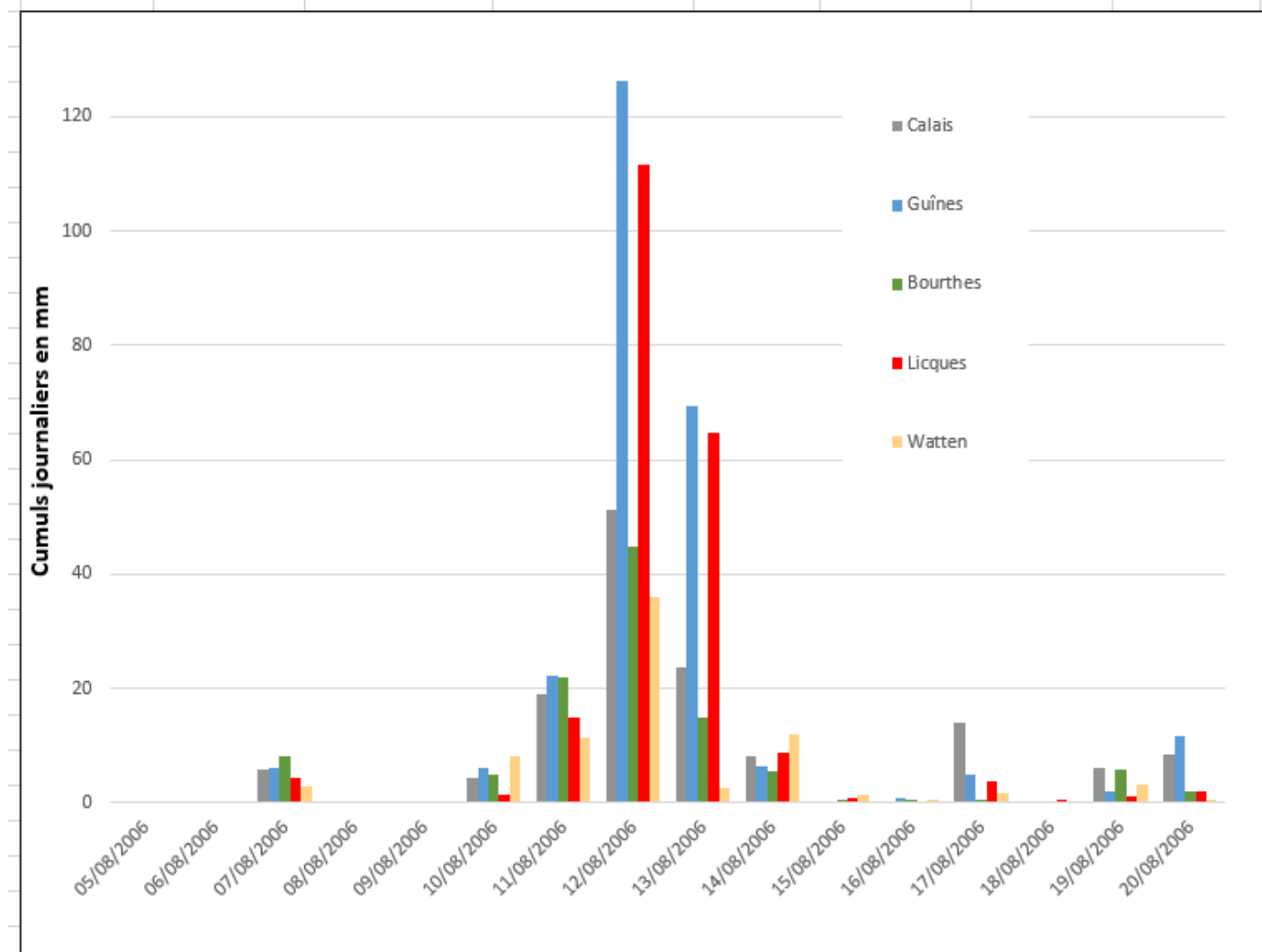
- les cumuls maximaux de pluie mesurés sur 1 j calculés à partir des données journalières Météo-France (stations de Calais, Licques et Watten) et DREAL (statistiques 1 j seulement pour les stations de Bourthes) ;
- les cumuls journaliers des stations de Calais, Guînes, Licques, Watten et Bourthes entre le 5 et le 20 août 2006 ;
- les périodes de retour pour des cumuls sur 3h et 12h à partir des statistiques de la station de Calais.

Les données montrent des cumuls journaliers très importants le 12 et le 13 août, à Guînes et Licques. Les images RADAR en dernière page montrent une bande orageuse de 8 km de large sur un axe Calais-Guînes-Licques. Les cumuls correspondent à trois épisodes successifs de 4 à 6h, avec un dernier épisode très intense le 13 août au matin (cumuls sur 3-4h correspondants aux cumuls journaliers du 13 août). Les cumuls totaux vont de 75 mm à Calais à presque 200 mm à Guînes, avec 65 à 70 mm en 3-4h sur Guînes et Licques.

Les cumuls sur 3h, 12h, 1j et 2j ont des périodes de retour très rares, supérieures à 100 ans sur Guînes et la Hem. A Calais, les périodes de retour sont supérieures à 100 ans sur 12h et de 25-30 ans sur 1j et 2j. En revanche, ces mêmes cumuls sur l'Aa à l'amont de Watten ont des périodes de retour de l'ordre de 2-3 ans.

Les cumuls très importants sur quelques heures le 13 août au matin, et plus globalement sur 18h, à Guînes et Licques, dans une moindre mesure à Calais, sont à l'origine de cet événement exceptionnel.

Cumul (mm)	Calais	Guînes	Licques	Watten	Bourthes
11/08/2006	18,9	22,3	14,9	11,5	21,9
12/08/2006	51,1	126,2	111,5	36,1	44,7
13/08/2006	23,8	69,3	64,6	2,6	15
Statistiques 3h	1 an	>100 ans	>100 ans		
Statistiques 12h	>100 ans	>100 ans	>100 ans		
Statistiques 1 j	30 ans	>100 ans	>100 ans	2 ans	3 ans
Statistiques 2 j	25 ans	>100 ans	>100 ans	1 an	2 ans



Début de l'événement : Août 2006

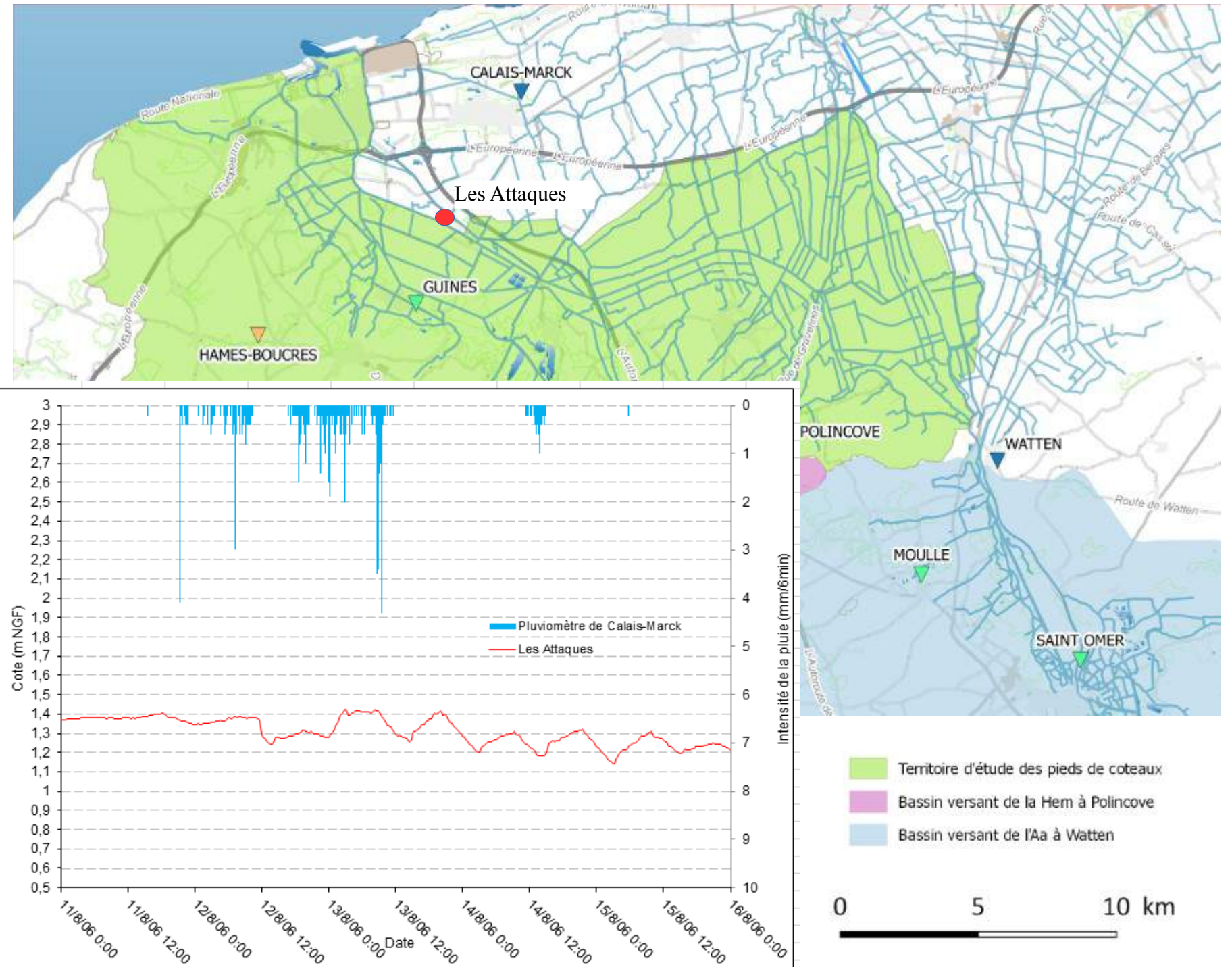
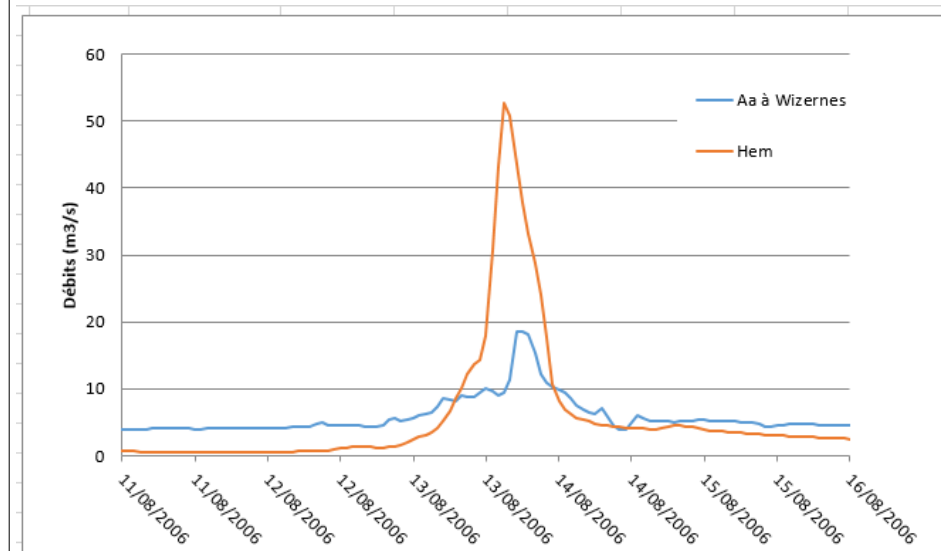
Dynamique de crue

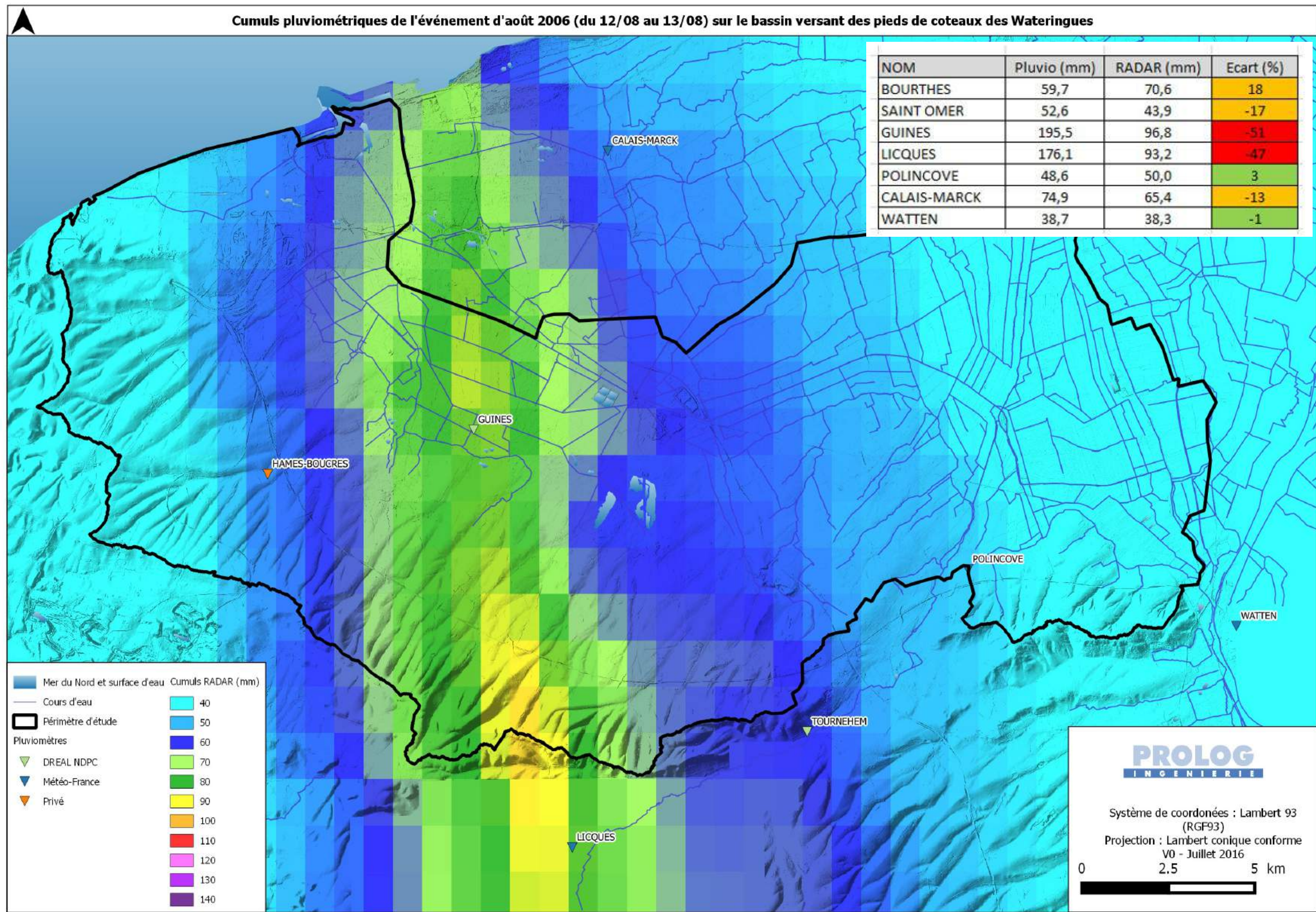
La figure ci-contre montre l'évolution de la cote du canal de Calais à la station des Attaques en fonction des cumuls pluviométriques à la station de Calais.

Le canal de Calais ne réagit pas car l'événement est un épisode orageux intense et localisé qui a provoqué des phénomènes de ruissellement sur les coteaux.

Sont représentés sur la figure ci-dessous les hydrogrammes de l'Aa à Wizernes (amont du Marais Audomarois) et de la Hem à Recques-sur-Hem (amont séparation Meulstream / Tiret).

La Hem enregistre un débit de pointe de 50 m³/s à Guémy, pour une période de retour supérieure à 50 ans. L'Aa ne réagit pas à cet épisode qui est localisé sur les pieds de coteaux et la Hem.





Nature du désordre : Débordement, ruissellement

Nombre d'informations propres à l'événement : 61

Nombre d'informations géolocalisées : 18

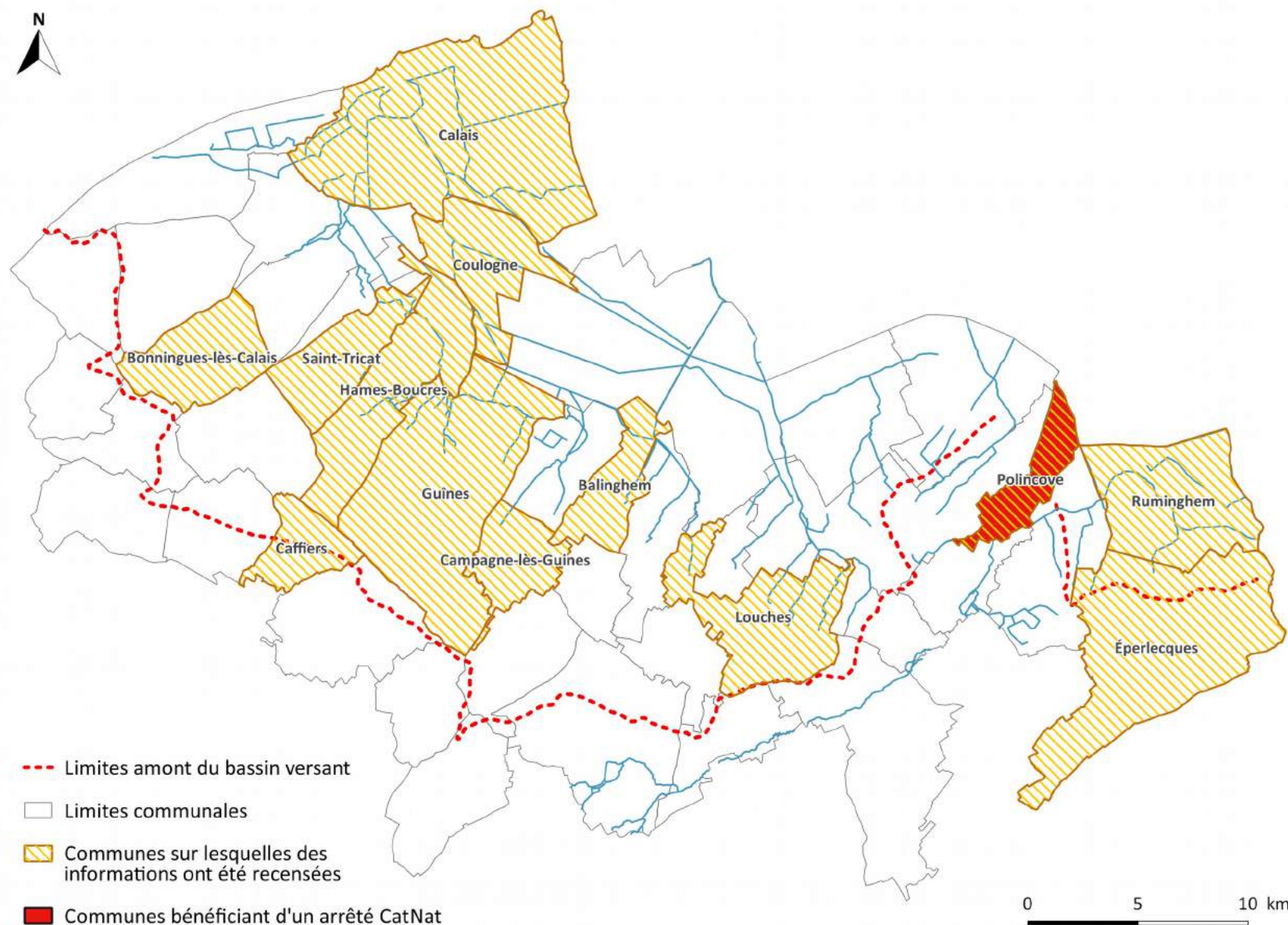
Dont repères de crue : 2

Dont témoignages ponctuels : 6

Dont informations à la rue ou au quartier : 10



Cartographie des communes touchées par l'événement



En décembre 2006, un événement impacte de nombreuses communes du territoire d'étude, comme en témoigne la carte présentée ci-dessus. À première vue, les dommages sont restés modérés au vu du manque de communes déclarées en catastrophe naturelle à cette occasion. Néanmoins, les articles de presse de l'époque font état d'une « situation critique dans le Calaisis », et l'on sait que des rues ont été inondées parfois jusqu'à 50 cm d'eau, comme à titre d'exemple, à Saint-Tricat, rue de l'Église. De plus, des habitations ont été touchées comme à Hames-Boucres avec jusqu'à 30 cm d'eau au sein du premier plancher habitable d'un logement localisé rue de Hames. Certains bâtiments de Balinghem, Éperlecques, Guines, ou encore Louches, ont également été inondés.

