

Etude hydrologique et hydraulique sur les bassins versants du Boulonnais



LIVRABLE n°1
Contexte et méthodes

Affaire n° 14-391-01			
Version	Date	Rédigé par	Validé par
0.1	22/12/2014	F. DOUSSIÈRE	M. DELBEC
0.2	09/02/2015	F. DOUSSIÈRE	M. DELBEC
0.3	23/04/2015	F. DOUSSIÈRE	M. DELBEC
0.4	12/10/2015	F. DOUSSIÈRE	M. DELBEC

Table des matières

1 -Contexte et objectifs de l'étude.....	13
1.1Contexte et objectifs.....	13
1.2Contenu du rapport.....	14
1.3Synthèse-conclusions.....	15
2 -Bibliographie.....	19
2.1Liste des documents récupérés.....	19
2.2Analyse bibliographique.....	19
2.2.1SAGE du bassin côtier du Boulonnais.....	19
2.2.2Étude SOGREAH 2008.....	21
2.2.2.1Modèle hydrologique-hydraulique.....	21
2.2.2.2Calage.....	21
2.2.2.3Scénarios hydrologiques.....	21
2.2.3Étude LHF 1995.....	22
2.2.3.1Analyse hydrologique.....	22
2.2.3.2Modélisation pluie-débit.....	24
3 -Présentation du territoire d'étude.....	26
3.1Caractéristiques physiques des bassins versants.....	26
3.1.1Bassin versant de la Liane.....	26
3.1.2Bassin versant du Wimereux.....	26
3.1.3Bassin versant de la Slack.....	28
3.2Occupation du sol.....	28
3.2.1Bassin versant de la Liane.....	30

3.2.2 Bassin versant du Wimereux.....	31
3.2.3 Bassin versant de la Slack.....	32
3.3 Géologie et hydrogéologie.....	34
4 -Le risque inondation.....	37
4.1 Typologie et localisation du risque.....	37
4.2 Prévention des risques.....	40
4.3 Aménagements de protection.....	42
5 -Volet Hydrologie : « de la pluie au débit ».....	44
5.1 Présentation des données utilisées.....	44
5.1.1 Données pluviométriques.....	44
5.1.2 Données RADAR.....	46
5.1.3 Données hydrométriques.....	46
5.2 Contexte pluviométrique global.....	47
5.3 Analyse des crues récentes enregistrées.....	49
5.3.1 Historique.....	49
5.3.2 Analyse de la crue de novembre 2012.....	50
5.3.2.1 Le contexte pluviométrique des mois précédents.....	51
5.3.2.2 Le contexte pluviométrique autour de l'événement.....	51
5.3.2.3 Les précipitations du 28 octobre au 3 novembre 2012 et la genèse de la crue de la Liane.....	54
5.3.2.4 Bilan de l'événement de novembre 2012.....	56
5.3.3 Analyse de la crue de novembre 2009.....	57
5.3.3.1 Le contexte pluviométrique de l'événement.....	57
5.3.3.2 Les précipitations du 22 au 30 novembre 2009 et la genèse des crues.....	59
5.3.3.3 Bilan de l'événement de novembre 2009.....	63

<u>5.3.4</u>	<u>Analyse de la crue de décembre 2006.....</u>	<u>63</u>
5.3.4.1	Le contexte pluviométrique de l'événement.....	63
5.3.4.2	Les précipitations du 1er au 10 décembre 2006 et la genèse des crues.....	66
5.3.4.3	Bilan de l'événement de décembre 2006.....	68
<u>5.3.5</u>	<u>Analyse de la crue de novembre 2000.....</u>	<u>71</u>
5.3.5.1	Le contexte pluviométrique de l'événement.....	71
5.3.5.2	Les précipitations du 18 au 23 novembre 2000 et la genèse des crues.....	74
5.3.5.3	Bilan de l'événement de novembre 2000.....	74
<u>5.3.6</u>	<u>Analyse de la crue d'octobre-novembre 1998.....</u>	<u>75</u>
5.3.6.1	Le contexte pluviométrique de l'événement.....	75
5.3.6.2	Les précipitations du 23 octobre au 3 novembre et la genèse des crues.....	77
5.3.6.3	Bilan de l'événement de novembre 1998.....	78
<u>5.3.7</u>	<u>Bilan des principaux événements.....</u>	<u>78</u>
<u>5.4</u>	<u>Analyse statistique des débits</u>	<u>80</u>
<u>5.4.1</u>	<u>Analyse ponctuelle de la Liane à Wirwignes.....</u>	<u>80</u>
5.4.1.1	Présentation de la chronique disponible	80
5.4.1.2	Qualité des données.....	82
5.4.1.3	Échantillonnage des débits	83
5.4.1.4	Ajustement d'une loi de probabilité.....	85
5.4.1.5	Extrapolation des débits rares selon la méthode du Gradex esthétique.....	86
<u>5.4.2</u>	<u>Analyse ponctuelle du Wimereux à Wimille.....</u>	<u>89</u>
5.4.2.1	Présentation de la chronique disponible.....	89
5.4.2.2	Qualité des données.....	91
5.4.2.3	Échantillonnage des débits.....	92
5.4.2.4	Ajustement d'une loi de probabilité.....	93
5.4.2.5	Extrapolation des débits rares selon la méthode du Gradex esthétique	95

<u>5.4.3</u>	<u>Analyse ponctuelle de la Slack à Rinxent.....</u>	<u>97</u>
5.4.3.1	Présentation de la chronique disponible.....	97
5.4.3.2	Qualité des données.....	98
5.4.3.3	Échantillonnage des débits.....	99
5.4.3.4	Ajustement d'une loi de probabilité.....	100
5.4.3.5	Extrapolation des débits rares selon la méthode du Gradex esthétique	102
<u>5.4.4</u>	<u>Bilan et conséquences sur la suite de l'étude : définition de scénarios de référence.....</u>	<u>104</u>
<u>5.5</u>	<u>Modélisation pluie-débit à l'échelle des bassins versants.....</u>	<u>105</u>
5.5.1	Objectifs et limites de la modélisation pluie-débit.....	105
5.5.2	Le découpage en sous-bassins versants.....	105
5.5.2.1	Préparation du Modèle Numérique de Terrain (MNT).....	106
5.5.2.2	Création d'une grille d'accumulation.....	106
5.5.2.3	Création du réseau hydrographique.....	107
5.5.2.4	Découpage automatique des sous-bassins versants.....	109
5.5.2.5	Correction manuelle du découpage.....	110
5.5.2.6	Découpage final en sous bassins versants d'apports.....	110
5.5.3	Caractéristiques physiques des sous-bassins versants.....	112
5.5.4	Mise en œuvre de la méthode pluie-débit.....	114
5.5.4.1	Les principes théoriques de l'approche.....	114
5.5.4.2	Choix de la fonction de production.....	114
5.5.4.3	Choix de la fonction de transfert.....	117
<u>6</u>	<u>-Volet Hydraulique : du débit au niveau.....</u>	<u>121</u>
6.1	Présentation des données utilisées.....	121
6.1.1	Données topographiques.....	121
6.1.1.1	Bassins versants et lits majeurs.....	121

6.1.1.2Lits mineurs des cours d'eau.....	122
6.1.2Données d'ouvrages.....	125
6.1.2.1Les ouvrages hydrauliques.....	125
6.1.2.2Les ouvrages de franchissement.....	125
6.1.3Données limnimétriques.....	126
6.1.4Photographies de crues.....	127
6.2Méthodes utilisées pour la modélisation hydraulique.....	128
6.2.1Généralités.....	128
6.2.2Construction du modèle hydraulique.....	131
6.2.2.1Élaboration du Modèle Numérique de Terrain.....	131
6.2.2.2Modélisation des écoulements en lit mineur.....	131
6.2.2.3Modélisation des débordements en lit majeur.....	131
6.2.2.4Prise en compte des affluents.....	135
6.2.3Conditions aux limites du modèle.....	136
6.2.3.1Conditions aux limites amont.....	136
6.2.3.2Conditions aux limites aval.....	136