Aussi, malgré l'absence de communes ayant bénéficié d'un arrêté CatNat (hormis Polincove suite au débordement de la Hem), il apparaît clair que l'événement de décembre 2006 a été significatif au vu du nombre de rues inondées sur l'ensemble du territoire d'étude, ainsi que des habitations touchées directement au niveau des premiers planchers habitables.

Début de l'événement : Décembre 2006

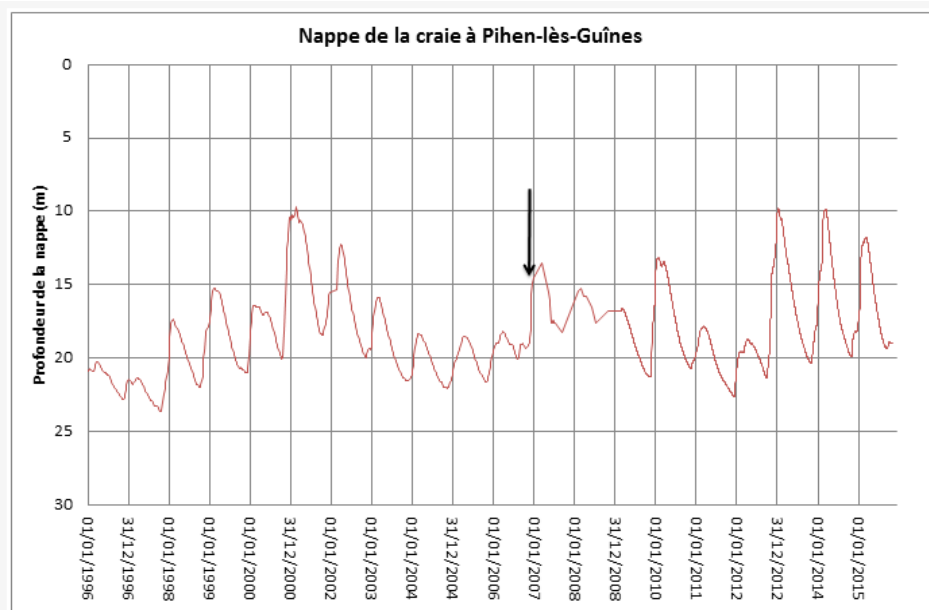
Contexte pluviométrique

Les figures ci-contre comparent les cumuls de précipitations mensuels mesurés entre septembre 2006 et décembre 2006, aux valeurs normales mensuelles calculées sur la période 1966-2015.

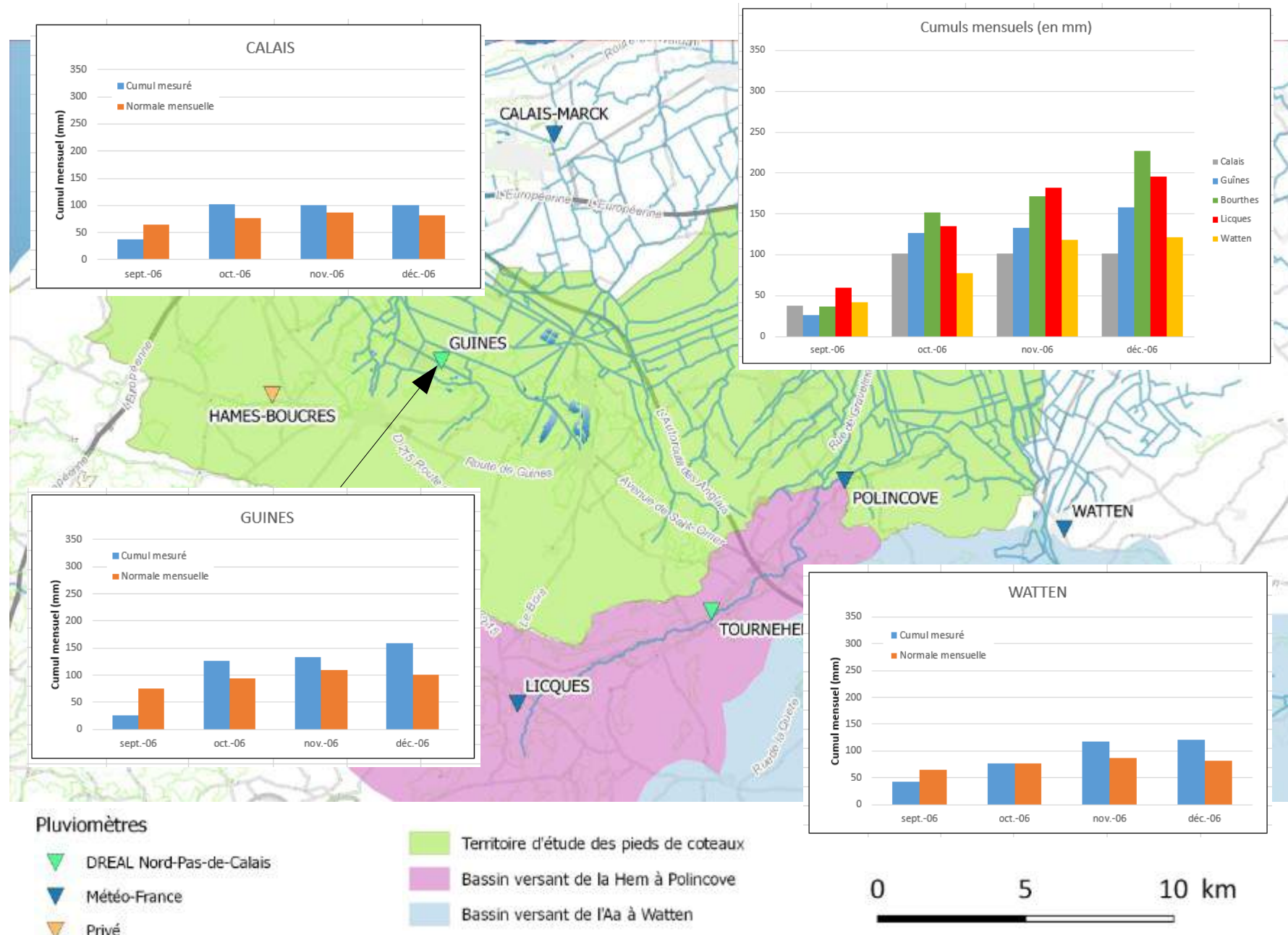
Le mois de septembre 2006 est sec alors que les mois d'octobre et de novembre ont été très arrosés. Les cumuls sur ces 2 mois sont 30 % plus importants que les moyennes mensuelles. Cet écart supérieur à la moyenne est généralisé.

Contexte piézométrique

La figure ci-dessous présente l'évolution du niveau de la nappe de la craie à Pihen-lès-Guînes de 1996 à aujourd'hui et situe l'événement de décembre 2006 sur cette période (flèche noire).



L'évolution montre que cet épisode se situe dans une période où les niveaux de nappe sont plutôt bas mais dans la période de recharge de la nappe, entre 20 et 15 m de profondeur, de par l'automne 2006 très humide.



Début de l'événement : Décembre 2006

Contexte pluviométrique autour de l'événement

Les figures ci-contre présentent :

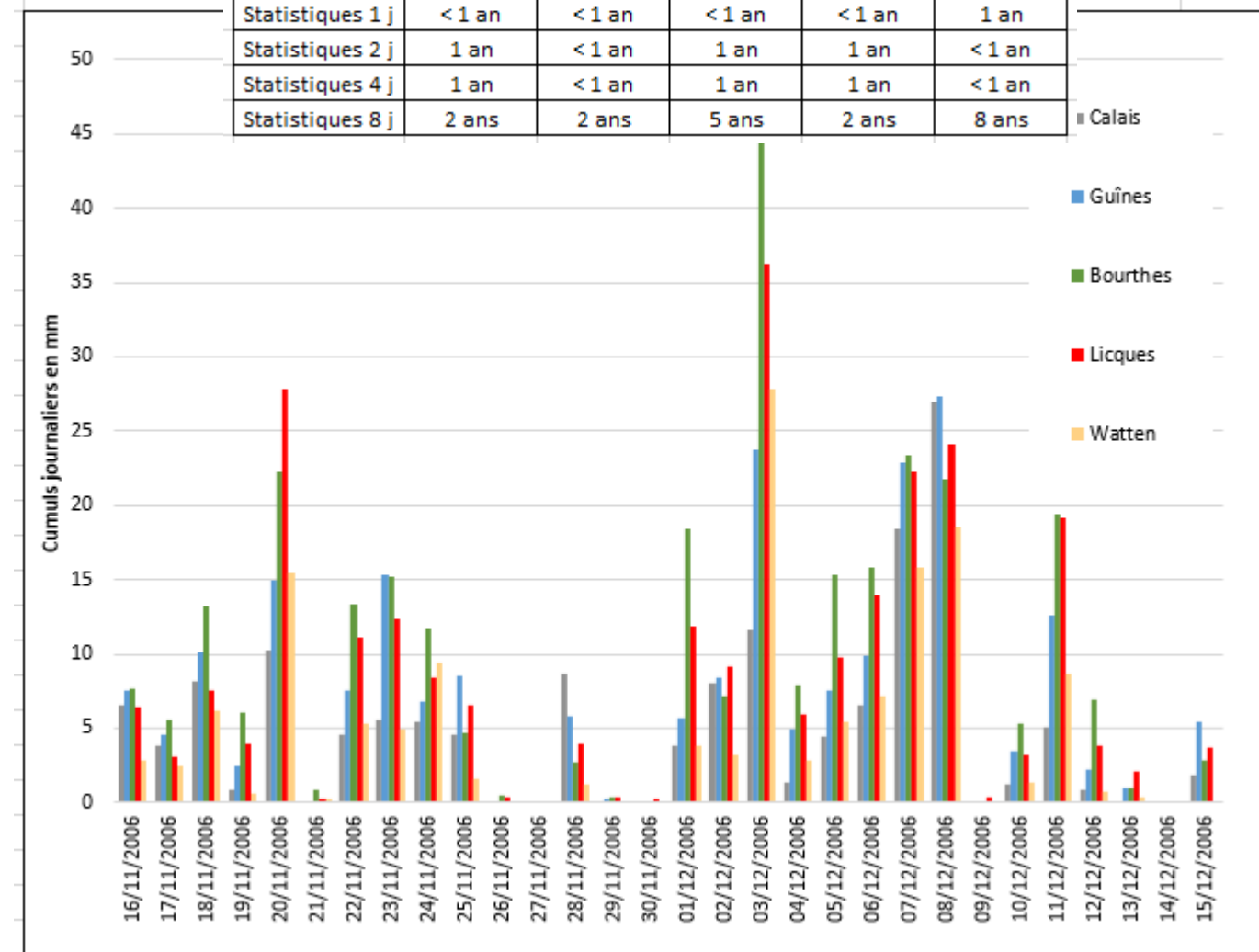
- les cumuls maximaux de pluie mesurés sur 1 j / 2 j / 4 j et 8 j calculés à partir des données journalières Météo-France (stations de Calais, Licques et Watten) et DREAL (statistiques 1 j seulement pour les stations de Bourthes) ;
- les cumuls journaliers des stations de Calais, Guînes, Licques, Watten et Bourthes entre le 16 novembre et le 15 décembre 2006.

Les données montrent deux épisodes de pluies principaux, le premier autour du 3 et le second le 7 et 8 décembre, séparé cependant par des pluies faibles continues. C'est ce deuxième épisode qui a provoqué des inondations sur le territoire des pieds de coteaux. Le premier épisode touche plus le bassin versant de l'Aa à l'amont de Watten, avec des cumuls plus importants à Bourthes et Watten qu'à Calais et Guînes. La journée la plus arrosée, sur le territoire des pieds de coteaux, est le 8 décembre avec des précipitations journalières de 27 mm.

Les cumuls sur 1, 2 et 4 jours sont fréquents, avec des périodes de retour de 1 an. Le phénomène devient moins fréquent, de l'ordre de 2 à 8 ans (Aa), sur 8 jours.

Les cumuls lors de l'événement n'ont rien d'exceptionnel mais les jours et les mois précédents sont nettement excédentaires et ont complètement saturé la plaine.

Cumul (mm)	Calais	Guînes	Licques	Watten	Bourthes
01/12/2006	3,8	5,7	3,8	3,8	18,4
02/12/2006	8	8,4	8	3,2	7,1
03/12/2006	11,6	23,7	11,6	27,8	44,4
04/12/2006	1,4	4,9	1,4	2,8	7,9
05/12/2006	4,4	7,5	4,4	5,4	15,3
06/12/2006	6,6	9,9	6,6	7,2	15,8
07/12/2006	18,4	22,9	18,4	15,8	23,4
08/12/2006	26,9	27,3	26,9	18,6	21,7
Statistiques 1 j	< 1 an	< 1 an	< 1 an	< 1 an	1 an
Statistiques 2 j	1 an	< 1 an	1 an	1 an	< 1 an
Statistiques 4 j	1 an	< 1 an	1 an	1 an	< 1 an
Statistiques 8 j	2 ans	2 ans	5 ans	2 ans	8 ans



Début de l'événement : Décembre 2006

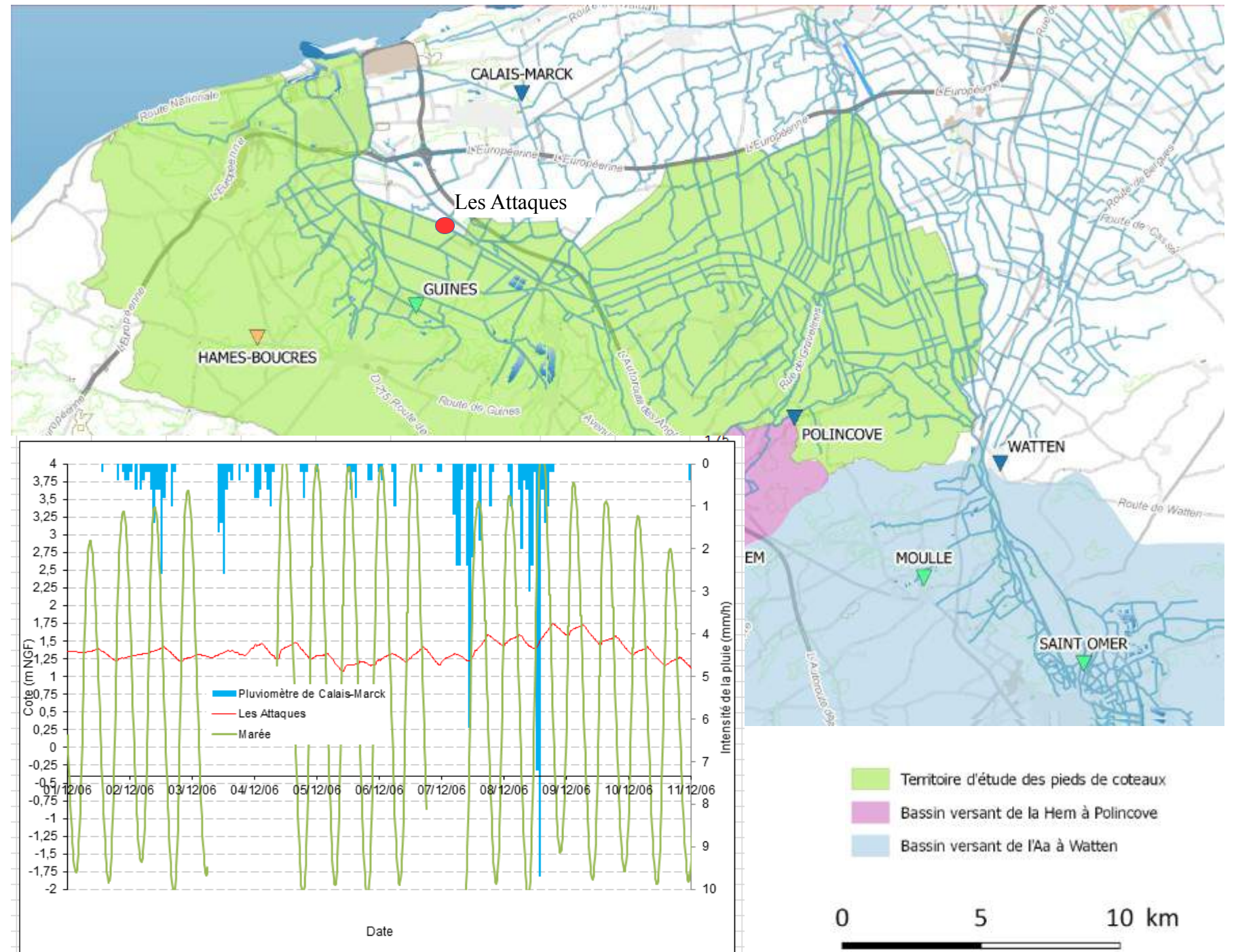
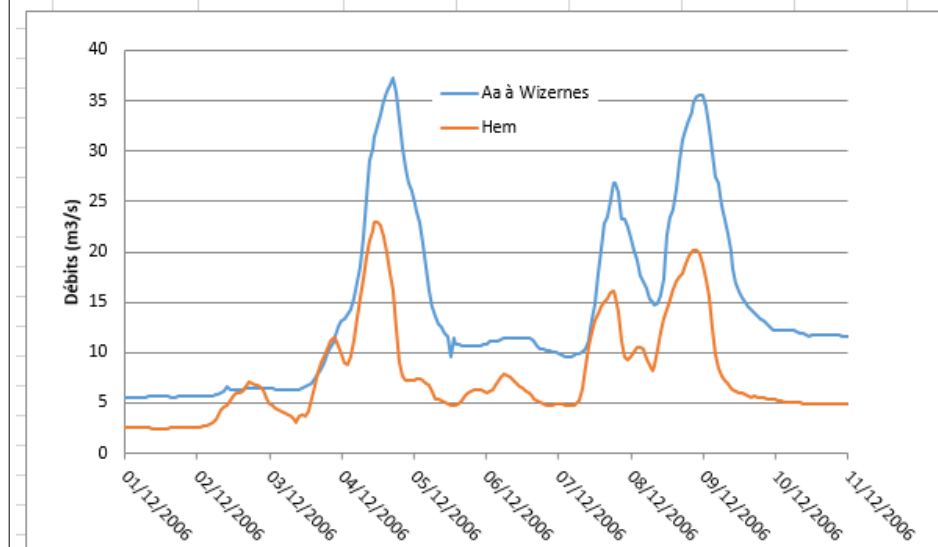
Dynamique de crue