Index des illustrations

Figure 1 - La démarche adoptée dans le cadre de l'étude.....	14
Figure 2 - Recensement des principales crues historiques.....	15
Figure 3 - Hyétoigrammes des scénarios hydrologiques retenus (Source : étude SOGREAH, 2008)...	22
Figure 4 - Bassins versants du Boulonnais.....	27
Figure 5 - Occupation des sols des bassins versants du Boulonnais.....	29
Figure 6 - Carte géologique du bassin du Boulonnais (source: Infoterre, BRGM).....	35
Figure 7 - Les risques d'inondation et les phénomènes de sédimentation sur le bassin côtier du Boulonnais (Source : Atlas cartographique du SAGE du Boulonnais, 2013).....	38
Figure 8 - Nombre d'arrêtés de catastrophe naturelle par inondation pour les communes du Boulonnais.....	39
Figure 9 - Carte de zonage réglementaire du PPRI de la Liane (Source : cartorisque.prim.net).....	41
Figure 10 - Exemple de carte d'aléa sur la commune du Wast sur le bassin versant du Wimereux (Source : Préfecture du Pas-de-Calais, novembre 2010).....	41
Figure 11 - Cumuls annuels (en mm) mesurés aux stations de Desvres, Henneveux, Wirwignes et Boulogne-sur-Mer sur la période 1992-2012.....	48
Figure 12 - Moyennes inter-annuelles des cumuls de pluie (en mm) mesurés aux stations de Desvres, Henneveux, Wirwignes et Boulogne-sur-Mer sur la période 1992-2012.....	48
Figure 13 - Principaux événements recensés sur le Boulonnais de 1975 à aujourd'hui.....	49
Figure 14 - Précipitations journalières sur les bassins versants du Boulonnais du 1er octobre au 6 novembre 2012 (Sources : DREAL et Météo-France).....	52
Figure 15 - Précipitations journalières sur les bassins versants du Boulonnais du 26 octobre au 6 novembre 2012 (Sources : DREAL et Météo-France).....	52
Figure 16 - Précipitations horaires à Desvres et Henneveux et débits de la Liane, du Wimereux et de la Slack du 28 octobre au 6 novembre 2012 (Sources : Banque HYDRO et Météo-France).....	54
Figure 17 - Cumuls des lames d'eau RADAR du 1er novembre 2012 20h au 2 novembre 2012 18h.	55

Figure 18 - Précipitations journalières sur les bassins versants du Boulonnais du 22 au 30 novembre 2009 (Sources : DREAL et Météo-France).....	58
Figure 19 - Précipitations horaires à Desvres et Henneveux et débits de la Liane, du Wimereux et de la Slack du 22 au 30 novembre 2009 (Sources : Banque HYDRO et Météo-France).....	59
Figure 20 - Cumuls des lames d'eau RADAR du 22 novembre 2009 14h au 23 novembre 2009 17h..	61
Figure 21 - Cumuls des lames d'eau RADAR du 26 novembre 2009 2h au 27 novembre 2009 2h.....	62
Figure 22 - Précipitations journalières sur les bassins versants du Boulonnais du 30 novembre au 13 décembre 2006 (Sources : DREAL et Météo-France).....	65
Figure 23 - Précipitations horaires à Desvres et Henneveux et débits de la Liane, du Wimereux et de la Slack du 1er au 10 décembre 2006 (Sources : Banque HYDRO et Météo-France).....	66
Figure 24 - Cumuls des lames d'eau RADAR du 3 décembre 2006 10h au 4 décembre 2006 12h.....	69
Figure 25 - Cumuls des lames d'eau RADAR du 8 décembre 2006 de 6h à 19h.....	70
Figure 26 - Précipitations journalières sur les bassins versants du Boulonnais du 22 octobre au 28 novembre 2000 (Sources : DREAL et Météo-France).....	72
Figure 27 - Précipitations horaires à Desvres et Henneveux et débits de la Liane, du Wimereux et de la Slack du 18 au 23 novembre 2000 (Sources : Banque HYDRO et Météo-France).....	74
Figure 28 - Précipitations journalières sur les bassins versants du Boulonnais du 20 octobre au 6 novembre 1998 (Sources : DREAL et Météo-France).....	76
Figure 29 - Précipitations horaires à Desvres et Henneveux et débits de la Liane et du Wimereux du 23 octobre au 3 novembre 1998 (Sources : Banque HYDRO et Météo-France).....	78
Figure 30: Chronique des débits sur la station de Wirwignes sur la Liane (Source : données banque HYDRO, procédure QTVAR).....	81
Figure 31 Répartition des crues maximales annuelles (n=46) au cours de l'année à la station de Wirwignes sur la Liane (Source : données banque HYDRO).....	81
Figure 32: Jaugeages et courbe de tarage sur la station de Wirwignes depuis 1981 (Source : DREAL Nord-Pas-de-Calais).....	82
Figure 33: Échantillon du débit de pointe QIX sur la station de Wirwignes.....	84
Figure 34 Prise de vue de la zone d'expansion en amont de la station de Wirwignes sur la liane	

(Source : DREAL Nord-Pas-de-Calais).....	84
Figure 35: Estimation des quantiles de crues QIX à Wirwignes suite à la méthode d'ajustement de la loi de Gumbel.....	85
Figure 36: Ajustement de la loi de Gumbel sur l'échantillon QIX de la station de Wirwignes.....	86
Figure 37 : Sensibilité des extrapolations Gradex esthétique sur les débits maximaux (QIX) de la Liane à Wirwignes selon le choix de la période de retour pivot Tg.....	88
Figure 38 : Estimation des quantiles de crues QIX à Wirwignes selon les différentes méthodes.....	89
Figure 39: Chronique des débits sur la station de Wimille sur le Wimereux (Source : données banque HYDRO procédure QTVAR).....	90
Figure 40: Répartition des crues maximales annuelles (n=36) au cours de l'année sur la station de Wimille sur le Wimereux.....	91
Figure 41: Jaugeages et courbe de tarage sur la station de Wimille sur le Wimereux depuis 2003 (Source : DREAL Nord-Pas-de-Calais).....	92
Figure 42: Échantillon des débits de pointe sur la station de Wimille.....	93
Figure 43: Estimation des quantiles de crues QIX à Wimille selon la méthode d'ajustement de la loi de Gumbel.....	94
Figure 44: Ajustement de la loi de Gumbel sur l'échantillon en QIX (débits maximaux) sur la station de Wimille.....	94
Figure 45: Sensibilité des extrapolations Gradex esthétique sur les débits maximaux (QIX) du Wimereux à Wimille selon le choix de la période de retour pivot Tg.....	95
Figure 46: Estimation des quantiles de crues QIX (débits maximaux) à Wimille selon les différentes méthodes.....	96
Figure 47 : Chronique des débits sur la station de Rinxent sur la Slack (Source : données banque HYDRO procédure QTVAR).....	97
Figure 48: Répartition des crues maximales annuelles (n=17) au cours de l'année sur la station de Rinxent sur la Slack.....	98
Figure 49: Jaugeages et courbe de tarage sur la station de Rinxent sur la Slack depuis 1998 (source : DREAL Nord-Pas-de-Calais).....	99

Figure 50: Échantillon des débits de pointe sur la station de Rinxent.....	100
Figure 51: Estimation des quantiles de crues QIX (débits maximaux) à Rinxent selon la méthode d'ajustement de la loi de Gumbel.....	101
Figure 52: Ajustement de la loi de Gumbel sur l'échantillon en QIX (débits maximaux) sur la station de Rinxent.....	102
Figure 53: Sensibilité des extrapolations Gradex esthétique sur les débits maximaux (QIX) de la Slack à Rinxent selon le choix de la période de retour pivot T_g	103
Figure 54: Estimation des quantiles de crues QIX à Rinxent selon les différentes méthodes.....	103
Figure 55- Grille d'accumulation obtenue sous SAGA GIS.....	107
Figure 56- Réseau hydrographique grossier obtenu sous SAGA GIS.....	108
Figure 57- Réseau hydrographique fin obtenu sous SAGA GIS.....	109
Figure 58- Découpage topographique des sous bassins versants par SAGA GIS.....	110
Figure 59 - Découpage en sous-bassins des bassins versants de la Liane, du Wimereux et de la Slack	111
Figure 60 - Pentés moyennes des sous-bassins des bassins versants de la Liane, du Wimereux et de la Slack.....	113
Figure 61 - Principe de juxtaposition des hydrogrammes unitaires pour une averse non unitaire (extrait de Réméniéras, 1972).....	118
Figure 62 - Caractéristiques de l'hydrogramme unitaire.....	118
Figure 63 - Localisation des profils en travers et coupes d'ouvrages disponibles sur la Liane.....	123
Figure 64 - Localisation des profils en travers et coupes d'ouvrages disponibles sur le Wimereux. .	124
Figure 65 : Principe de construction du modèle hydraulique 1D/2D.....	130
Figure 66: Principe du maillage 2D suivant la topographie.....	133
Figure 67: Vue des zones de rugosité différenciée dans le secteur de Pernes-lès-Boulogne.....	134
Figure 68: Modélisation sommaire des affluents (en jaune) du Wimereux (en bleu).....	135

Index des tables

Tableau 1 - Pluie journalière calculée pour différentes périodes de retour de 1995 à 2013.....	15
Tableau 2 - Caractéristiques des événements récents.....	16
Tableau 3 : Estimation des débits caractéristiques de crues des cours d'eau du Boulonnais.....	17
Tableau 4 - Débits journaliers et débits de crue de la Liane à Wirwignes, du Wimereux à Wimille et de la Slack à Rincent (Source : SAGE et Banque Hydro).....	20
Tableau 5 - Pluviométrie de référence et périodes de retour et débits associés à Wirwignes (Source : étude SOGREAH, 2008).....	22
Tableau 6 - Valeurs maximales de pluies enregistrées de 1966 à 1984 (Source : LHF en 1995).....	23
Tableau 7 - Cumuls retenus pour la construction des pluies de projet (Source : LHF en 1995).....	23
Tableau 8 - Débits de référence de la Liane à Wirwignes (Source : LHF en 1995).....	23
Tableau 9 - Intensités retenues pour la construction des pluies de projet (Source : LHF en 1995).....	24
Tableau 10 - Débits de la Liane calculés lors de la modélisation (Source : LHF en 1995).....	25
Tableau 11 - Synthèse de l'occupation des sols des trois bassins versants du Boulonnais.....	28
Tableau 12 - Exemples de paysages du bassin versant de la Liane.....	31
Tableau 13 - Exemples de paysages du bassin versant du Wimereux.....	32
Tableau 14 - Exemples de paysages du bassin versant de la Slack.....	34
Tableau 15 - Nombre de communes du Boulonnais concernées par un risque naturel (Source : PAGD du SAGE du Boulonnais, 2013).....	37
Tableau 16 - Les démarches PPRI sur le Boulonnais (Source : DDTM Pas-de-Calais)	40
Tableau 17 - Quelques aménagements types sur les cours d'eau du Boulonnais.....	43
Tableau 18 - Liste des stations pluviométriques utilisées.....	44
Tableau 19 - Statistiques des cumuls journaliers aux stations de Desvres, Henneveux et Wirwignes (source Annuaire 2010 DREAL Nord-Pas-de-Calais).....	45

Tableau 20 - Pluie journalière calculée pour différentes périodes de retour de 1995 à 2013.....	46
Tableau 21 - Images RADAR (Source Météo-France).....	46
Tableau 22 - Caractéristiques générales des stations hydrométriques de la DREAL Nord-Pas-de-Calais (Source : banque HYDRO).....	47
Tableau 23 - Photographies illustrant les débordements de la Liane et du Wimereux lors des crues de novembre 2012 (Sources : DREAL et SYMSAGEB).....	50
Tableau 24 - Cumuls mensuels sur les bassins versants du Boulonnais d'août à novembre 2012 (Sources : DREAL et Météo-France).....	51
Tableau 25 - Précipitations journalières sur les bassins versants du Boulonnais du 1er octobre au 6 novembre 2012.....	53
Tableau 26 - Cumuls mensuels sur les bassins versants du Boulonnais d'août à novembre 2009 (Sources : DREAL et Météo-France).....	58
Tableau 27 - Précipitations journalières sur les bassins versants du Boulonnais du 22 au 30 novembre 2009.....	59
Tableau 28 - Cumuls mensuels sur les bassins versants du Boulonnais de septembre à décembre 2006 (Sources : DREAL et Météo-France).....	64
Tableau 29 - Précipitations journalières sur les bassins versants du Boulonnais du 30 novembre au 13 décembre 2006.....	65
Tableau 30 - Cumuls mensuels sur les bassins versants du Boulonnais d'août à novembre 2000 (Sources : DREAL et Météo-France).....	71
Tableau 31 - Précipitations journalières sur les bassins versants du Boulonnais du 22 octobre au 28 novembre 2000.....	73
Tableau 32 - Cumuls mensuels sur les bassins versants du Boulonnais de juillet à novembre 1998 (Sources : DREAL et Météo-France).....	75
Tableau 33 - Précipitations journalières sur les bassins versants du Boulonnais du 20 octobre au 6 novembre 1998.....	77
Tableau 34 - Conditions antécédentes et caractéristiques des événements récents (1998-2012).....	79
Tableau 35 : Estimation des débits caractéristiques des cours d'eau du Boulonnais.....	104

Tableau 36 - Coefficients d'imperméabilisation retenus pour différents types de surface au sein des bassins versants du Boulonnais	117
Tableau 37 - Bilan des profils en travers de la Liane.....	122
Tableau 38 - Bilan des profils en travers de la Slack.....	125
Tableau 39 - Bilan des données limnimétriques du SYMSAGEB.....	126
Tableau 40 - Exemples de photographies prises lors des crues de novembre 2009 de la Liane à Isques (en haut à gauche) et à Hesdin-l'Abbé (en haut à droite), du Wimereux à Conteville-lès-Boulogne (en bas à gauche) et de la Slack à Marquise (en bas à droite).....	127
Tableau 41: Valeurs de rugosité selon le type d'occupation du sol.....	134

1 - Contexte et objectifs de l'étude

1.1 Contexte et objectifs

Le territoire du boulonnais est régulièrement et fortement exposé aux inondations : sur la période récente des 20 dernières années, on peut citer les événements de décembre 1994, novembre 1998, novembre 2000, décembre 2006, novembre 2009, novembre 2012, et enfin tout récemment début novembre 2014.

Ce constat a conduit les acteurs locaux à se lancer dans plusieurs démarches de prévention ou de protection contre ces inondations :

- x le SAGE du boulonnais, porté par le SYMSAGEB, approuvé dans sa version actuelle en janvier 2013, a fait de « *la gestion de l'espace et la maîtrise des écoulements* » l'un de ses enjeux majeurs, avec l'objectif d'appliquer « *une politique solidaire amont-aval autour du thème de l'hydraulique pour la maîtrise du ruissellement, la lutte contre l'érosion des sols et les inondations* » ;
- x le SYMSAGEB a déjà réalisé un certain nombre de travaux d'aménagements : bassins d'écrêtement sur les secteurs amont, réaménagement du lit des cours d'eau, etc. ;
- x le syndicat est actuellement engagé dans une démarche PAPI (Programme d'Actions de Prévention des Inondations) au stade intention, afin d'aller vers un PAPI complet et de nouvelles actions prochainement ;
- x l'Etat a approuvé le PPRI de la Liane le 16 février 1999, modifié le 21/07/2004 ;
- x l'Etat a prescrit le PPRI du Wimereux le 30/08/2010.

Cette étude s'inscrit donc dans ce contexte et a pour objectifs de contribuer à la mise à jour de la connaissance du fonctionnement hydrologique et hydraulique des principaux cours d'eau du Boulonnais (Liane, Wimereux, Slack), et ce afin de constituer un socle commun et partagé par tous pour les démarches en cours ou à venir (PAPI, révision ou approbation des PPRI, etc.).

Rappelons que des interrogations de certains élus avaient émergé à l'occasion des études relatives à l'élaboration du PPRI du Wimereux en 2009-2010, notamment sur les débits caractéristiques des crues estimés sur ce cours d'eau, par comparaison avec ceux connus sur la Liane, ou encore sur le choix des hypothèses quant au niveau marin.

L'objectif de la présente étude est bien de mettre à jour l'ensemble de ces hypothèses et de traiter les trois cours d'eau principaux sur des bases communes et sur des approches homogènes.

Elle se déroule en 5 phases :

- **phase 1** : analyse hydrologique des bassins versants de la Liane, du Wimereux et de la Slack ;
- **phase 2** : modélisation hydraulique du Wimereux ;
- **phase 3** : modélisation hydraulique de la Liane ;
- **phase 4** : évaluation de l'impact des ouvrages et aménagements réalisés sur les crues de la Liane ;
- **phase 5** : **Tranche conditionnelle** – intégration des ouvrages et travaux envisagés sur le bassin versant de la Liane et évaluation de leur incidence sur les crues.

Les différents livrables seront organisés de la façon suivante :

- **livrable n°1** : contexte et méthodes ;
- **livrable n°2** : bassin versant de la Liane ;
- **livrable n°3** : bassin versant du Wimereux ;
- **livrable n°4** : bassin versant de la Slack.