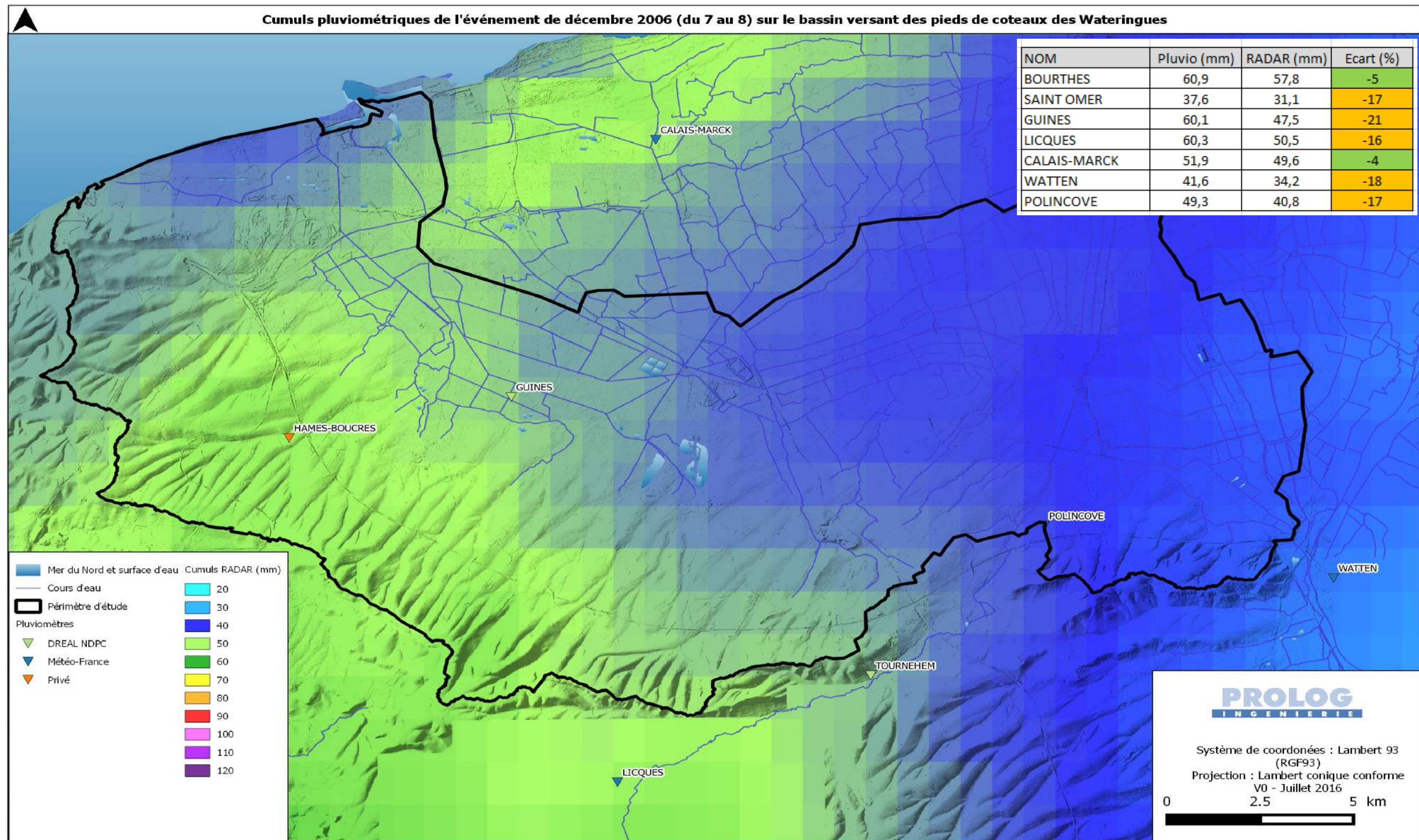
La figure ci-contre montre l'évolution de la cote du canal de Calais à la station des Attaques en fonction des cumuls pluviométriques à la station de Calais.

Le canal de Calais réagit un peu aux épisodes autour du 3 décembre et son niveau atteint à 1,50 m NGF. Les cumuls beaucoup plus importants du 7 et 8 décembre vont nettement faire réagir le canal de Calais, avec une cote maximum de 1,75 m NGF. L'amplitude de la marée est forte, favorisant ainsi le tirage gravitaire à marée basse.

Sont représentés sur la figure ci-dessous les hydrogrammes de l'Aa à Wizernes (amont du Marais Audomarois) et de la Hem à Recques-sur-Hem (amont séparation Meulstream / Tiret).

Les débits de pointe de l'Aa sont mesurés à près de 38 m³/s et 36 m³/s à Wizernes, correspondant à une période de retour de 7 ans d'après la Banque Hydro. La Hem enregistre des débits de pointe de 23 m³/s et 20 m³/s à Guémy, pour une période de retour de 7 ans.





Nature du désordre : Ruissellement

Nombre d'informations propres à l'événement : 42
 Nombre d'informations géolocalisées : 27
 Dont repères de crue : 4
 Dont témoignages ponctuels : 1
 Dont informations à la rue ou au quartier : 22

INONDATIONS
Un orage violent et les mécontentements pleuvent

Un orage d'un quart d'heure, hier en fin d'après-midi, a suffi pour provoquer des coulées de boue à Guînes, Tournehem, Ardres. Le centre-ville de Calais est lui aussi touché. Un message unanime : « Ras-le-bol ! »

Un torrent de cailloux et de verre s'enfonça dans Guînes par le boulevard Blanchard et la rue du Bassin. « C'est incroyable de voir ça ! Sur toute la largeur, sur dix-quinze centimètres de haut ! » témoigne cette riveraine, balai à la main. Au carrefour, les employés municipaux ramassent les cailloux et assurent la circulation. Une circulation complètement touchée au niveau de la Batière suite aux premières déviations mises en place. « C'est arrivé à l'heure de la sortie d'école. Tout le monde est resté coincé », explique Hervé Pober, le maire. Quelques maisons touchées. Rien de grave apparemment. « Mais quand y aura-t-il un bassin de rétention ? » s'insurge un Guinois.

« Ça fait dix ans que ça dure ! »

Changement de ville. Une Calaisienne, route de Gravelines, s'interroge : « Mots quand va-t-on trouver une solution ? À chaque fois qu'il pleut je suis inondée ! Regardez la Une de La Voix du Nord il y a dix ans, on y était déjà ! » Rue de Saint-Exupéry. Avec une puissance remarquable, un homme est aidé par les sapeurs-pompiers de Marck et les techniciens de la DAC pour vider son garage qui sert de bassin de rétention à l'avenue : 80 cm d'eau. « En trente-cinq ans, nous n'avons jamais connu ça. Sauf en août dernier et aujourd'hui. Et ce date de la fin de la réalisation des travaux de la route... »

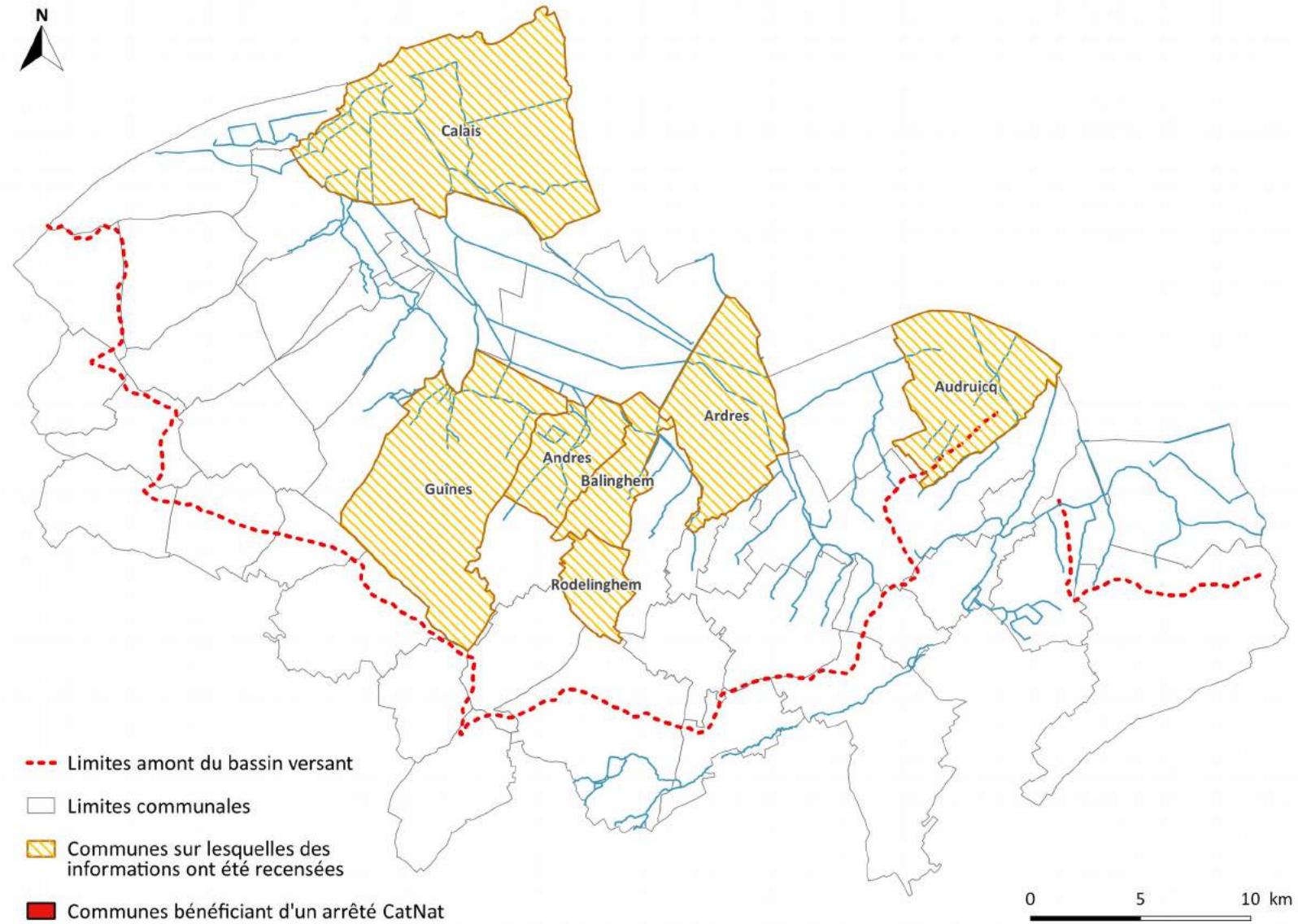
Les sapeurs-pompiers sont sur tout les fronts, Ardres et Audruicq sont dans le secteur d'Ardres où des maisons sont plus fortement touchées qu'ailleurs. Les jardins sont inondés rue de la Rivière. À Tournehem, la départementale menant à Licques est coupée à la circulation. « Les champs ne retiennent plus l'eau », estime un Guinois.

Vers 18 heures, le principal des eaux s'évacua. Seul chez les personnes, en contrebas d'une route, où les pompes étaient toujours en action hier au soir. À Ardres, on distribuait des sacs de sable. ■ LAURENT REAULT

Route de Gravelines, la situation est identique à chaque grosse précipitation.

À Guînes, c'est un torrent de boue et de cailloux qui est passé par le boulevard Blanchard.
 À Calais, des garages en guise de bassin de rétention.
 Un quart d'heure a suffi pour transformer la rue de la Rivière à Ardres en rivière.

Cartographie des communes touchées par l'événement



Le phénomène de ruissellement de juin 2007 est resté relativement localisé, les principales communes touchées ayant été Calais et Guînes, bien que les articles de presse de l'époque témoignent de rues inondées et de maisons affectées au sein d'autres communes du territoire d'étude, comme l'illustre la cartographie ci-dessus. À Ardres et à Audruicq, des logements ont été envahis par les eaux. À Ardres, la presse a indiqué qu'« un orage d'un quart d'heure (...) a suffi pour provoquer des coulées de boues ». Les dégâts semblent avoir été moindres à Balinghem ainsi qu'à Rodelinghem.

À Guînes, le nombre de rues inondées est significatif, sont notamment concernées : le boulevard Blanchard, la rue de la Justice, la rue de la Lancerie, la rue Debonningues, la rue des Remparts, la rue du Bassin, la rue Georges Haudiquet, la rue Narcisse Boulanger, la rue du Maréchal Leclerc, et la rue de la Lanchère avec jusqu'à 75 cm d'eau relevés.

À Calais, l'emprise du phénomène apparaît plus concentrée, route de Gravelines et rue Aristote. Cependant, « les dégâts sont nombreux, essentiellement le long de l'avenue Saint-Exupéry (...) où plusieurs magasins et garages ont été inondés. Notons enfin que « les enfants de plusieurs écoles [Eve-Curie, Michelet et Saint-Charles] ont été empêchés de sortir. L'eau atteignait parfois vingt centimètres ».

Début de l'événement : Juin 2007

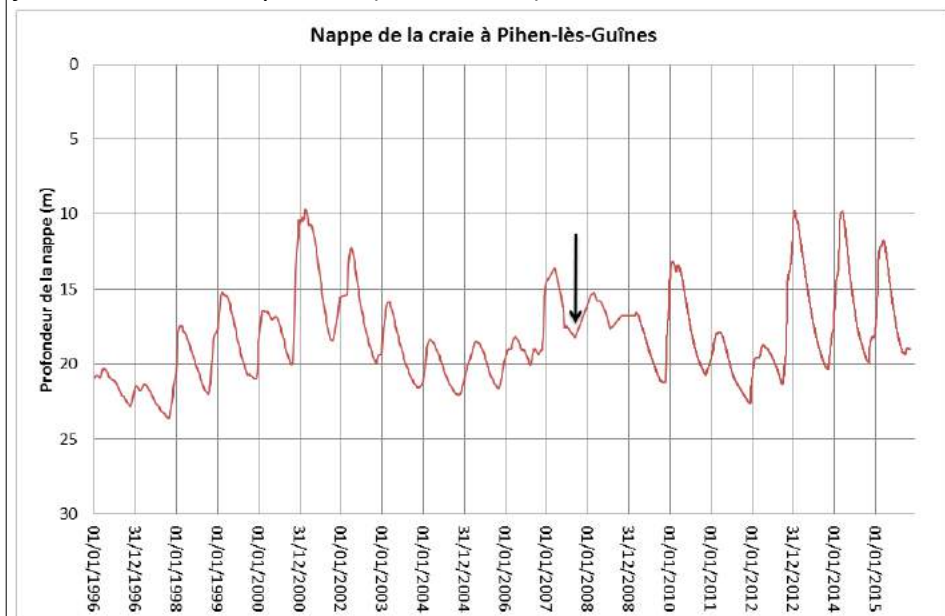
Contexte pluviométrique

Les figures ci-contre comparent les cumuls de précipitations mensuels mesurés entre mars 2007 et juin 2007 (du 1^{er} au 13), aux valeurs normales mensuelles calculées sur la période 1966-2015.

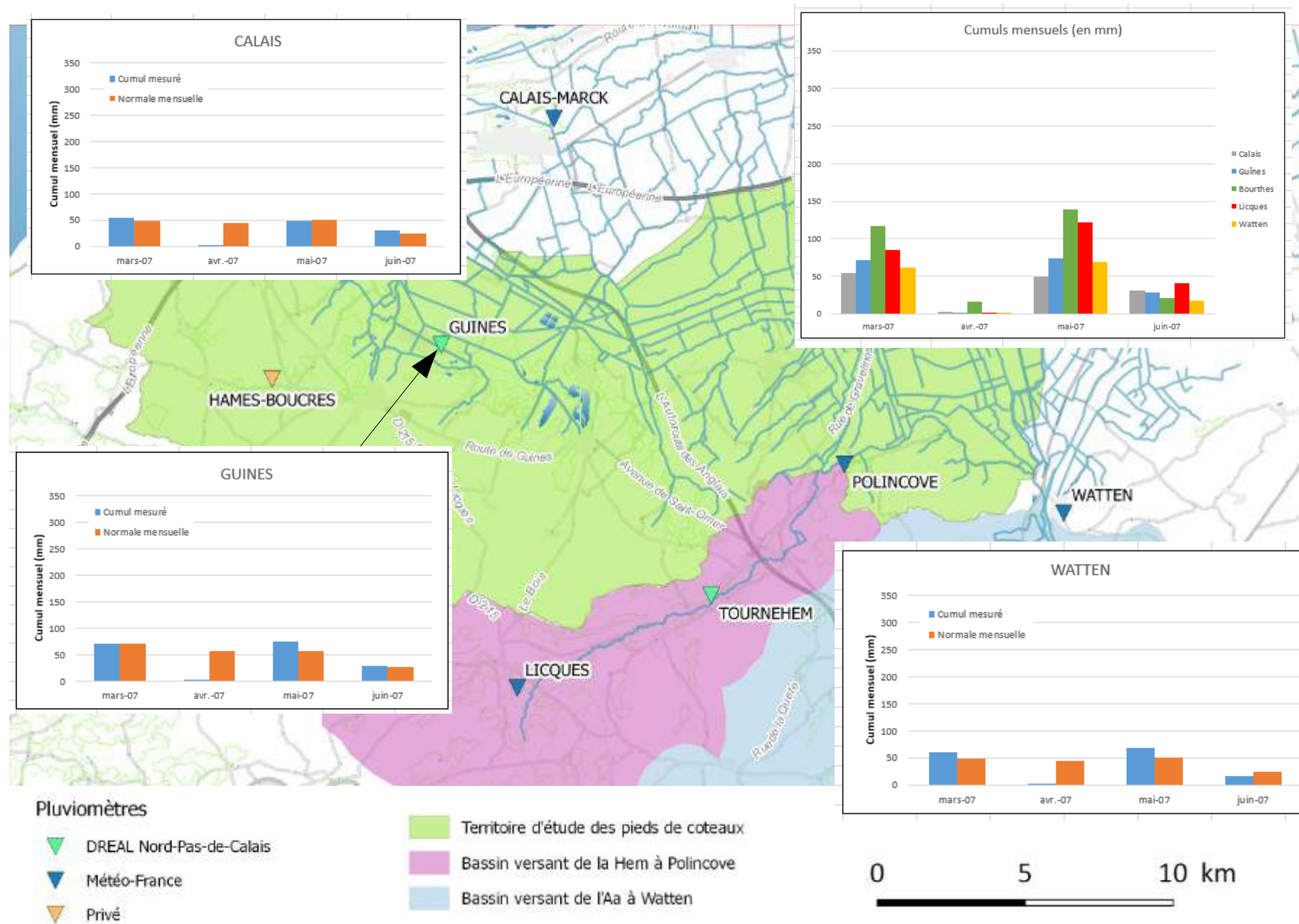
Les cumuls des mois de mars et mai 2007 sont proches des normales mensuelles alors que le mois d'avril est très sec. Cette tendance est la même sur tous les pluviomètres.

Contexte piézométrique

La figure ci-dessous présente l'évolution du niveau de la nappe de la craie à Pihen-lès-Guînes de 1996 à aujourd'hui et situe l'événement de juin 2007 sur cette période (flèche noire).



L'évolution montre que cet épisode se situe dans une période où les niveaux de nappe sont bas, avec un niveau de nappe autour de 18 m de profondeur lors de l'événement.