Le présent document est le livrable n°1 de l'étude.

La démarche adoptée sur les trois cours d'eau est similaire, elle vise à caractériser la transformation de la pluie en débits aux exutoires des bassins versants (volet hydrologie) puis à représenter la propagation des crues au sein du réseau hydrographique, c'est-à-dire le passage des débits en niveaux d'eau (volet hydraulique).

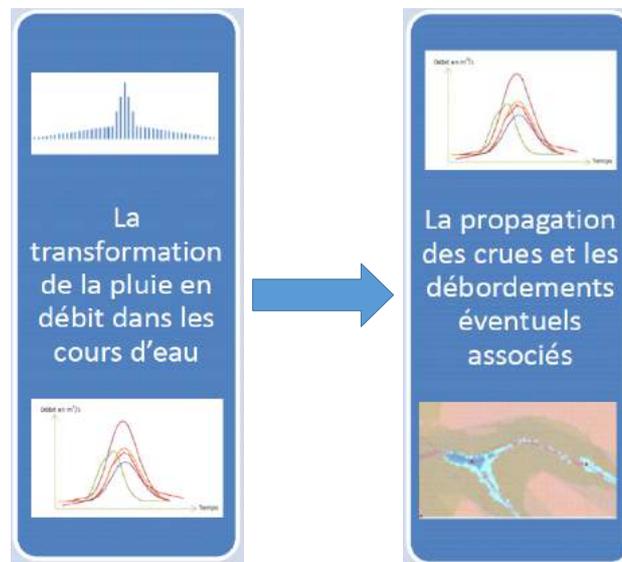


Figure 1 - La démarche adoptée dans le cadre de l'étude

1.2 Contenu du rapport

Ce rapport est organisé en cinq parties :

- la première partie est consacrée à la bibliographie ;
- les deux parties suivantes présentent le territoire d'étude et les principaux éléments connus sur le risque inondation sur ce territoire ;
- la quatrième concerne le volet hydrologie, avec la présentation des données hydrologiques, l'analyse des crues récentes enregistrées, l'analyse statistique des débits et les principes de la modélisation pluie-débit ;
- la cinquième est relative aux données utilisées dans le volet hydraulique et l'élaboration du modèle hydraulique.

1.3 Synthèse-conclusions

A. Le territoire du Boulonnais présente des conditions pluviométriques particulières dues à sa localisation sur une frange côtière associée à des reliefs d'altitude excédant 200 mètres. On relève ainsi des cumuls annuels moyens de l'ordre de 700 mm à 800 mm sur la frange littorale (Boulogne-sur-Mer) à plus de 1000 mm dans l'arrière pays (Desvres, Henneveux et Wirwignes).

Tout d'abord, si l'on se place d'un point de vue historique, on observe ces dernières années :

- une augmentation des statistiques de pluie comme le montre le tableau ci-dessous. Par exemple, la pluie journalière centennale a été estimée à 60 mm par la LHF en 1995, 60 mm (sur 20 heures) par SOGREAH en 2008 et aux alentours de 100 mm en 2013 par la DREAL Nord-Pas-de-Calais.

Période de retour (ans)	LHF 1995	SOGREAH 2008	Statistiques DREAL NDPC 2013		
	Pluie journalière (mm)	Pluie en 20h (mm)	Pluie journalière Desvres (mm)	Pluie journalière Henneveux (mm)	Pluie journalière Wirwignes (mm)
2	35	26	38	34.6	39.2
5	42	36	48	47	51.2
10	46	45	56	57.6	61.2
20	51	50	65	69.9	72.5
50	-	54	78.9	90	90.4
100	61	60	91.1	108.7	106.6

Tableau 1 - Pluie journalière calculée pour différentes périodes de retour de 1995 à 2013

- une succession d'événements importants depuis 1994 et représentée sur la frise ci-dessous. Les crues les plus fortes sont en orange et celles moyennes en vert.

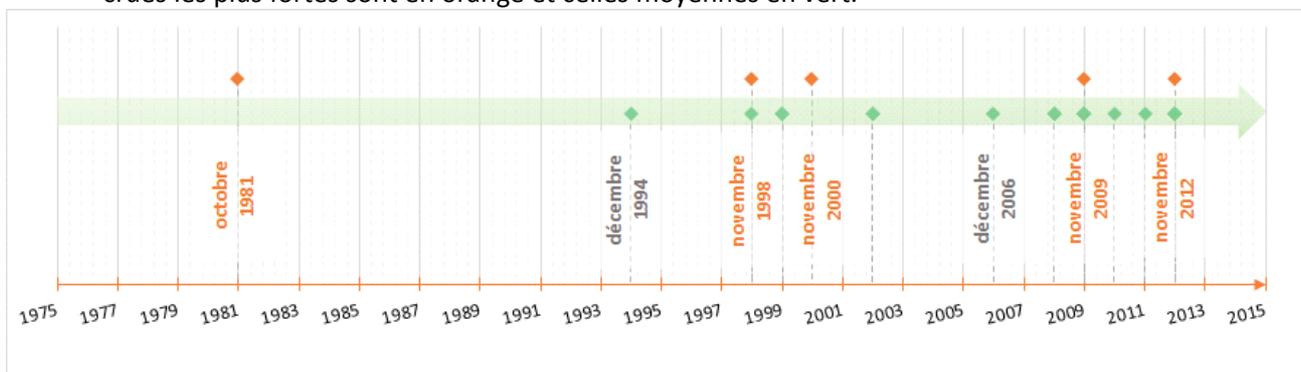


Figure 2 - Recensement des principales crues historiques

Mêmes si les crues du Boulonnais semblent plus fréquentes ces dernières années, le contexte usuel à l'origine de celles-ci reste le même. En effet, avant l'arrivée d'une crue forte, on observe toujours une succession d'événements pluvieux conduisant à la saturation des bassins versants. A partir de ce moment-là, les cours d'eau réagissent rapidement et chaque nouvel épisode de pluie donne alors naissance à une crue importante.

B. Pour le volet hydrologique, les données nécessaires à l'analyse du comportement hydrologique du bassin versant et à la détermination des débits et hydrogrammes de référence ont été récupérées. Elles sont de type pluviométrique (poste au sol), RADAR (quantité d'eau dans les nuages) et hydrométrique (stations installées sur la Liane à Wirwignes, le Wimereux à Wimille et la Slack à Rinxent).

Plusieurs crues récentes de 1998 à 2012 ont été analysées. Les pluies ont une durée comprise entre 13h et 27h. La période de retour associée varie entre 2 et 25 ans, le plus souvent autour de 5-10 ans. Les conditions antécédentes sont le plus souvent humides.

B : Boulogne-sur-Mer D : Desvres H : Henneveux W : Wirwignes	Caractéristiques de l'évènement			
	Pluie	Débit maximum		
		Cumul	Liane Wirwignes	Wimereux Wimille
Evènement				
Novembre 2012	B : 25 mm D H W : 45-60 mm (5-10 ans)	56 m ³ /s (10 ans)	33 m ³ /s (10 ans)	33 m ³ /s (50 ans)
Novembre 2009	B : 20 mm D H W : 45-60 mm (2-10 ans)	46 m ³ /s (4 ans)	30 m ³ /s (9 ans)	17 m ³ /s (4 ans)
Décembre 2006	B : 40 mm H W : 40-50 mm (2-5 ans)	46 m ³ /s (4 ans)	28 m ³ /s (8 ans)	16 m ³ /s (3 ans)
Novembre 2000	B : 40 mm D W : 25 - 55 mm (2-10 ans)	52 m ³ /s (8 ans)	52 m ³ /s (40 ans)	16 m ³ /s (3 ans)
Octobre- Novembre 1998	B : 45 mm D H W : 50-70 mm (5-25 ans)	56 m ³ /s (10 ans)	25 m ³ /s (5 ans)	-

Tableau 2 - Caractéristiques des événements récents

Les données RADAR sont globalement représentatives de la dynamique réelle des trois événements récents de novembre 2012, novembre 2009 et décembre 2006. Celles-ci permettent de prendre en compte l'hétérogénéité spatiale des pluies sur les trois bassins. Pour les épisodes de novembre 2000 et d'octobre-novembre 1998, les écarts avec les postes pluviométriques au sol sont conséquents (-35 à -45%) : les lames d'eau RADAR ne peuvent donc pas être utilisées.