Contexte pluviométrique autour de l'événement

Les figures ci-contre présentent :

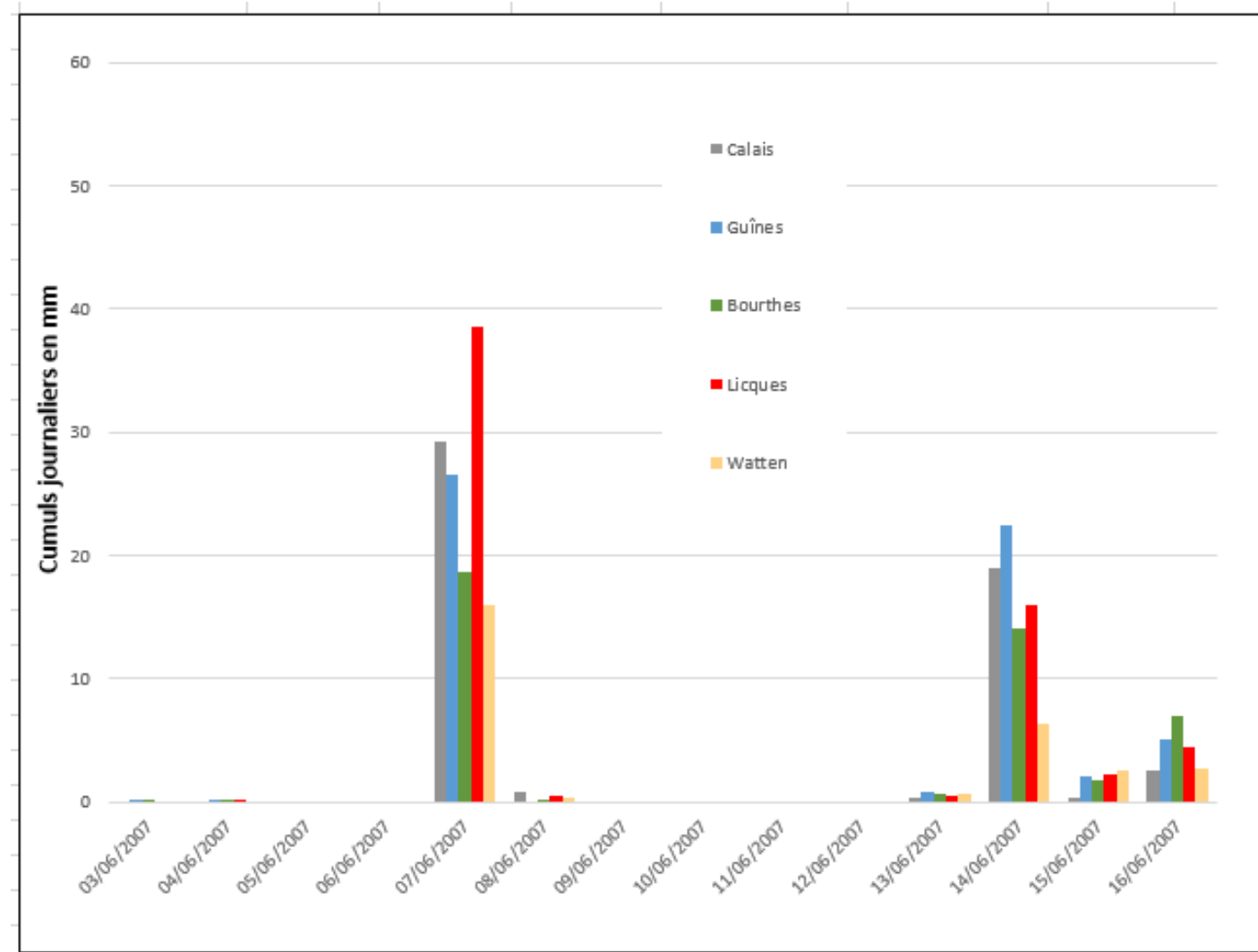
- le cumul de pluie mesuré sur 1 h calculé à partir des données horaires de la station Météo-France de Calais (seules les statistiques 2h ont pu être récupérées) ;
- les cumuls maximaux de pluie mesurés sur 1 j calculés à partir des données journalières Météo-France (stations de Calais, Licques et Watten) et DREAL (statistiques 1 j seulement pour les stations de Bourthes) ;
- les cumuls journaliers des stations de Calais, Guînes, Licques, Watten et Bourthes entre le 3 et le 16 juin 2007.

Les données montrent un premier épisode le 7 juin, puis un autre le 14 juin. C'est ce dernier qui a provoqué des inondations dans la région de Guînes et à Calais. Les cumuls journaliers, aux niveaux de stations, sont cependant plus importants le 7 juin. Les images RADAR en dernière page montrent, le 14 juin, des cumuls plus importants dans la région d'Andres et de Balinghem et à Calais même, communes évoquées en première page du document. Les cumuls, concentrés sur 1h-1h30, vont jusqu'à 30-35 mm, en considérant que les données RADAR surestiment les cumuls de 20 % (valeurs RADAR maximales plutôt autour de 35-40 mm).

Seules les statistiques au pas de temps 2 h sont disponibles à la station de Calais. Pour les cumuls maxima évoqués ci-dessus, la période de retour est de 20-30 ans.

Les cumuls importants sur un temps très court (1h-1h30), à Andres, Balinghem et Calais sont à l'origine de cet événement.

Cumul (mm)	Calais	Guînes	Licques	Watten	Bourthes
14/06/2007	19	22,4	16	6,3	14,1
1h	14,2				
Statistiques 1 J	< 1 an	< 1 an	< 1 an	< 1 an	< 1 an
Statistiques 2 h	< 1 an				



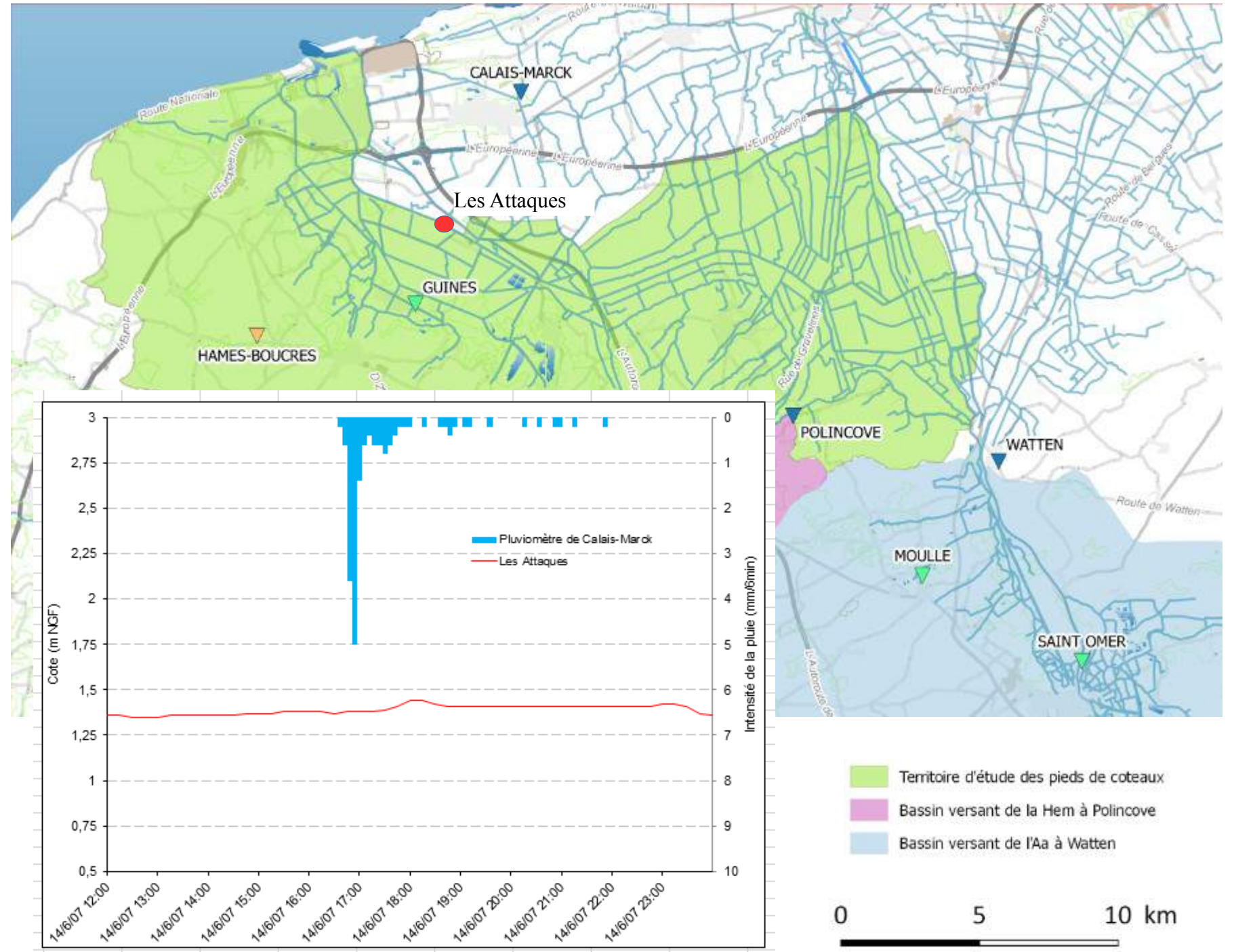
Début de l'événement : Juin 2007

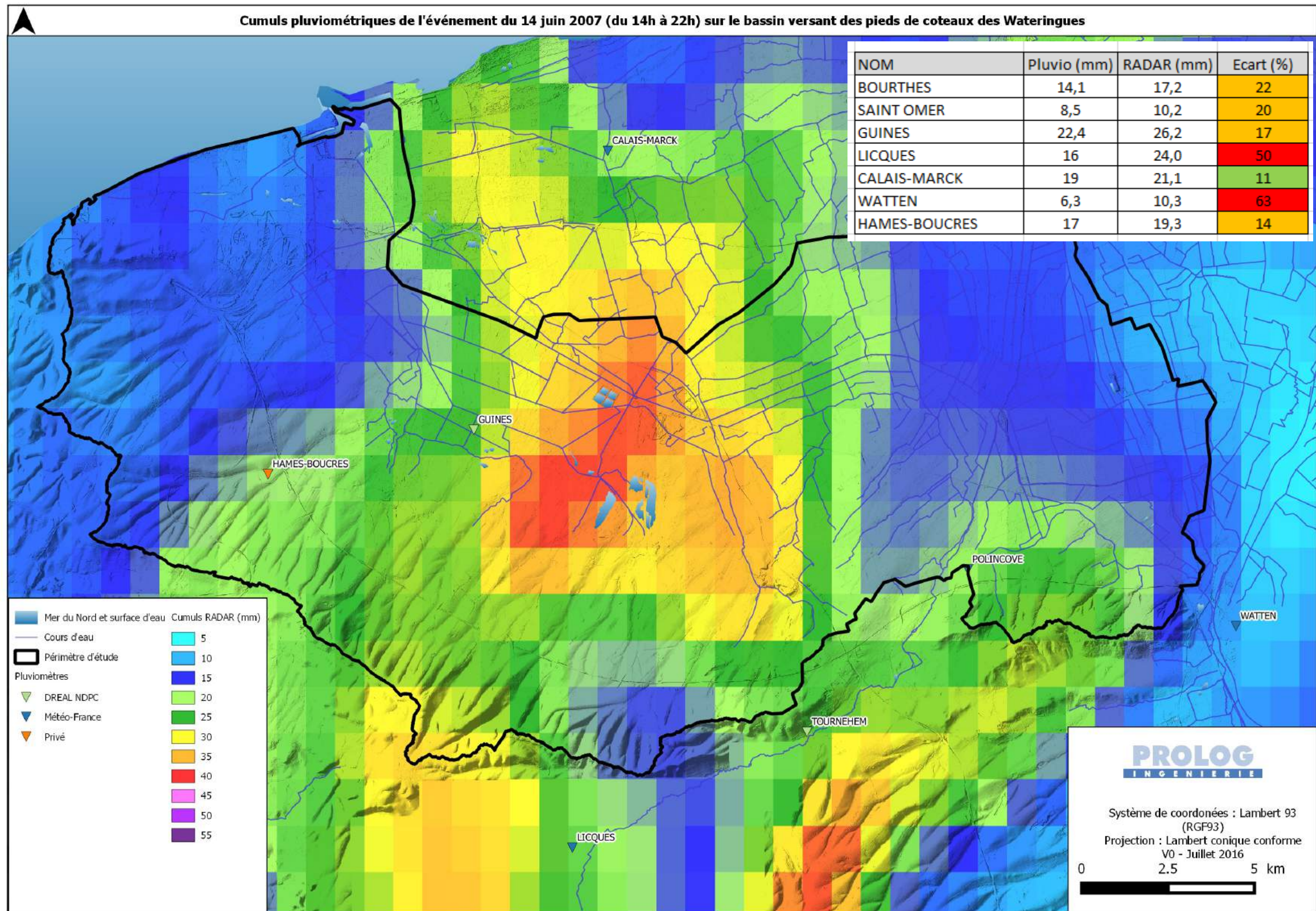
Dynamique de crue

La figure ci-contre montre l'évolution de la cote du canal de Calais à la station des Attaques en fonction des cumuls pluviométriques à la station de Calais.

Le canal de Calais ne réagit pas car l'événement est un épisode orageux bref, intense et localisé qui a provoqué des phénomènes de ruissellement sur les coteaux.

L'Aa et la Hem ne réagissent pas à cet épisode qui est localisé sur une partie des pieds de coteaux.



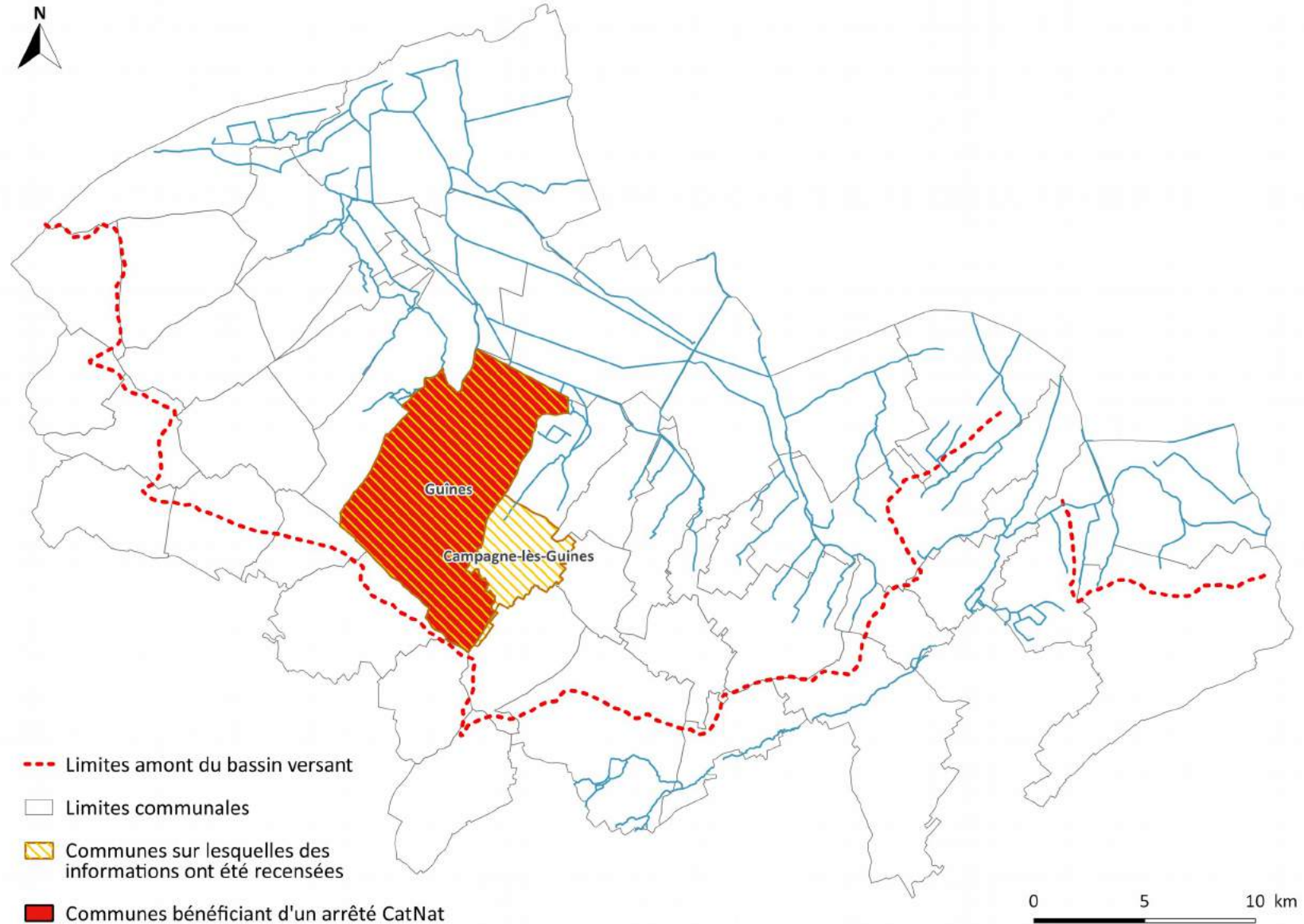


Nature du désordre : Ruissellement

Nombre d'informations propres à l'événement : 21
 Nombre d'informations géolocalisées : 16
 Dont repères de crue : 1
 Dont témoignages ponctuels : 3
 Dont informations à la rue ou au quartier : 12



Cartographie des communes touchées par l'événement



Le phénomène de ruissellement de septembre 2007 ayant impacté le territoire des pieds de coteaux des Wateringues est resté principalement localisé à la commune de Guînes qui a été déclarée en état de catastrophe naturelle. Une information a été collectée concernant la commune de Campagne-lès-Guînes, à savoir qu'au 672, rue du Berck, « la cour de centre équestre reçoit les eaux des champs à chaque averse » (notons que l'article de presse ci-dessus indiquant que la rue Delaroché a été évacuée est propre à la commune de Campagne-lès-Guînes, or, cette rue appartient à la commune de Calais. Il s'agit probablement d'une erreur car le centre équestre, objet de l'article de presse précité, est situé au 672, rue du Berck).

À Guînes, les ruissellements ont touché plusieurs axes routiers, à savoir : le boulevard Blanchard, la rue de la Justice, la rue de la Lancerie, la rue Debonningues, la rue des Remparts ainsi que la rue du Bassin. Les articles de presse de l'époque présentaient « des coulées de boue à Guînes ». Les riverains mettent en cause « les travaux pour le tout à l'égout, on avait pas autant de problèmes avant » (indication d'un riverain, relevée dans la presse). Enfin, notons que face à l'auberge des Trois-Pays, on a relevé à l'époque vingt à trente centimètres d'eau.

Début de l'événement : Septembre 2007

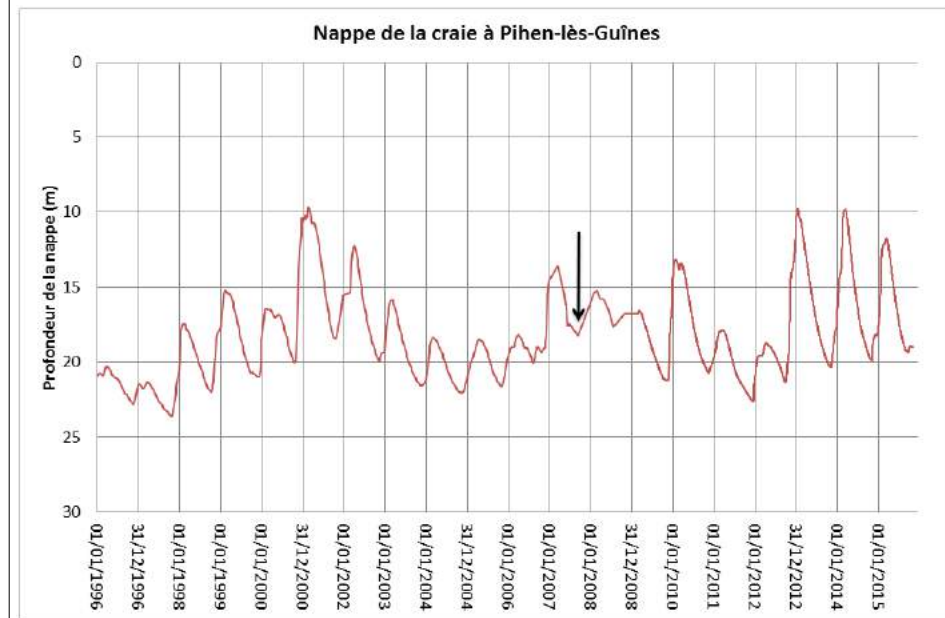
Contexte pluviométrique

Les figures ci-contre comparent les cumuls de précipitations mensuels mesurés entre juin 2007 et septembre 2007 (du 1^{er} au 25), aux valeurs normales mensuelles calculées sur la période 1966-2015.