Ainsi, les événements retenus pour le calage sont ceux de novembre 2012, novembre 2009 et décembre 2006. Pour novembre 2009, nous ne disposons pas de données hydrométriques pour le Wimereux. Les deux autres événements serviront au calage.

Par ailleurs, l'analyse statistique des débits a été mise à jour dans le cadre de la présente étude et **permet de dégager des valeurs de débits caractéristiques cohérentes entre elles d'un bassin versant à l'autre**. Le tableau ci-après récapitule ainsi les estimations des débits instantanés maximaux selon différentes périodes de retour (10, 50, 100 et 1000 ans) pour la Liane à Wirwignes, le Wimereux à Wimille et la Slack à Rinxent.

Figurent aussi les débits spécifiques, débits par km² de bassin versant, qui permettent de comparer les cours d'eau entre eux.

Cours d'eau		Liane à Wirwignes	Wimereux à Wimille	Slack à Rincent
Superficie (km ²)		100	78	38
T = 10 ans	Débit (m ³ /s)	57	31	21
	Débit spécifique (m ³ /s/km ²)	0.57	0.40	0.55
T = 50 ans PROLOG	Débit (m ³ /s)	84 - 89	54 - 59	31 - 35
	Débit spécifique (m ³ /s/km ²)	0.84 - 0.89	0.69 - 0.76	0.82 - 0.92
T = 50 ans DREAL	Débit (m ³ /s)	106	68	46
	Débit spécifique (m ³ /s/km ²)	1.06	0.87	1.21
T = 100 ans PROLOG	Débit (m ³ /s)	99 - 107	64 - 71	37 - 42
	Débit spécifique (m ³ /s/km ²)	0.99 - 1.07	0.82 - 0.91	0.97 - 1.11
T = 100 ans DREAL	Débit (m ³ /s)	134	88	60
	Débit spécifique (m ³ /s/km ²)	1.34	1.13	1.58
T = 1000 ans PROLOG	Débit (m ³ /s)	164 - 175	108 - 117	62 - 68
	Débit spécifique (m ³ /s/km ²)	1.64 - 1.75	1.38 - 1.50	1.63 - 1.79

Tableau 3 : Estimation des débits caractéristiques de crues des cours d'eau du Boulonnais

Les valeurs retenues sont également comparées aux toutes dernières estimations de la DREAL Nord-Pas-de-Calais. Les écarts sont liés à des méthodes d'ajustement différentes, mais les ordres de grandeur sont cohérents et dans la fourchette d'incertitude usuelle pour ce type d'analyse.

A la vue des résultats, on peut tirer les conclusions suivantes :

- le Wimereux présente des débits spécifiques légèrement inférieurs à ceux de la Liane et de la Slack mais l'ensemble reste cohérent ;
- sur la Liane à Wirwignes, le débit décennal est estimé à 57 m³/s ; rappelons que sur 40 ans, on a mesuré 4 fois des débits supérieurs à 52 m³/s ;
- même dans l'hypothèse basse, le débit centennal estimé de la Liane à Wirwignes (99 m³/s) est supérieur au débit centennal retenu à l'époque dans le PPRI (70 m³/s) ;
- même dans l'hypothèse haute, le débit centennal estimé du Wimereux à Wimille (88 m³/s) est inférieur au débit centennal retenu dans les études relatives à l'élaboration du PPRI (100 m³/s).

L'approche hydrologique retenue dans le cadre de la présente étude repose sur une modélisation pluie-débit à l'échelle du bassin versant, dans le but d'évaluer et de fournir les hydrogrammes de crue pour les scénarios de référence retenus sur la Liane, le Wimereux et la Slack, pour tous les apports (têtes de bassin versant, affluents principaux et secondaires), afin de représenter la dynamique de formation et de propagation des crues.

Le modèle pluie-débit est intégré au modèle hydraulique et qui permet quant à lui d'estimer les niveaux d'eau au sein du réseau hydrographique modélisé, et de cartographier les débordements induits.

C. Pour le volet hydraulique, les données nécessaires à l'analyse du comportement hydraulique des cours d'eau Liane et Wimereux ont été récupérées. Elles sont de type bathymétrique (géométrie du lit mineur des cours d'eau), topographique (altimétrie du lit majeur), limnimétrique (hauteurs d'eau), géométrique sur les ouvrages, et comprennent également des photographies de crues prises à l'occasion des événements majeurs.

Du point de vue de la modélisation hydraulique, utilisée pour rappel afin d'évaluer les niveaux d'eau et de cartographier les zones inondées pour différents scénarios de crue, nous rappelons ici que le présent marché intègre la modélisation hydraulique des cours d'eau Liane et Wimereux. La modélisation hydraulique de la Slack est quant à elle prévue dans l'étude du SYMSAGEB, actuellement en cours également, et qui s'appuiera en revanche sur les bases hydrologiques déterminées dans le cadre de la présente étude.

Rappelons également que des données topographiques complémentaires ont été acquises sur le cours amont de la Liane (amont Wimille) et sur la Slack, afin que les modèles mis en œuvre puissent couvrir l'intégralité des cours d'eau.

L'approche retenue au regard des données mises à notre disposition, se base sur une modélisation hydraulique dite couplée 1D/2D, qui permet de représenter les conditions d'écoulement des crues au sein des cours d'eau de la manière la plus fine possible.

2 - Bibliographie

2.1 Liste des documents récupérés

La DDTM 62 nous a fourni les études hydrauliques suivantes, réalisées sur le territoire du Boulonnais :

- Étude hydraulique de la Liane : phases 1,2 et 3 [LHF, 1995] ;
- Étude de modélisation d'enveloppe des crues sur le bassin versant de la Liane : rapport final [SOGREAH, 2008] ;
- Révision du PPRi de la Liane : phases 1 et 2 [SAFEGE, 2002] ;
- Modification du PPRi de la Liane : note synthétique [SAFEGE, 2004] ;
- Étude hydraulique du ruisseau d'Echinghen : phases 1 et 2 [V2R Ingenierie&Environnement, 2002] ;
- Étude hydraulique du ruisseau d'Ecames : phases 1, 2 et étude complémentaire [V2R Ingenierie&Environnement, 2002 et 2008] ;
- Etude hydraulique du Wimereux : phases 1,2 et 3 [SOGREAH, 1994] ;
- Etablissement du PPRi de la Vallée du Wimereux : phases 1 et 2, annexes [Royal Haskoning, 2009 et 2010] ;
- Atlas des Zones Inondables de la Slack : rapport et annexes [ISL bureau d'ingénieurs conseil, 1996] ;
- Détermination de l'aléa de submersion marine intégrant les conséquences du changement climatique en région Nord-Pas-de-Calais [DHI, 2013] ;

Nous avons également récupéré les documents suivants, disponibles sur internet :

- SAGE du bassin côtier du Boulonnais – PAGD et Règlement [SYMSAGEB, 2013] ;
- lettres mensuelles d'information du SYMSAGEB ;
- Études d'Impact et Plan de Gestion de la Liane, du Wimereux et de la Slack [SYMSAGEB, 2010 à 2012].

2.2 Analyse bibliographique

La présente section décrit de manière non exhaustive les résultats des principales études antérieures en lien avec la présente étude.

2.2.1 SAGE du bassin côtier du Boulonnais

Les points particuliers, en lien avec la présente étude, sont les suivants :

- un contexte pluviométrique local avec un cumul de 700 mm sur la cote et de 1 000 mm sur les reliefs

du Haut-Boulonnais ;

- du point de vue hydrologique, les débits interannuels de la Liane sont de 1,84 m³/s à Wirwignes et de 3,5 m³/s à Boulogne-sur-Mer, ceux du Wimereux de 1,04 m³/s à Wimille et ceux de la Slack de 0,595 m³/s à Rincent. En période de crue, les débits issus de la Banque Hydro sont listés dans les tableaux suivants extraits du SAGE. Ces valeurs datent de 2010 et ont changé depuis en intégrant les

Fréquence	QJ (m ³ /s)	QIX (m ³ /s)
biennale	18.00 [16.00 ; 20.00]	33.00 [31.00 ; 37.00]
quinquennale	24.00 [22.00 ; 28.00]	46.00 [42.00 ; 53.00]
décennale	29.00 [26.00 ; 34.00]	55.00 [50.00 ; 64.00]
vicennale	33.00 [30.00 ; 39.00]	63.00 [56.00 ; 74.00]
cinquantennale	39.00 [34.00 ; 46.00]	74.00 [65.00 ; 88.00]
centennale	non calculé	non calculé

Tableau 22 - Débits observés sur la Liane en période de crues à la station de Wirwignes (données Banque Hydro 1973-2010)
Crues (loi de Gumbel - septembre à août) - Données calculées sur 35 ans

Fréquence	QJ (m ³ /s)	QIX (m ³ /s)
biennale	12.00 [10.00 ; 14.00]	17.00 [16.00 ; 20.00]
quinquennale	17.00 [15.00 ; 21.00]	25.00 [22.00 ; 29.00]
décennale	20.00 [18.00 ; 26.00]	29.00 [26.00 ; 36.00]
vicennale	24.00 [21.00 ; 30.00]	34.00 [30.00 ; 42.00]
cinquantennale	28.00 [24.00 ; 36.00]	40.00 [35.00 ; 50.00]
centennale	non calculé	non calculé

Tableau 23 - Débits observés sur le Wimereux en période de crues à la station de Wimille (données Banque Hydro 1973-2010)
Crues (loi de Gumbel - septembre à août) - Données calculées sur 27 ans

Fréquence	QJ (m ³ /s)	QIX (m ³ /s)
biennale	6.700 [5.900 ; 8.000]	12.00 [10.00 ; 14.00]
quinquennale	8.800 [7.700 ; 11.00]	15.00 [13.00 ; 19.00]
décennale	10.00 [8.800 ; 14.00]	17.00 [15.00 ; 22.00]
vicennale	11.00 [9.800 ; 16.00]	19.00 [17.00 ; 26.00]
cinquantennale	non calculé	non calculé
centennale	non calculé	non calculé

Tableau 24 - Débits observés sur la Slack en période de crues à la station de Rincent (données Banque Hydro 1973-2010)
Crues (loi de Gumbel - septembre à août) - Données calculées sur 28 ans

dernières crues ;

Tableau 4 - Débits journaliers et débits de crue de la Liane à Wirwignes, du Wimereux à Wimille et de la Slack à Rincent (Source : SAGE et Banque Hydro)

- pour les ouvrages, 205 sont recensés sur la Liane dont 118 infranchissables pour les poissons, 54 pour le Wimereux et 93 pour la Slack ;
- des aménagements ont été réalisés sur la Liane (bassins d'expansion de crues à Tournes, Ecames et Hermite, recalibrage du profil à Pont de Briques, pose de clapets anti-retour (15)) et sur la Slack (recalibrage du canal Napoléon) ;

- Sur Boulogne-sur-Mer, Outreau, le Portel et Saint-Martin Boulogne, les rejets des eaux pluviales sont de 2 l/s/ha pour une crue centennale.

2.2.2 Étude SOGREAH 2008

2.2.2.1 Modèle hydrologique-hydraulique

Un modèle hydrologique et hydraulique a été conçu à partir de celui fait par la LHF en 1995 et modifié ponctuellement à l'aval de la Liane lors de l'étude 2003-2006 :

- le modèle hydrologique calcule des apports hydrologiques en amont de Wirwignes et des apports intermédiaires à l'aval de Wirwignes sur 117 sous-bassins latéraux ;
- le modèle hydraulique : modèle CARIMA 1D à casiers prend en compte le recalibrage de la Liane à Pont-de-Briques et les trois bassins d'expansion de crues à Tournes, Ecames et Longpré.

Les bassins sont pris en compte en modifiant les apports hydrologiques du modèle pluie-débit (ajout de réservoirs de stockage).

La condition aval du modèle est influencée par la marée et la gestion du barrage Marguet. Des tests ont été faits avec une marée de coefficient 100 pleine mer et basse mer en concomitance avec le pic de crue.

2.2.2.2 Calage

Le calage du modèle a été fait sur l'événement de décembre 2006 qui a une période de retour estimée à 5 ans à Wirwignes. Plusieurs pics de crue se sont succédés entre le 1^{er} et le 11 décembre.

Les données utilisées sont :

- les relevés pluviométriques sur les stations de Boulogne-sur-Mer, Henneveux, Desvres et Wirwignes ;
- les relevés de débits à Wirwignes (DREAL) et de hauteurs (station SYMSAGEB) à Samer, Pont-de-Briques et Hesdin-l'Abbé ;
- des photographies de crue

2.2.2.3 Scénarios hydrologiques

Huit scénarios hydrologiques ont été définis, d'occurrence 2 ans, 5 ans, 10 ans, 20 ans, 100 ans, > 100 et >> 100, à partir des données pluviométriques de la DREAL servant d'entrée au modèle pluie-débit. Il a été choisi des apports pluvieux moyens entre ceux mesurés à Desvres et à Henneveux.

Pluie	Qté pluie (mm / 20h)	Débit à Wirwignes Modèle PLUTON	Période de retour estimée à Wirwignes
P1	26	34.5 m ³ /s	2 ans
P2	36	45.0 m ³ /s	5 ans
P3	45	54.9 m ³ /s	10 ans
P4	50	60.6 m ³ /s	20 ans
P5	54	65.1 m ³ /s	50 ans
P6	60	71.9 m ³ /s	100 ans
P7	67	79.8 m ³ /s	n.c.
P8	73	86.6 m ³ /s	n.c.

Tableau 5 - Pluviométrie de référence et périodes de retour et débits associés à Wirwignes (Source : étude SOGREAH, 2008)

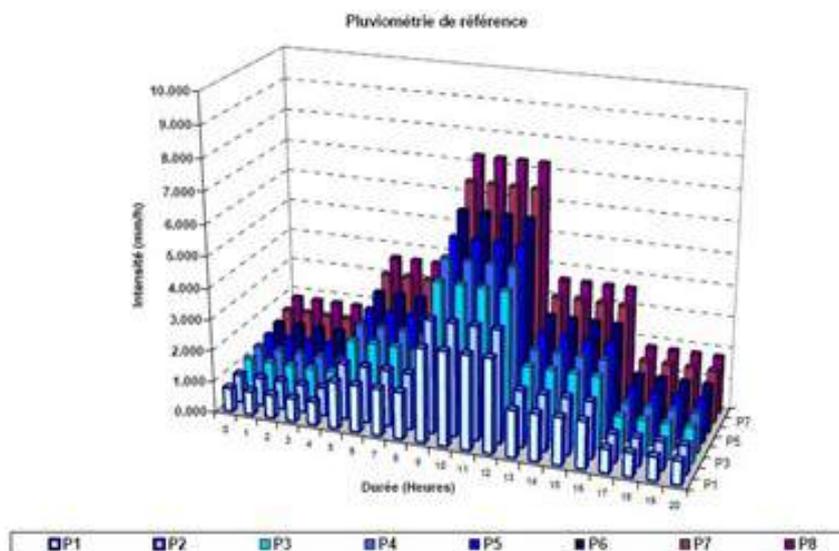


Figure 3 - Hyétoigrammes des scénarios hydrologiques retenus (Source : étude SOGREAH, 2008)

Remarque : Pour les scénarios P7 et P8, le modèle n'est pas adapté car les zones de confluence avec les affluents latéraux sont délimitées pour un événement centennal.

2.2.3 Étude LHF 1995

2.2.3.1 Analyse hydrologique

Les points particuliers, en lien avec la présente étude, sont les suivants :

- d'un point de vue hydrogéologique, les crues de la Liane sont trop rapides pour que les échanges nappe-cours d'eau puissent jouer un rôle notable sur les débits ;
- une répartition spatiale des précipitations particulière avec pour l'agglomération du Boulonnais : un cumul annuel de 650/700 mm et pour l'arrière pays, 1018 mm à Desvres ;
- pour les précipitations annuelles et mensuelles, elles sont homogènes sur l'essentiel du bassin versant de la Liane, avec une hauteur de précipitations inter-annuelle d'environ 95% de la hauteur mesurée à Desvres ;
- pour les précipitations journalières, la station de Desvres peut être considérée comme représentative pour l'ensemble du bassin versant de la Liane ;
- les pluies d'automne sont souvent longues avec parfois des averses fortes sur quelques heures : c'est ce type de pluie qui provoque les crues de la Liane ;
- les valeurs maximales de pluies enregistrées de 1966 à 1984 sur 1/2/3/5/10/15/30 jours sont les suivantes :

Nb de jours	1 jour	3 jours	5 jours	10 jours	15 jours	30 jours
Date	30/09/76	15/09/76	17/09/76	05/11/67	07/10/74	20/10/74
Hauteur	60 mm	95 mm	115 mm	155 mm	190 mm	315 mm