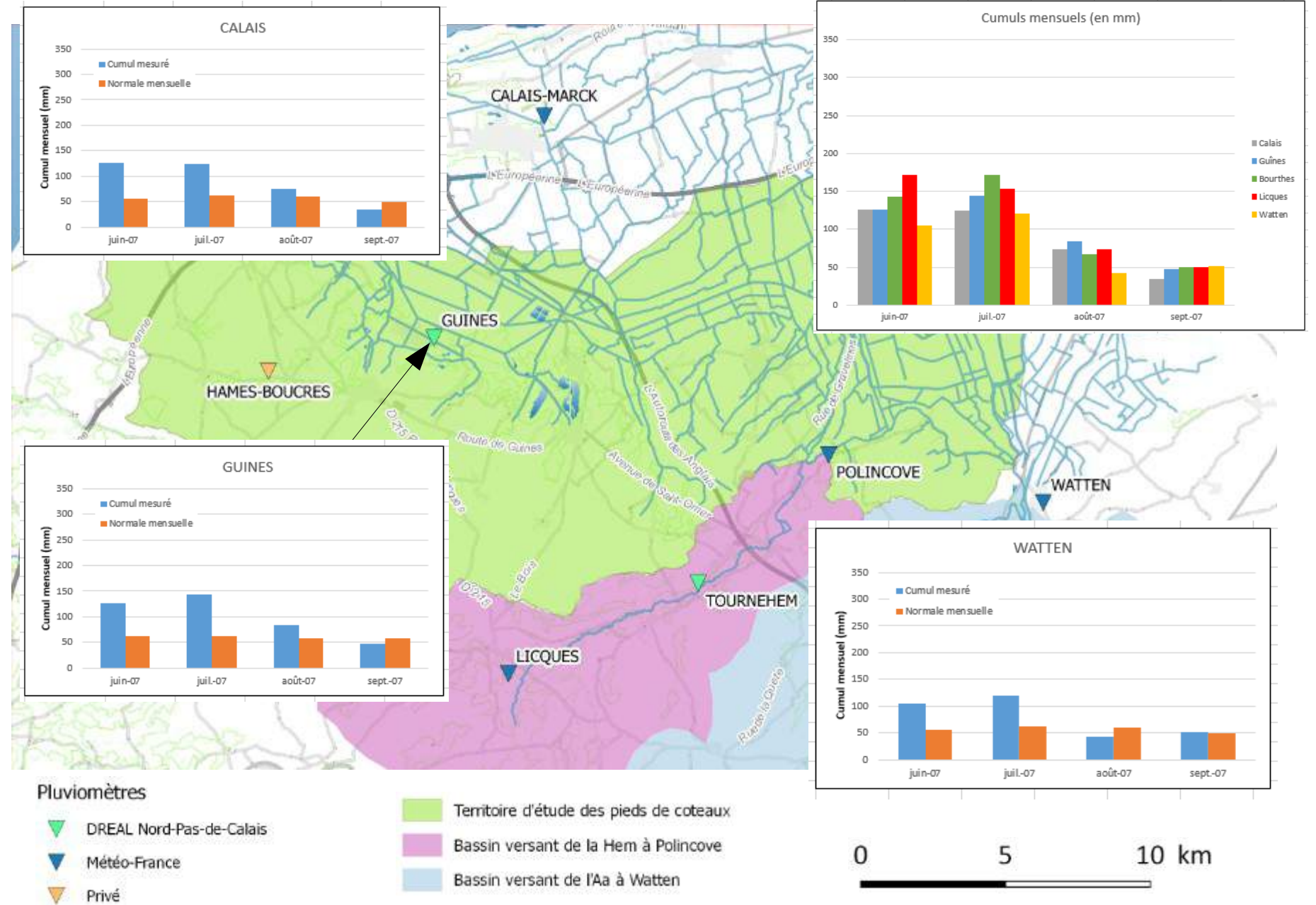
Les cumuls des mois de juin et juillet 2007 sont deux fois plus importants que les moyennes mensuelles alors que les mois d'août et de septembre 2007 sont dans les normales. Cette tendance est la même sur tous les pluviomètres.

Contexte piézométrique

La figure ci-dessous présente l'évolution du niveau de la nappe de la craie à Pihen-lès-Guînes de 1996 à aujourd'hui et situe l'événement de septembre 2007 sur cette période (flèche noire).



L'évolution montre que cet épisode se situe dans une période où les niveaux de nappe sont bas, avec un niveau de nappe autour de 18 m de profondeur lors de l'événement.



Début de l'événement : Septembre 2007

Contexte pluviométrique autour de l'événement

Les figures ci-contre présentent :

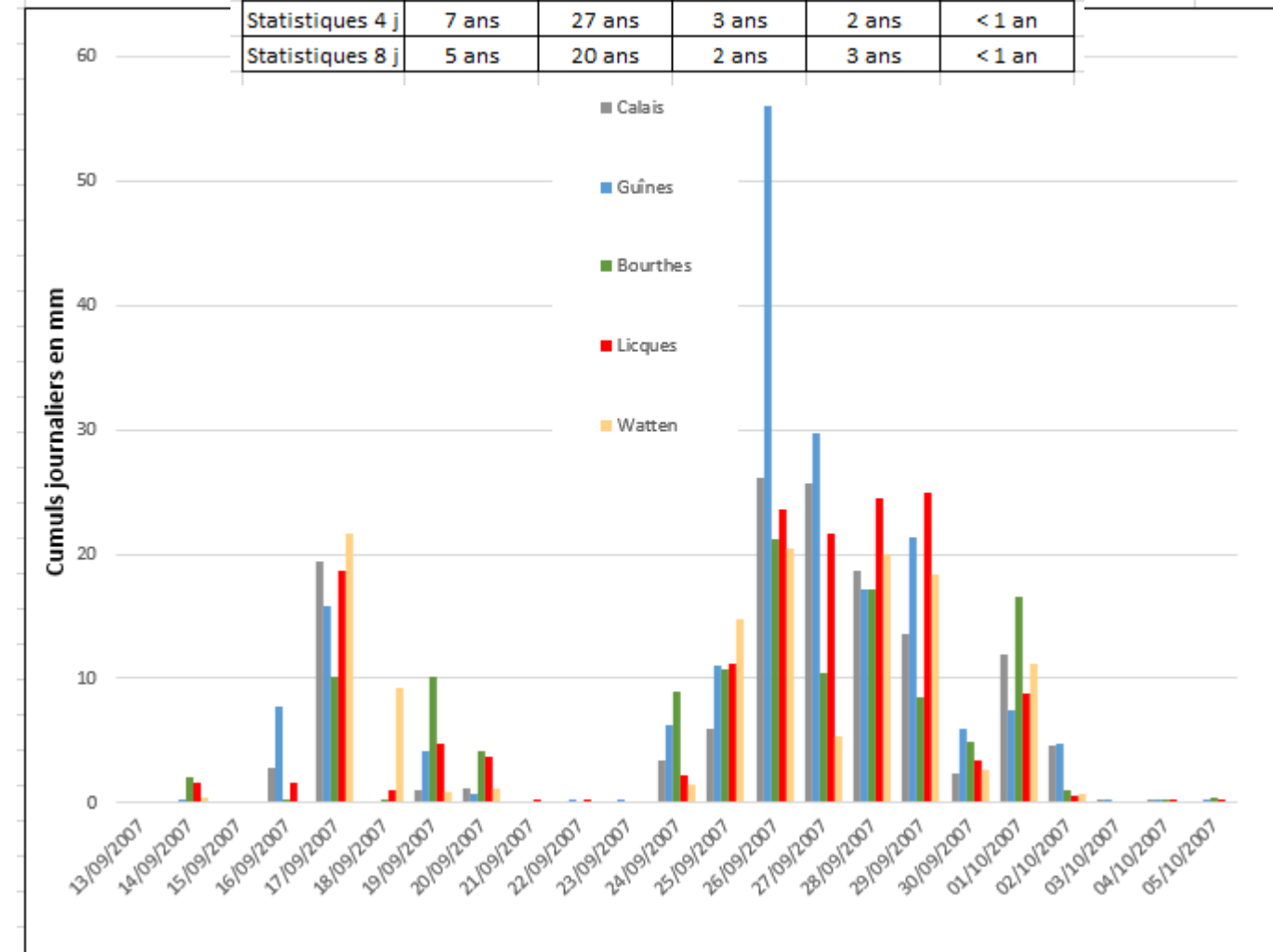
- les cumuls maximaux de pluie mesurés sur 1 j / 2 j / 4 j et 8 j calculés à partir des données journalières Météo-France (stations de Calais, Licques et Watten) et DREAL (statistiques 1 j seulement pour les stations de Bourthes) ;
- les cumuls journaliers des stations de Calais, Guînes, Licques, Watten et Bourthes entre le 13 septembre et le 5 octobre 2007.

Les données montrent un épisode de pluies, entre le 24 septembre et le 1^{er} octobre, avec les cumuls les plus importants du 26 au 29 septembre. Il concerne principalement le territoire des pieds de coteaux, en particulier le pluviomètre de Guînes, les cumuls sur les bassins versants de l'Aa à l'amont de Watten et de la Hem étant plus faibles. La journée la plus arrosée est le 26 septembre, avec des précipitations journalières allant de 26 à 56 mm.

Les cumuls sur 4 et 8 jours à Guînes et Calais ont des périodes de retour plutôt rares (périodes de retour de 5 à 27 ans). Les cumuls sur 1 et 2 jours sont très fréquents sauf à Guînes où les périodes de retour varient de 15 à 20 ans.

Les cumuls importants à Guînes, et dans une moindre mesure à Calais, mais associés à des conditions antécédentes normales, sont à l'origine de cet événement.

Cumul (mm)	Calais	Guînes	Licques	Watten	Bourthes
24/09/2007	3,4	6,3	2,2	1,5	8,9
25/09/2007	6	11,1	11,2	14,8	10,8
26/09/2007	26,2	56,1	23,6	20,4	21,2
27/09/2007	25,7	29,7	21,6	5,4	10,4
28/09/2007	18,6	17,1	24,5	20	17,2
29/09/2007	13,6	21,3	24,9	18,4	8,5
30/09/2007	2,4	6	3,4	2,7	4,9
01/10/2007	12	7,4	8,8	11,2	16,6
02/10/2007	4,6	4,7	0,6	0,7	1
Statistiques 1 j	< 1 an	15 ans	< 1 an	< 1 an	< 1 an
Statistiques 2 j	1 an	20 ans	< 1 an	< 1 an	< 1 an
Statistiques 4 j	7 ans	27 ans	3 ans	2 ans	< 1 an
Statistiques 8 j	5 ans	20 ans	2 ans	3 ans	< 1 an



Début de l'événement : Septembre 2007

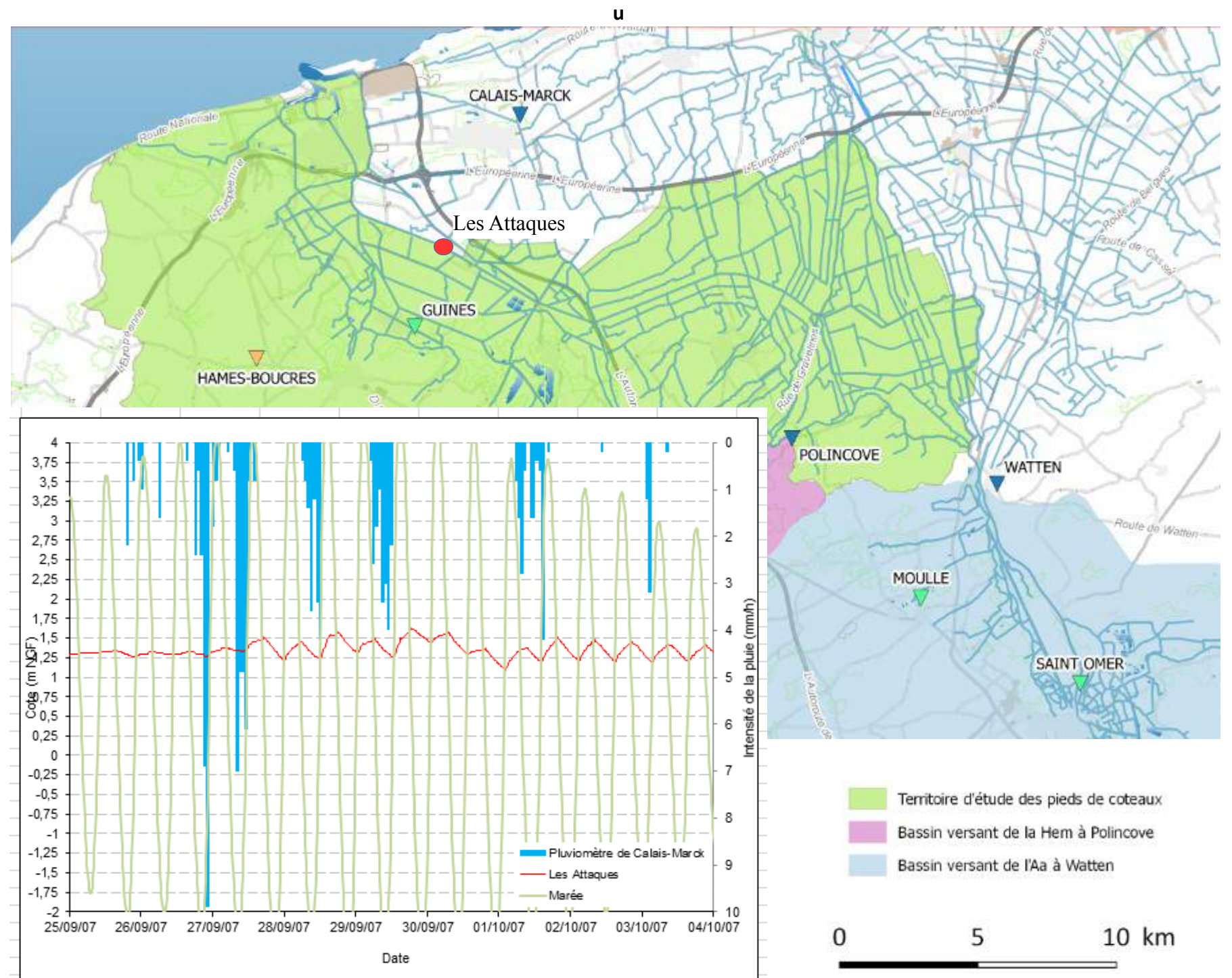
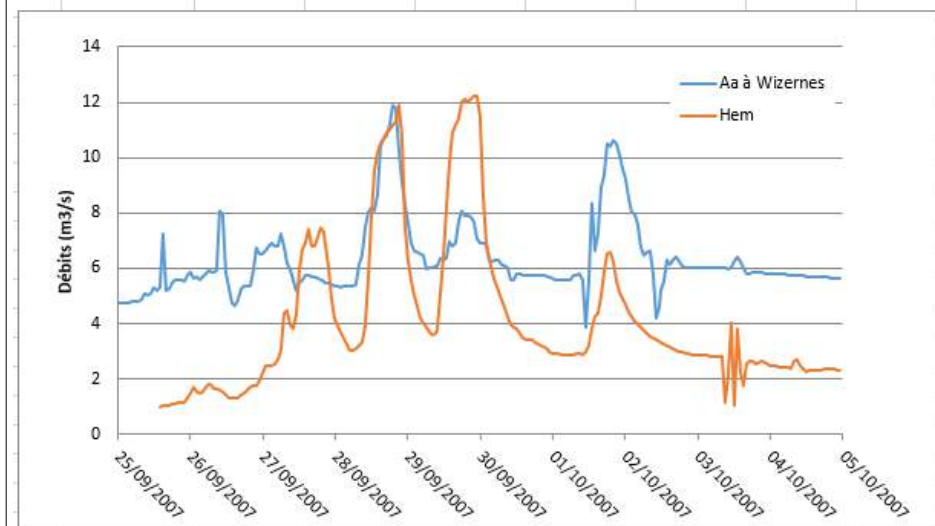
Dynamique de crue

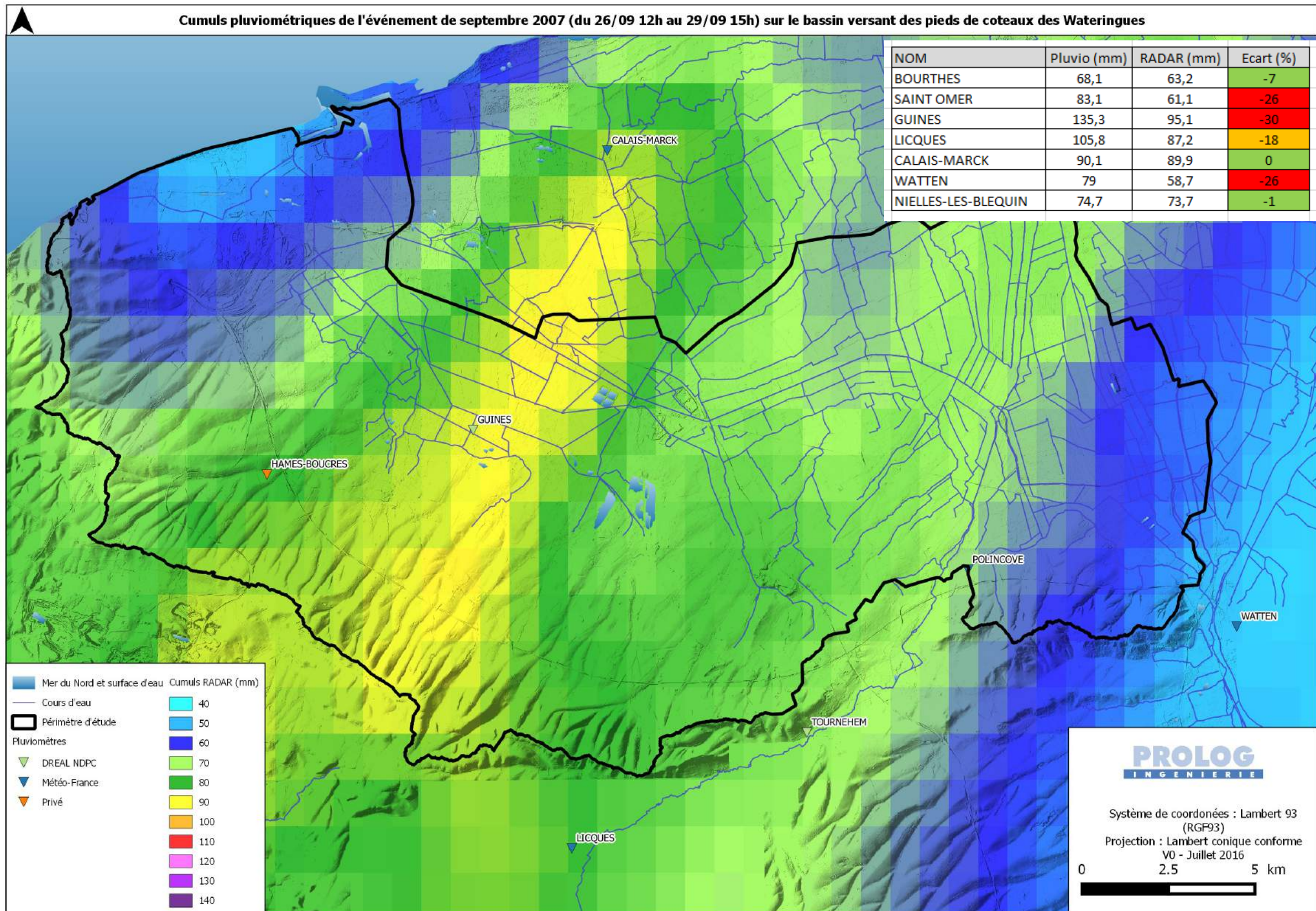
La figure ci-contre montre l'évolution de la cote du canal de Calais à la station des Attaques en fonction des cumuls pluviométriques à la station de Calais.

Le canal de Calais réagit peu au premier épisode de pluie du 26 septembre, épisode important en termes de cumuls et d'intensité horaires qui a saturé la plaine et provoqué des phénomènes de ruissellement sur les coteaux. Les épisodes suivants du 27, 28 et 29 septembre, d'une durée de 7 à 10 heures chacun, font progressivement augmenter le niveau du canal de Calais jusqu'à une cote maximale de 1,61 m NGF. L'amplitude de la marée est forte, favorisant ainsi le tirage gravitaire à marée basse.

Sont représentés sur la figure ci-dessous les hydrogrammes de l'Aa à Wizernes (amont du Marais Audomarois) et de la Hem à Recques-sur-Hem (amont séparation Meulstroom / Tiret).