Tableau 6 - Valeurs maximales de pluies enregistrées de 1966 à 1984 (Source : LHF en 1995)

- les valeurs retenues pour la construction des pluies de projet sont les suivantes :

- bassin de la Liane (estimé):

Durée	1 jour	2 jours	3 jours
Périodicité			
1 an	30 mm	45 mm	56 mm
2 ans	35 mm	51 mm	63 mm
5 ans	42 mm	59 mm	72 mm
10 ans	46 mm	63 mm	76 mm
20 ans	51 mm	70 mm	83 mm

Tableau 7 - Cumuls retenus pour la construction des pluies de projet (Source : LHF en 1995)

- les temps caractéristiques des crues de la Liane à Wirwignes sont de 8h pour le temps de concentration, 7h pour le temps de réponse et 6 à 10h pour le temps de montée ;
- le LHF souligne « la rapidité de la propagation des crues et le rôle notable du débit initial de la Liane sur l'importance de la crue. La valeur du ratio entre le débit mesuré à Hesdigneul-les-Boulogne et Wirwignes a légèrement augmenté au début des années 80, pour atteindre une valeur de 1,7. Cela pourrait se traduire par une diminution de la capacité d'écrêtement des crues entre les deux stations, probablement par réduction du champ d'inondation et suppression d'obstacles naturels comme les haies ». L'urbanisation croissante de l'agglomération Boulonnaise depuis les années 1980 va effectivement dans ce sens ;
- les débits retenus pour la Liane à Wirwignes sont les suivants :

Période de retour	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	30 ans	100 ans
Débit de pointe (m ³ /s)	35	45	51	58	61	70

Tableau 8 - Débits de référence de la Liane à Wirwignes (Source : LHF en 1995)

2.2.3.2 Modélisation pluie-débit

Les hypothèses retenues sur la pluie sont :

- une pluie uniforme sur tout le BV sans abattement ;
- une durée de 24h avec une intensité forte constante sur 10h (supérieure au temps de concentration à Wirwignes -8h- et environ celui à Hesdigneul-lès-Boulogne) et une répartition légèrement asymétrique. L'intensité maximale est calculée avec la formule de Montana (I3 pour la période intense de 10h et I1 et I2 pour le « reste » de la pluie à répartir sur 14h).

Période de retour (ans)	Pluie en 24 h (mm)
1	30
2	35
5	42
10	46
20	51
100	61

Période de retour (ans)	I1 (mm)	I2 (mm)	I3 (mm)
1	0,65	1,20	1,76
2	0,80	1,43	2,00
5	0,69	1,80	2,57
10	0,56	1,83	3,05
20	0,80	1,83	3,36
100	1,19	2,00	3,95

Tableau 9 - Intensités retenues pour la construction des pluies de projet (Source : LHF en 1995)

Le calage du modèle a été fait sur l'événement du 9 décembre 1994 et à partir des résultats globaux de l'analyse hydrologique.

Pour la condition aval, le choix retenu est une marée moyenne avec application d'un marégramme pour une crue décennale et d'un niveau constant avec le barrage Marguet grand ouvert pour une crue centennale. Des tests ont été faits sur la condition aval. Il en ressort que l'influence des marées et des surcotes remonte jusqu'à Pont-de-Briques et que la gestion de la passe Est du barrage Marguet a une influence sur les crues de la Liane.

Les valeurs maximales des débits caractéristiques de la Liane ont été calculés en plusieurs points.

Site	Wirwignes	Carly	Hesdigneul	Pont de Briques	Boulogne
Débit de pointe en crue décennale	47	75	94	97	103
Débit de pointe en crue centennale	63	104	122	125	119

Tableau 10 - Débits de la Liane calculés lors de la modélisation (Source : LHF en 1995)

3 - Présentation du territoire d'étude

Le bassin côtier du Boulonnais, d'une superficie de 700 km², s'étend sur 81 communes, dont Boulogne-sur-Mer, pôle urbain du bassin côtier. Ce territoire a fait notamment l'objet d'un Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) approuvé en 2004 puis révisé le 9 janvier 2013.

Le bassin côtier du Boulonnais est constitué de différentes masses d'eau, dont les trois bassins versants concernés par la présente étude : le bassin versant de la Liane, celui du Wimereux et celui de la Slack.

3.1 Caractéristiques physiques des bassins versants

3.1.1 Bassin versant de la Liane

La Liane, longue de 36 km, draine un bassin versant de 244 km² et présente un réseau hydrographique très dense. Elle prend sa source à Quesques à une altitude de 101 mètres. Ses principaux affluents sont le ruisseau de Desvres et le ruisseau d'Écames en rive gauche et le ruisseau de Belle-Isle (dans lequel se jettent la rivière d'Echinghen et le ruisseau de Tournes) en rive droite.

Si le fleuve possède une pente moyenne assez faible de 0.3%, ses affluents présentent quant à eux de fortes pentes. D'un point de vue morphologique, la Liane peut être sectorisée de la manière suivante :

- de sa source à Questrecques : la Liane présente un tracé méandrique et une pente importante ;
- entre Samer et Saint-Léonard : la Liane présente une large vallée, constituée de prairies et de cultures, régulièrement inondée ;
- de Saint-Léonard à Boulogne-sur-Mer : la Liane traverse une zone fortement urbanisée, l'agglomération Boulonnaise, avant d'atteindre le bassin Frédéric Sauvage.

Le bassin versant de la Liane s'étend sur 47 communes.

Un Plan de Prévention des Risques d'Inondation y a été approuvé en 1999 et révisé en 2004, sur 13 communes situées en aval.

3.1.2 Bassin versant du Wimereux

Le bassin versant du Wimereux présente une superficie de 77 km² et est drainé par une rivière de 22 km. Il possède une forme particulièrement allongée (environ 16 km par 3 km) et intersecte le territoire de 19 communes.

Le Wimereux, qui prend sa source à Colembert à une altitude de 100 m, présente plusieurs petits affluents dont les principaux sont le ruisseau de Grigny en rive droite, à l'amont du bassin versant, et le ruisseau du Denacre en rive gauche à l'aval. Sa pente moyenne est de 0.6%. On peut noter que les apports souterrains du bassin versant sont quasi-inexistants.

Les villes de Wimereux (7 500 habitants) et Wimille (4 150 habitants), et plus généralement la zone autour de l'estuaire, présentent une forte urbanisation, alors que l'amont du fleuve traverse des zones de cultures et de prairies.

Un Plan de Prévention des Risques d'Inondation y a été prescrit en 2010 sur 12 communes.