Les débits de pointe de l'Aa sont mesurés à 12 m³/s à Wizernes, correspondant à une période de retour inférieure à 1 an d'après la Banque Hydro. La Hem enregistre des débits de pointe à 12 m³/s à Recques-sur-Hem, pour une période de retour de 2 ans.





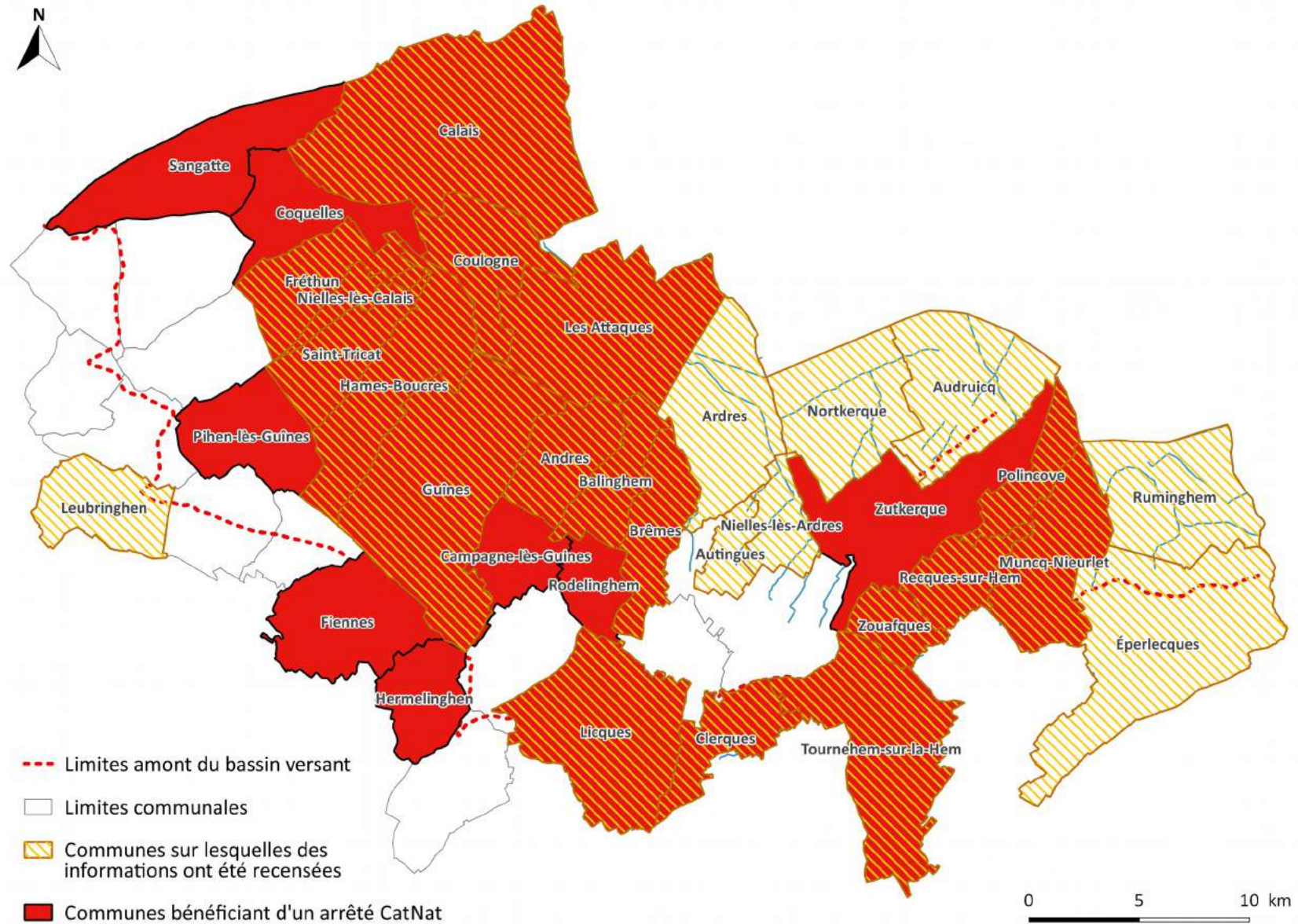
Début de l'événement : Novembre 2009

Nature du désordre : Débordement, ruissellement

Nombre d'informations propres à l'événement : 123
 Nombre d'informations géolocalisées : 43
 Dont repères de crue : 8
 Dont témoignages ponctuels : 15
 Dont informations à la rue ou au quartier : 20



Cartographie des communes touchées par l'événement



L'inondation de novembre 2009 est une des plus significatives ayant impacté le territoire d'étude. Lors de cet événement, on a constaté divers débordements notamment le canal d'Ardres, le canal de Calais, le canal de Guînes, la Liette, la rivière Neuve, le lac d'Ardres, sans compter celui de la Hem qui a été exceptionnel, mais non pris en compte au sein de la présente étude.

Des informations ont été collectées pour la majorité des communes du territoire, dont bon nombre d'entre elles, ont fait l'objet d'arrêtés de catastrophe naturelle comme en témoigne la cartographie ci-dessus. Plusieurs habitations ont été envahies par les eaux au niveau des premiers planchers habitables, comme à Balinghem, où les niveaux records de la Rivière Neuve ont engendré des inondations. Cependant, le nombre de maisons touchées et les niveaux maximaux des hauteurs d'eau atteintes, semblent avoir été nettement inférieures à celle d'août 2006, et même celles de 2007 indique un article de presse : « les inondations ont touché les communes de Licques à Hames-Boucres, en passant par Tournehem, mais on est loin des crues de 2006 et 2007 ».

Début de l'événement : Novembre 2009

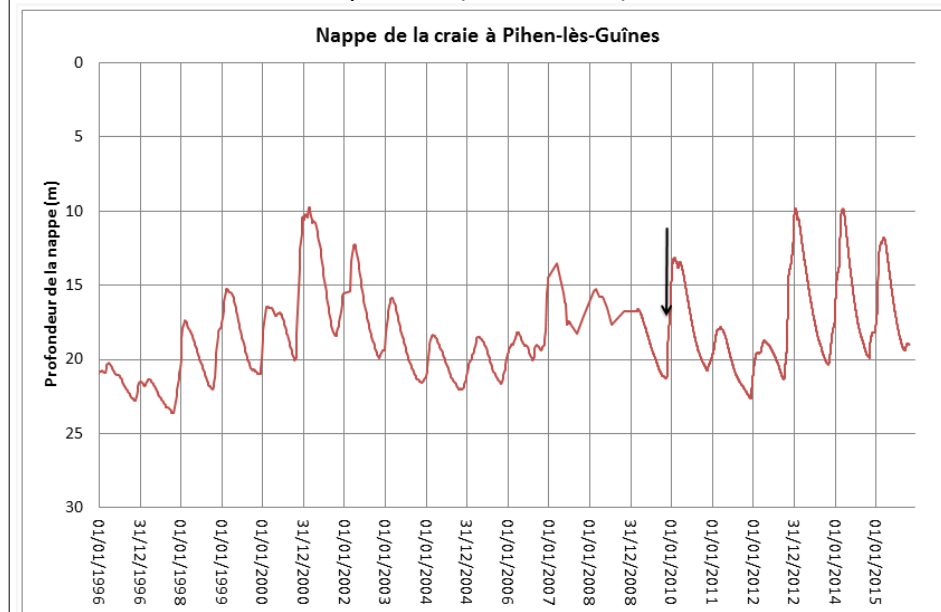
Contexte pluviométrique

Les figures ci-contre comparent les cumuls de précipitations mensuels mesurés entre août 2009 et novembre 2009, aux valeurs normales mensuelles calculées sur la période 1966-2015.

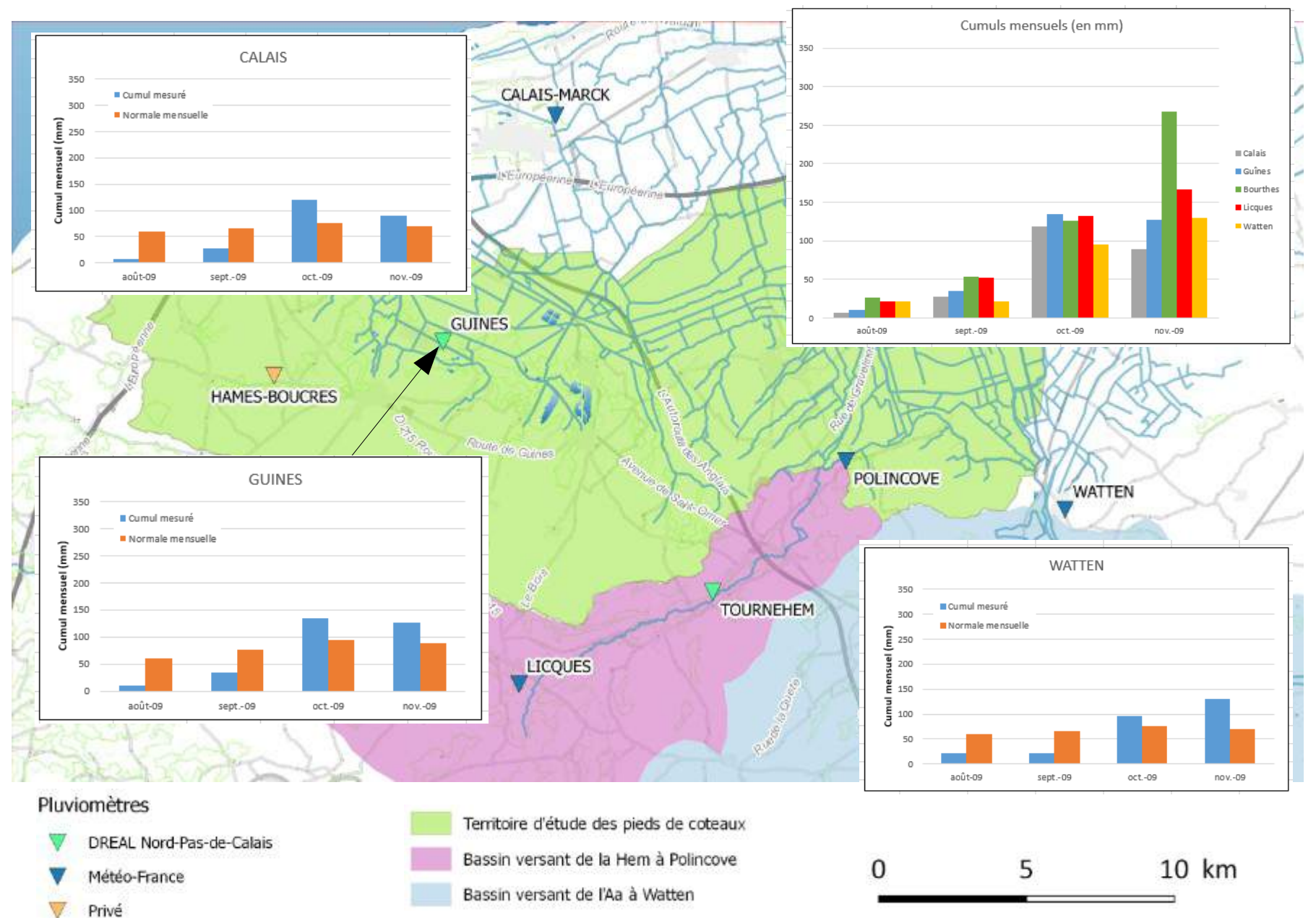
Les mois d'août et de septembre 2009 ont été secs alors que les mois d'octobre et de novembre (du 1^{er} au 24) ont été plutôt arrosés. Les cumuls sur ces 2 mois sont 50 % plus importants que les moyennes mensuelles. Cet écart supérieur à la moyenne n'est visible que sur Calais et Guînes pour le mois de septembre mais est généralisé pour le mois d'octobre, y compris sur la Hem (Licques) et l'Aa (Bourthes).

Contexte piézométrique

La figure ci-dessous présente l'évolution du niveau de la nappe de la craie à Pihen-lès-Guînes de 1996 à aujourd'hui et situe l'événement de novembre 2009 sur cette période (flèche noire).



L'évolution montre que cet épisode se situe dans une période où les niveaux de nappe sont bas, l'épisode faisant monter brusquement le niveau de 22 à 18 m de profondeur.



Début de l'événement : Novembre 2009

Contexte pluviométrique autour de l'événement

Les figures ci-contre présentent :

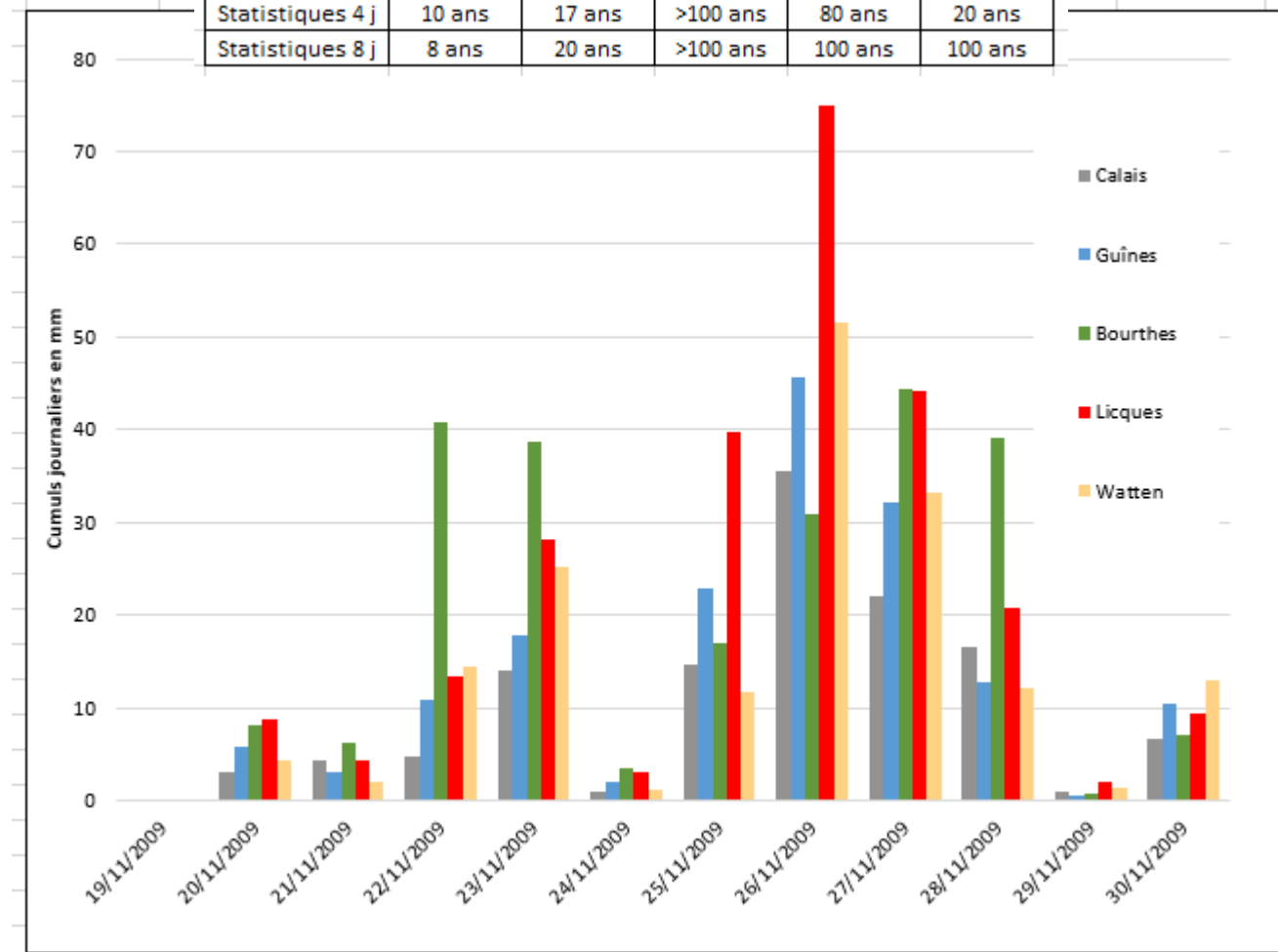
- les cumuls maximaux de pluie mesurés sur 1 j / 2 j / 4 j et 8 j calculés à partir des données journalières Météo-France (stations de Calais, Licques et Watten) et DREAL (statistiques 1 j seulement pour les stations de Bourthes) ;
- les cumuls journaliers des stations de Calais, Guînes, Licques, Watten et Bourthes entre le 19 et le 30 novembre 2009.

Les données montrent deux épisodes de pluies, les 22 et 23 novembre puis entre le 25 et le 28 novembre. C'est ce deuxième épisode qui a provoqué des inondations. Le premier épisode touche plus le bassin versant de l'Aa à l'amont de Watten et la Hem, avec des cumuls nettement plus importants à Bourthes et Licques qu'à Calais et Guînes. La journée la plus arrosée, sur le territoire des pieds de coteaux, est le 26 novembre avec des précipitations journalières de 35 à 45 mm.

Les cumuls sur 4 jours et 8 jours ont des périodes de retour de 10 à 20 ans sur les pieds de coteaux. En revanche, ces mêmes cumuls sur l'Aa à l'amont de Watten et sur la Hem ont des périodes de retour rares, de l'ordre de 100 ans.

C'est bien ces cumuls importants, avec un premier épisode saturant la plaine, associés au mois déjà excédentaire d'octobre 2009 qui semblent à l'origine de cet événement majeur.

Cumul (mm)	Calais	Guînes	Licques	Watten	Bourthes
20/11/2009	3	5,9	8,7	4,4	8,1
21/11/2009	4,4	3,2	4,3	2	6,3
22/11/2009	4,8	10,8	13,5	14,4	40,8
23/11/2009	14	17,9	28,2	25,2	38,8
24/11/2009	1	2	3,2	1,3	3,5
25/11/2009	14,7	23	39,8	11,8	17,1
26/11/2009	35,6	45,6	75	51,6	31
27/11/2009	22,1	32,1	44,2	33,2	44,3
28/11/2009	16,5	12,8	20,8	12,1	39,2
Statistiques 1 j	2 ans	5 ans	30 ans	15 ans	4 ans
Statistiques 2 j	5 ans	13 ans	80 ans	40 ans	10 ans
Statistiques 4 j	10 ans	17 ans	>100 ans	80 ans	20 ans
Statistiques 8 j	8 ans	20 ans	>100 ans	100 ans	100 ans



Début de l'événement : Novembre 2009

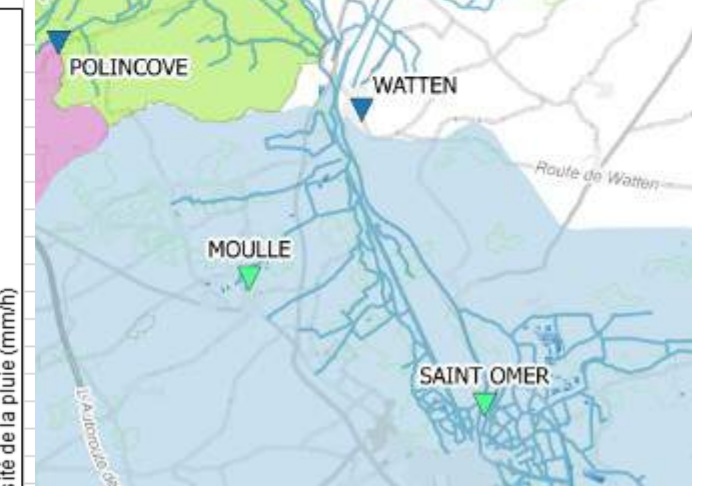
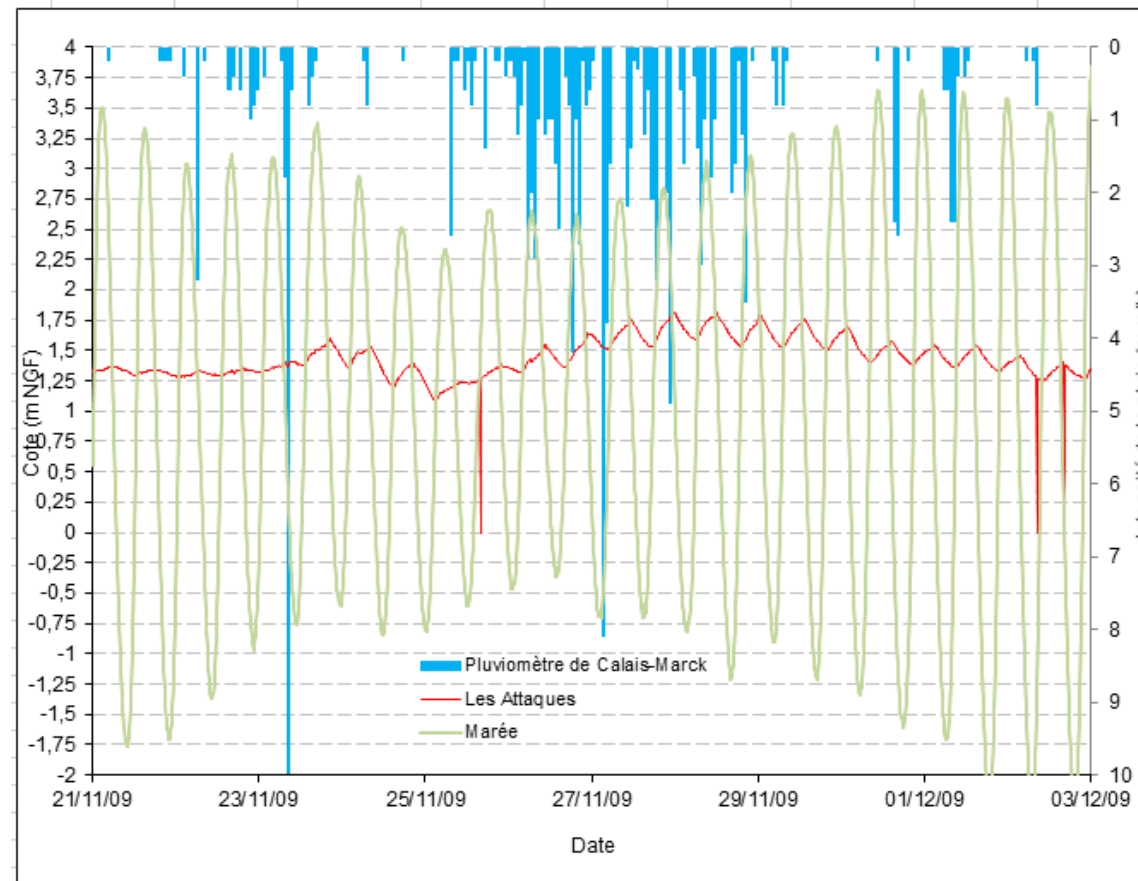
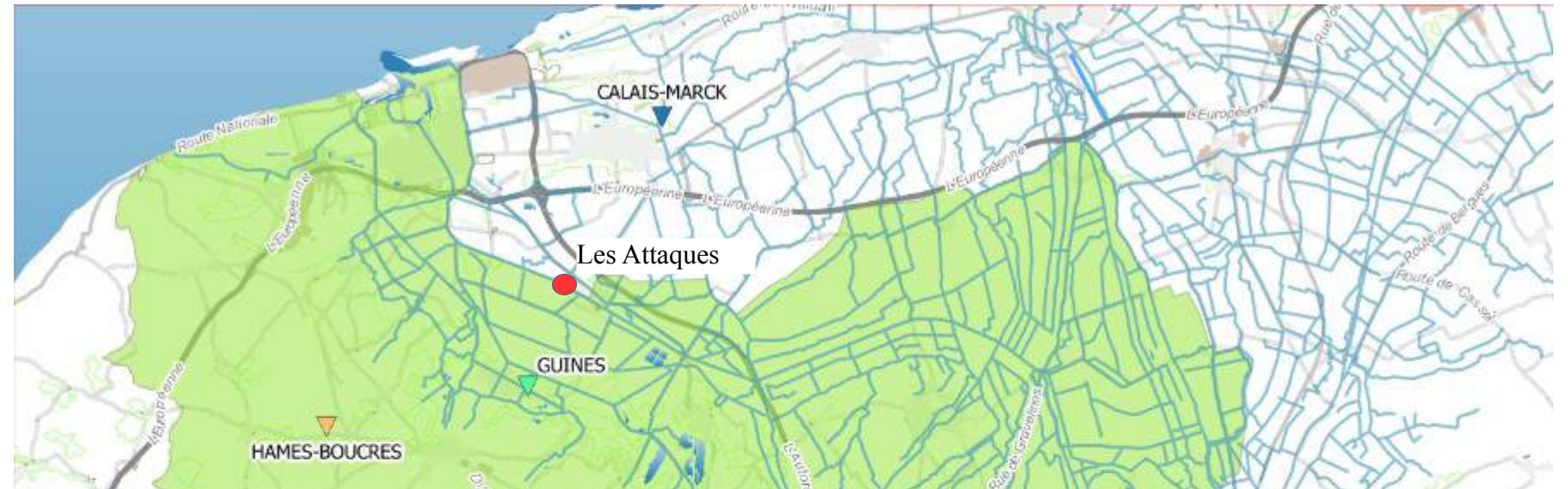
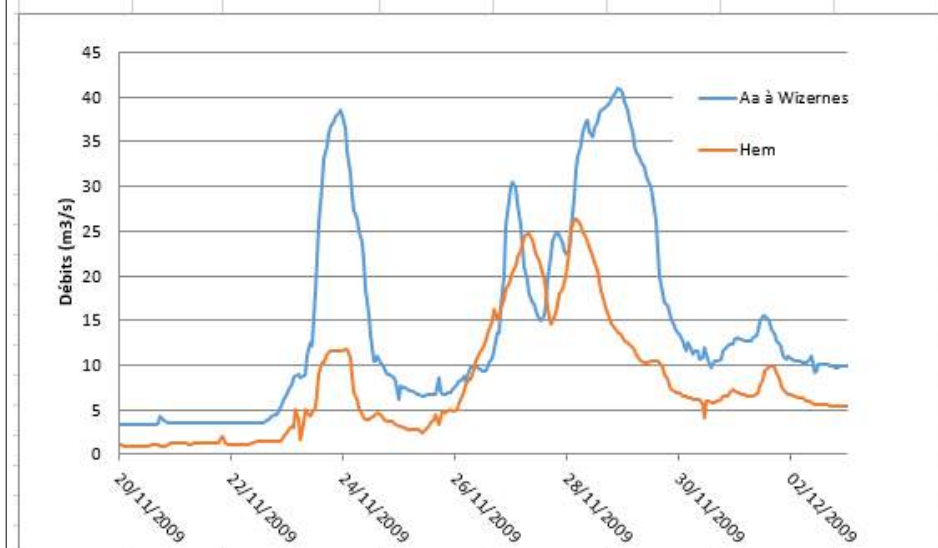
Dynamique de crue

La figure ci-contre montre l'évolution de la cote du canal de Calais à la station des Attaques en fonction des cumuls pluviométriques à la station de Calais.

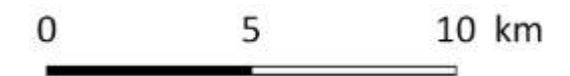
Le canal de Calais réagit un peu au premier épisode de pluie du 22-23 novembre et son niveau atteint à 1,60 m NGF. Les cumuls beaucoup plus importants du 25 au 28 novembre vont nettement faire réagir le canal de Calais, avec une cote maximum de 1,80 m NGF. La marée de mortes-eaux (amplitude faible) en montée de crue limite l'évacuation à marée basse et apparaît donc comme un facteur aggravant.

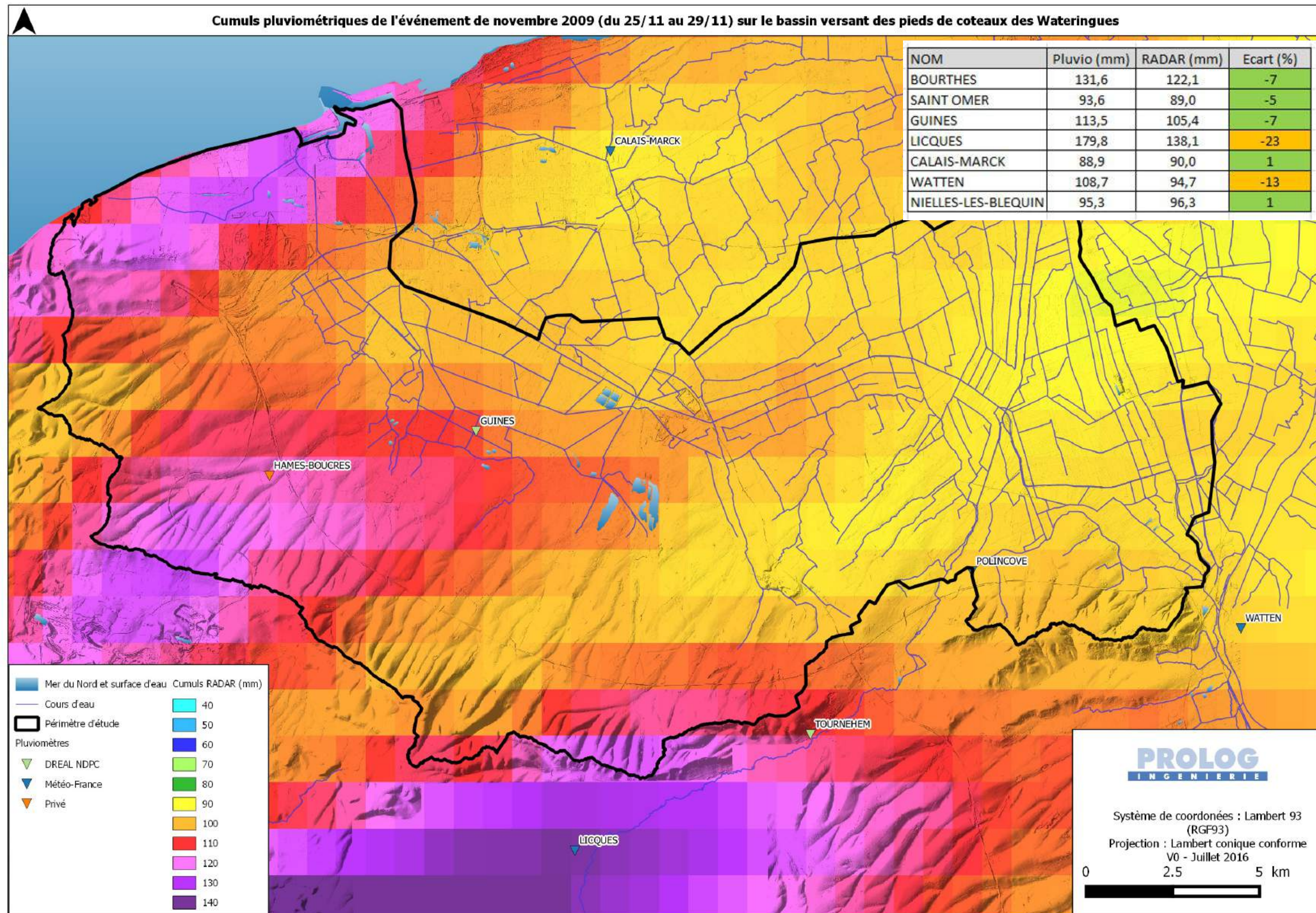
Sont représentés sur la figure ci-dessous les hydrogrammes de l'Aa à Wizernes (amont du Marais Audomarois) et de la Hem à Recques-sur-Hem (amont séparation Meulstroom / Tiret).

Les débits de pointe de l'Aa sont mesurés à près de 38 m³/s et 41 m³/s à Wizernes, correspondant à une période de retour de 10 ans d'après la Banque Hydro. La Hem enregistre des débits de pointe de 12 m³/s et 26 m³/s à Recques-sur-Hem, pour une période de retour de 10 ans.



- Territoire d'étude des pieds de coteaux
- Bassin versant de la Hem à Polincove
- Bassin versant de l'Aa à Watten





Début de l'événement : Novembre 2012

Nature du désordre : Débordement, ruissellement

Nombre d'informations propres à l'événement : 80

Nombre d'informations géolocalisées : 32

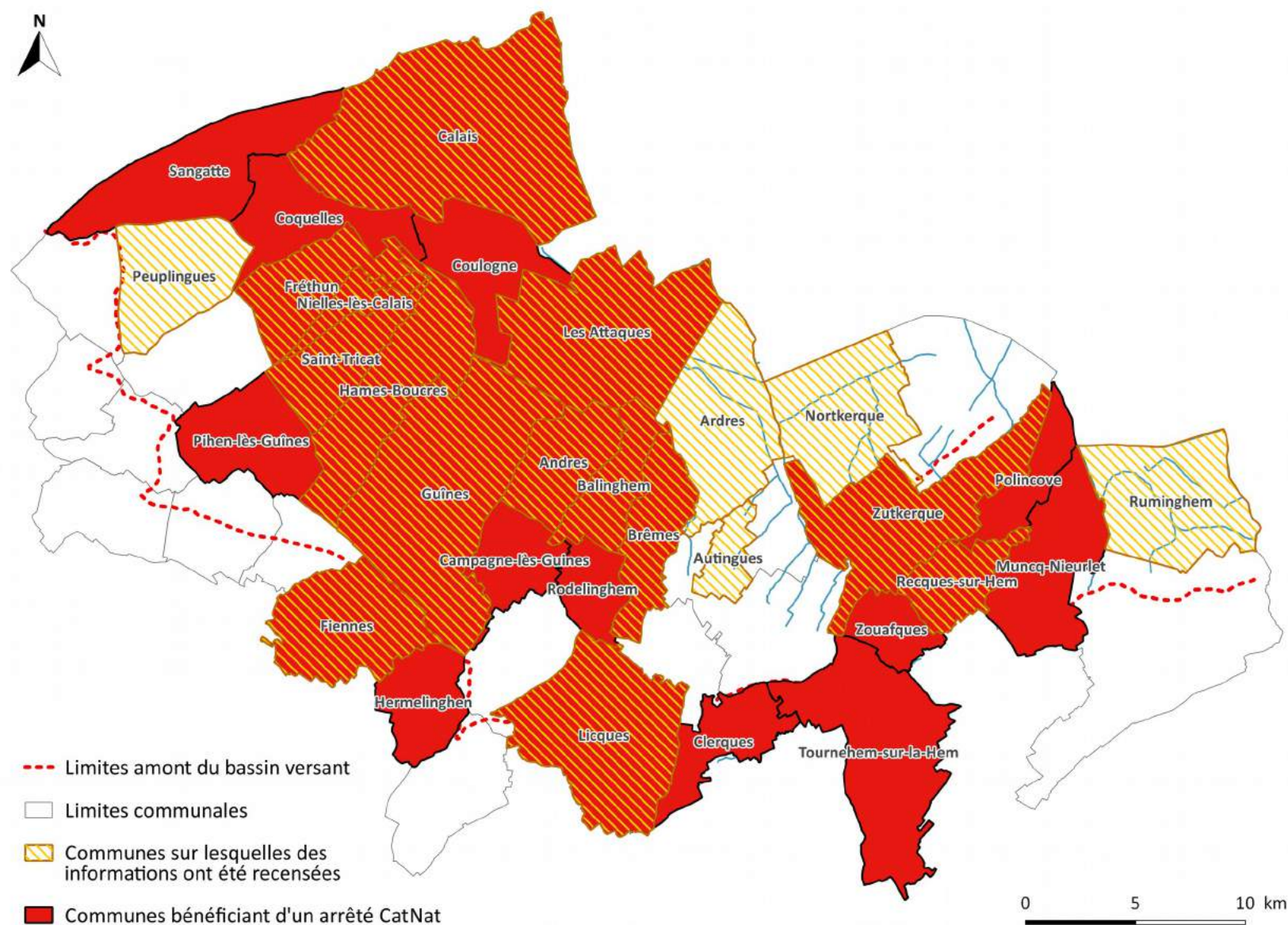
Dont repères de crue : 6

Dont témoignages ponctuels : 4

Dont informations à la rue ou au quartier : 22



Cartographie des communes touchées par l'événement



À peine quatre jours après l'inondation d'octobre 2012, le 2 novembre 2012, une inondation très importante a impacté le territoire d'étude. Il s'agit probablement de la plus significative connue, après celle d'août 2006. La majorité des communes des pieds de coteaux des Wateringues ont fait l'objet d'arrêtés de catastrophe naturelle, et des informations ont été collectées pour un grand nombre d'entre elles, quant aux conséquences de cette inondation.

Afin de souligner l'intensité de cet événement, on relève entre autres les informations suivantes au sein des articles de presse de l'époque : 60 cm d'eau par endroits à Balinghem « noyé sous la Rivière Neuve » ; 80 cm d'eau par endroits et « trente maisons inondées à Hames-Boucres » ; « le batelage de Guînes n'a pas connu pareille inondation depuis 2006 » ; « une dizaine d'habitations, proches du lac d'Ardres, ont été victimes de la montée des eaux » ; etc. Enfin, notons que plusieurs dizaines de rues ont également été inondées, réparties un peu partout au sein du territoire d'étude.

L'inondation de novembre 2012 apparaît donc très intense au vu du nombre d'enjeux touchés et des hauteurs atteintes par les eaux.

Début de l'événement : Novembre 2012

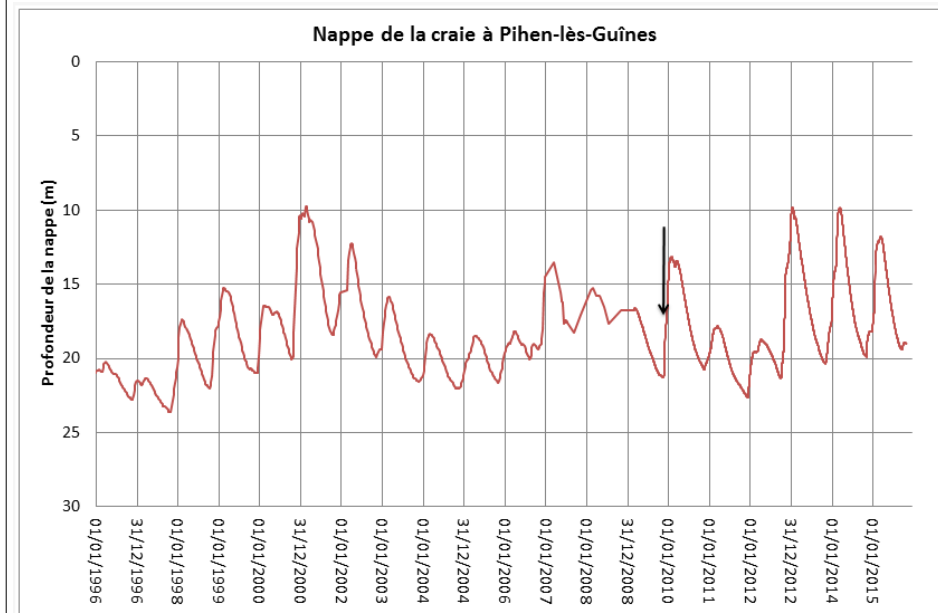
Contexte pluviométrique

Les figures ci-contre comparent les cumuls de précipitations mensuels mesurés entre août 2012 et octobre 2012, aux valeurs normales mensuelles calculées sur la période 1966-2015.

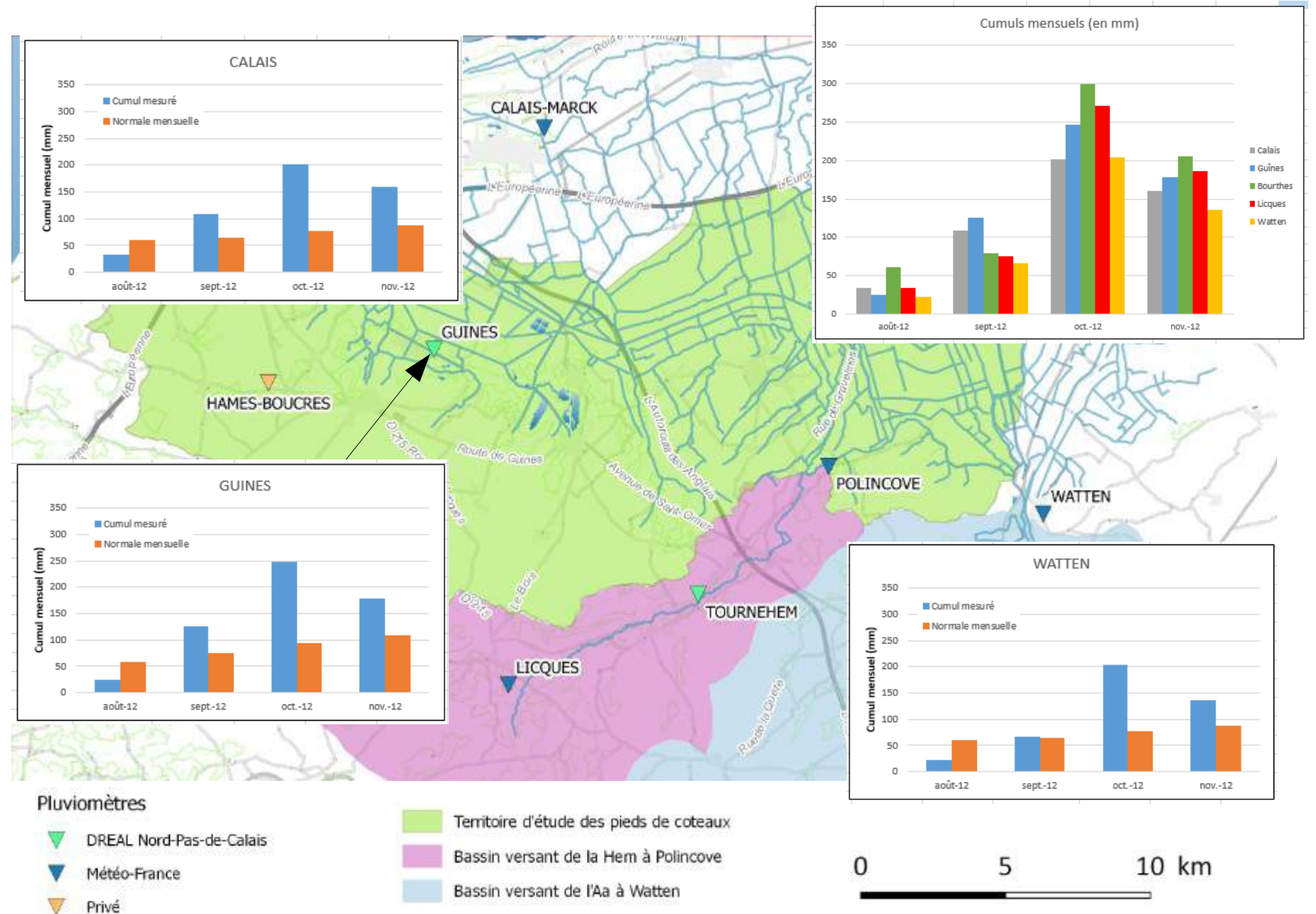
Les mois de septembre, et surtout octobre 2012, ont été très arrosés : les cumuls sur ces 2 mois sont deux fois plus importants que les moyennes mensuelles, impliquant très probablement la saturation des sols. Cet écart supérieur à la moyenne n'est visible que sur Calais et Guînes pour le mois de septembre mais est généralisé pour le mois d'octobre, y compris sur la Hem (Licques) et l'Aa (Bourthes).

Contexte piézométrique

La figure ci-dessous présente l'évolution du niveau de la nappe de la craie à Pihen-lès-Guînes de 1996 à aujourd'hui et situe l'événement de novembre 2012 sur cette période (flèche noire).



L'évolution montre que cet épisode se situe dans une période où les niveaux de nappe sont bas, l'épisode faisant monter brusquement le niveau de 20 à 15 m de profondeur.



Début de l'événement : Novembre 2012

Contexte pluviométrique autour de l'événement

Les figures ci-contre présentent :

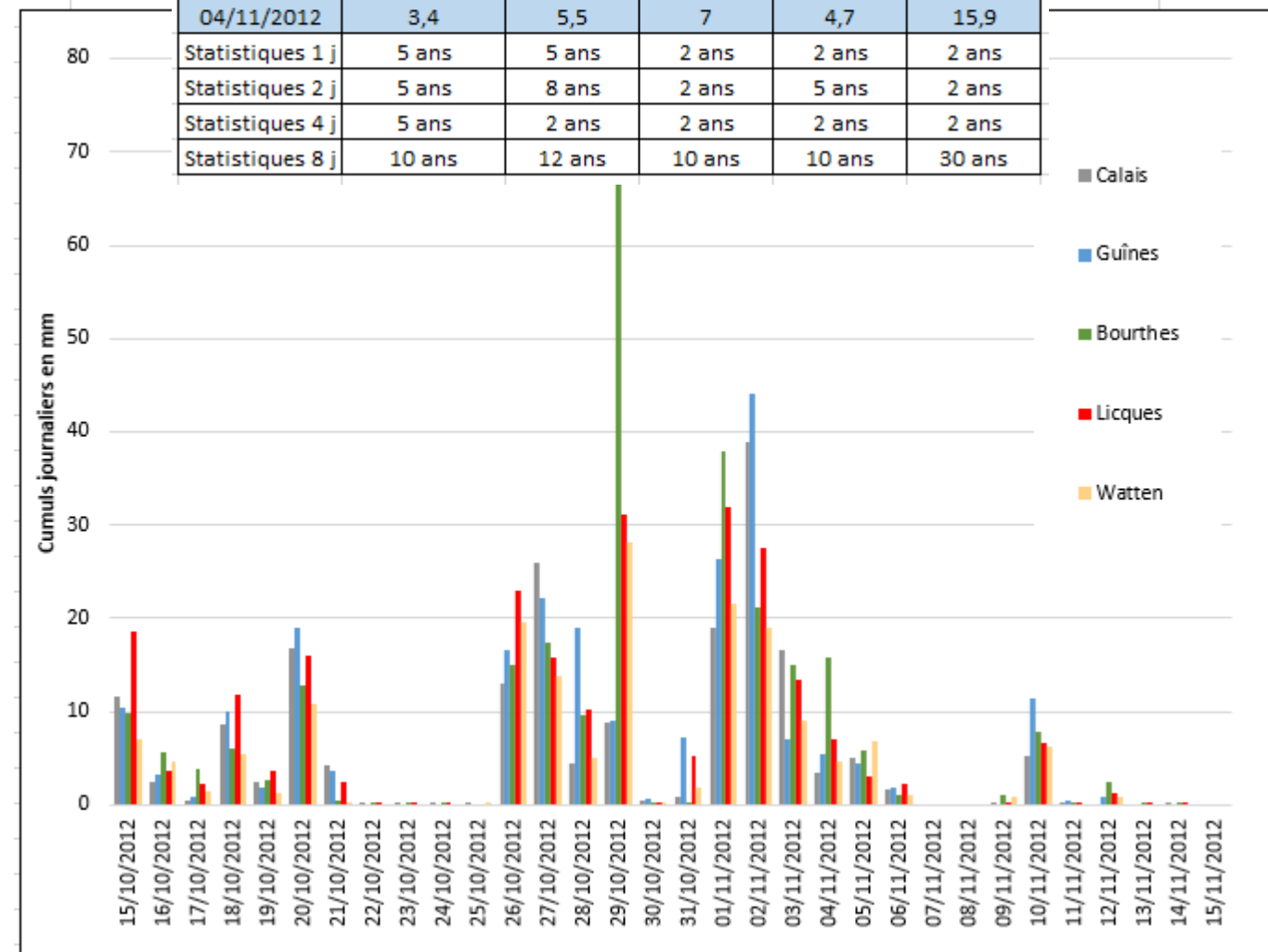
- les cumuls maximaux de pluie mesurés sur 1 j / 2 j / 4 j et 8 j calculés à partir des données journalières Météo-France (stations de Calais, Licques et Watten) et DREAL (statistiques 1 j seulement pour les stations de Bourthes) ;
- les cumuls journaliers des stations de Calais, Guînes, Licques, Watten et Bourthes entre le 15 octobre et le 15 novembre 2012.

Les données montrent deux épisodes de pluies, entre le 26 et le 29 octobre puis entre le 1^{er} et 4 novembre. C'est ce deuxième épisode qui a provoqué des inondations. Le premier épisode touche plus le bassin versant de l'Aa à l'amont de Watten et la Hem, avec des cumuls nettement plus importants à Bourthes et Licques qu'à Calais et Guînes. La journée la plus arrosée, sur le territoire des pieds de coteaux, est le 2 novembre avec des précipitations journalières autour de 40 à 45 mm.

Les cumuls sur un à 4 jours, même s'ils sont conséquents, ne semblent pas exceptionnels pour autant (périodes de retour de 2 à 5 ans). En revanche les cumuls sur 8 jours (en prenant en compte le premier épisode) commencent à montrer des périodes de retour plus rares, de l'ordre de 10 ans.

C'est bien ces cumuls importants, avec un premier épisode saturant la plaine, associés aux mois déjà excédentaires de septembre et octobre 2012 qui semblent à l'origine de cet événement majeur.

Cumul (mm)	Calais	Guînes	Licques	Watten	Bourthes
26/10/2012	13,1	16,6	10,7	19,6	15,1
27/10/2012	25,9	22,2	16,7	13,8	17,4
28/10/2012	4,4	19,1	5	5,1	9,7
29/10/2012	8,8	9,1	35,1	28,2	72
30/10/2012	0,4	0,6	0,2	0,3	0,3
31/10/2012	0,8	7,3	2	1,8	0,3
01/11/2012	19,1	26,3	32	21,6	37,9
02/11/2012	38,9	44,1	27,6	19	21,1
03/11/2012	16,6	7	13,5	9,1	15
04/11/2012	3,4	5,5	7	4,7	15,9
Statistiques 1 j	5 ans	5 ans	2 ans	2 ans	2 ans
Statistiques 2 j	5 ans	8 ans	2 ans	5 ans	2 ans
Statistiques 4 j	5 ans	2 ans	2 ans	2 ans	2 ans
Statistiques 8 j	10 ans	12 ans	10 ans	10 ans	30 ans



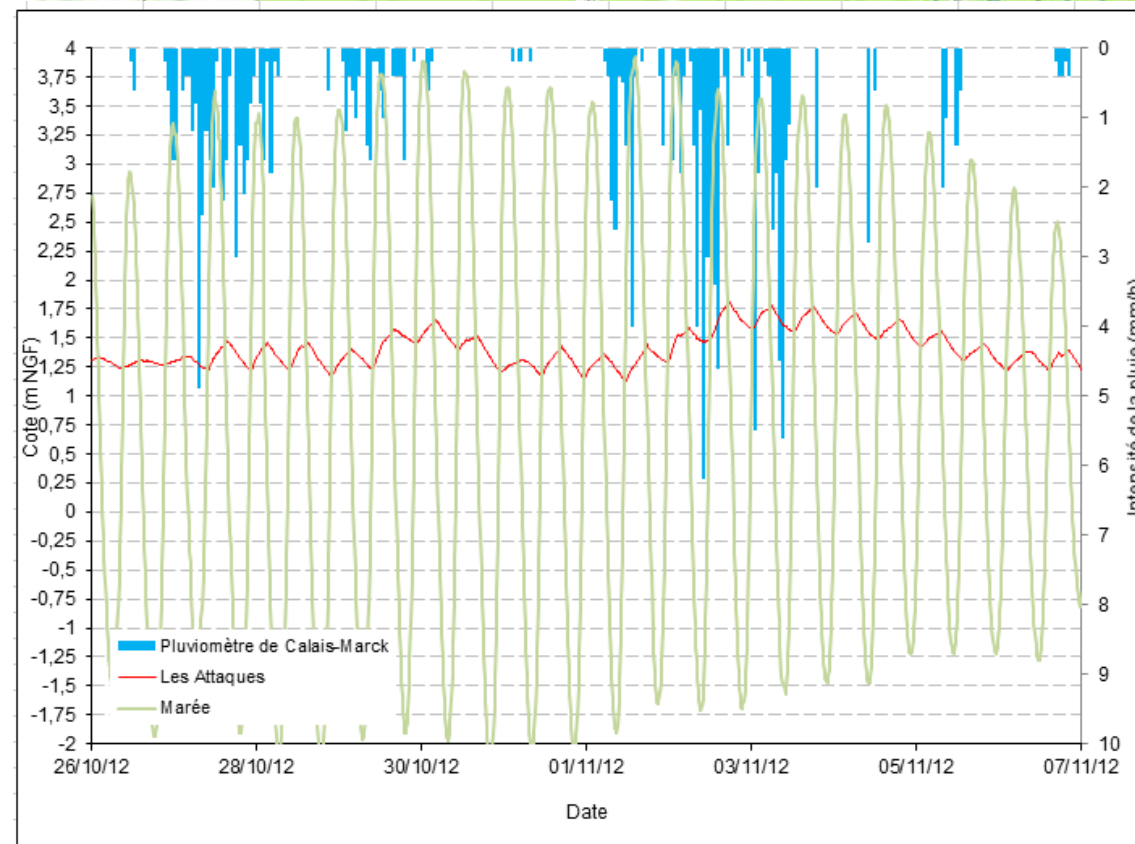
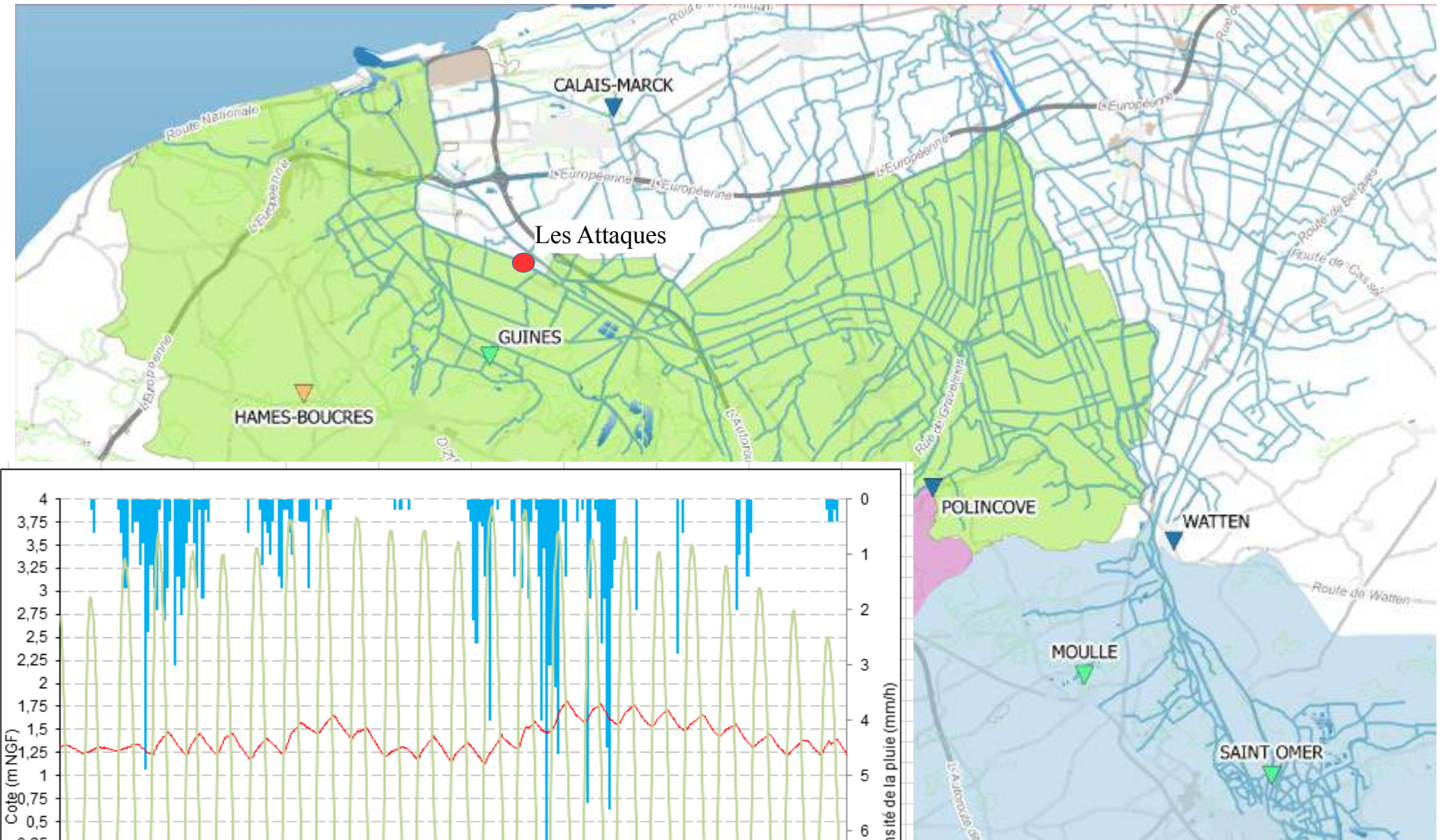
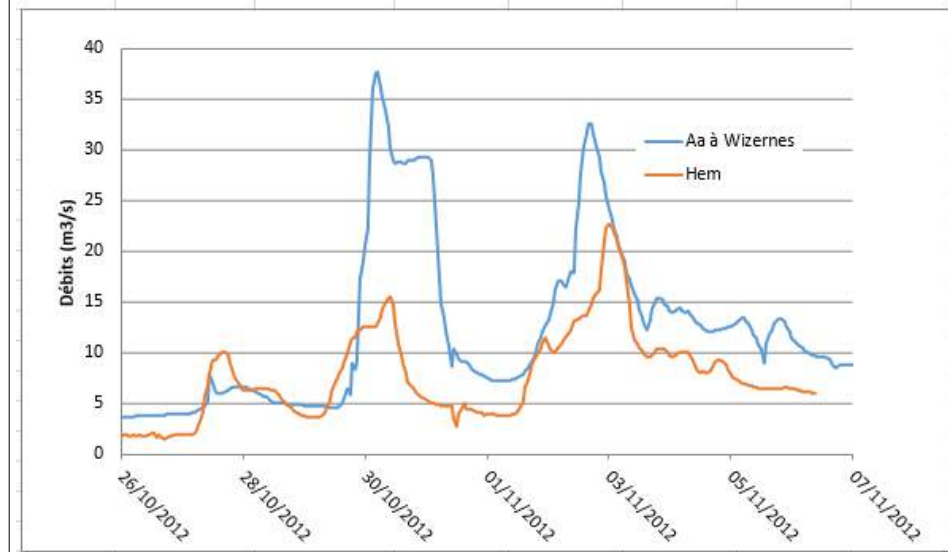
Dynamique de crue

La figure ci-contre montre l'évolution de la cote du canal de Calais à la station des Attaques en fonction des cumuls pluviométriques à la station de Calais.

Le canal de Calais réagit peu au premier épisode de pluie du 27-28 octobre. Le cumul de pluie plutôt faible du 29 octobre fait pourtant augmenter le niveau du canal de Calais à 1,65 m NGF. En effet, le premier épisode a saturé la plaine et les cumuls beaucoup plus importants du 1^{er} au 3 novembre vont nettement faire réagir le canal de Calais, avec une cote maximum de 1,81 m NGF. L'amplitude de la marée est forte, favorisant ainsi le tirage gravitaire à marée basse.

Sont représentés sur la figure ci-dessous les hydrogrammes de l'Aa à Wizernes (amont du Marais Audomarois) et de la Hem à Recques-sur-Hem (amont séparation Meulstroom / Tiret).

Les débits de pointe de l'Aa sont mesurés à près de 38 m³/s et 32 m³/s à Wizernes, correspondant à une période de retour de 5 à 10 ans d'après la Banque Hydro. La Hem enregistre des débits de pointe de 15 m³/s et 22 m³/s à Recques-sur-Hem, pour une période de retour de 3 ans.



- Territoire d'étude des pieds de coteaux
- Bassin versant de la Hem à Polincove
- Bassin versant de l'Aa à Watten