DIRECTION DÉPARTEMENTALE
DES TERRITOIRES ET DE LA MER

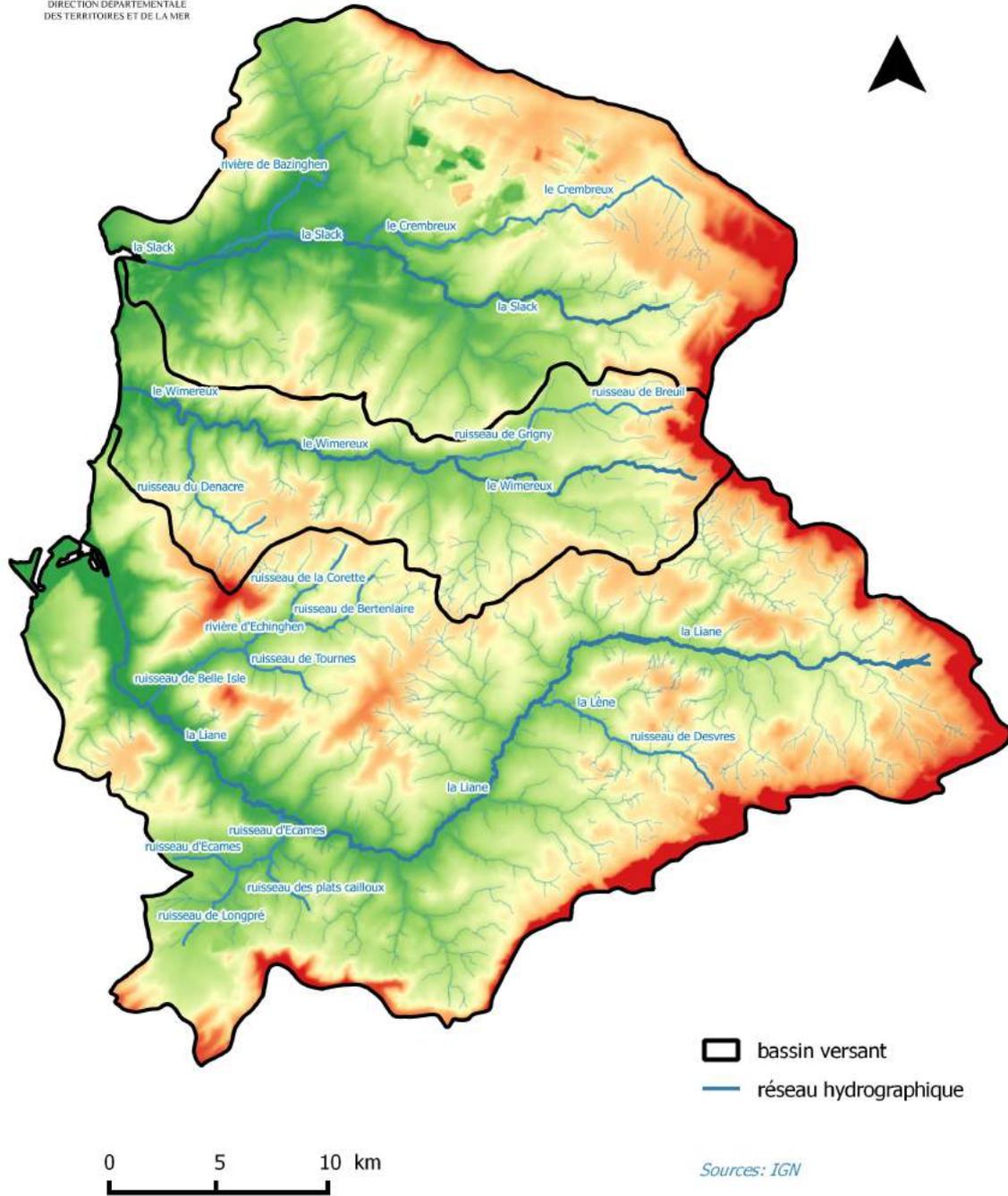


Figure 4 - Bassins versants du Boulonnais

3.1.3 Bassin versant de la Slack

La Slack est un fleuve de 25 km qui draine un bassin versant de 153 km². Le bassin versant s'étend entre le rebord du plateau crayeux de l'Artois à l'Est et l'exutoire de la Slack dans la Manche. Il recouvre 26 communes du Boulonnais. Depuis sa source à Hardinghen, la Slack s'écoule d'Est en Ouest, où le fleuve se jette dans la Manche. Le cours d'eau présente dans sa partie amont, jusqu'à Marquise, une pente supérieure à 0.7%, Il connaît ensuite une rupture de pente importante au niveau de la basse vallée de la Slack, où le cours d'eau s'écoule avec une pente très faible d'environ 0.07%. Ses principaux affluents sont le Crembreux et le Bazinghen en rive droite, et les ruisseaux du Paon, du Val et du Poché en rive gauche.

Le fleuve draine un bassin versant caractérisé par une occupation des sols particulière avec, d'amont en aval :

- des cultures, des zones urbaines et des carrières ;
- une zone de marais occupée à 80% par des prairies de fauche et des activités d'élevage, appelée « basse vallée de la Slack », constituant une zone humide remarquable de 500 ha ;
- une zone dunaire constituant son estuaire.

3.2 Occupation du sol

L'occupation des sols du bassin du Boulonnais a été estimée via la base de données SIGALE de la région Nord-Pas-de-Calais. Elle se répartit selon les grandes catégories suivantes.

	BV de la Liane	BV du Wimereux	BV de la Slack
Zones urbanisées	18%	15%	12%
Zones de forêts	22%	16%	7%
Zones agricoles	29%	36%	46%
Zones de prairies	30%	32%	27%
Zones dunaires	1%	1%	2%
Zones de carrières	-	-	5%
Zones de marais-plans d'eau	-	-	1%

Tableau 11 - Synthèse de l'occupation des sols des trois bassins versants du Boulonnais

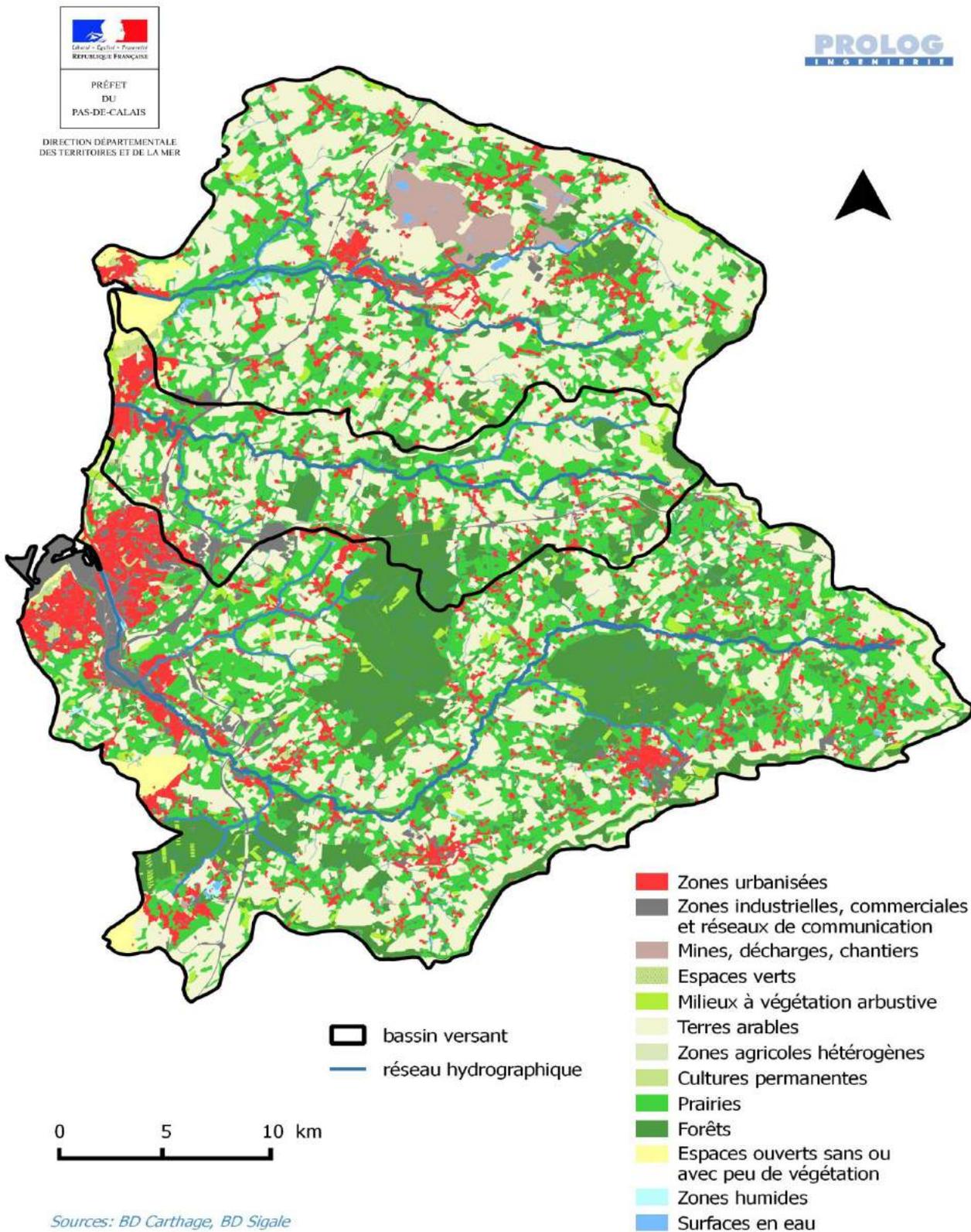


Figure 5 - Occupation des sols des bassins versants du Boulonnais

3.2.1 Bassin versant de la Liane

Le bassin versant de la Liane est le plus urbanisé des trois, avec 18% de sa surface occupée par l'urbanisation. Cette dernière se concentre à l'aval du bassin versant où l'agglomération Boulonnaise compte plus de 130 000 habitants.

Plus d'un cinquième de la surface du bassin versant est occupé par des forêts, avec notamment celles de Desvres et de Boulogne. Les surfaces restantes concernent l'activité agricole et se partagent entre cultures, pâturages et prairies. On note la présence de nombreux pâturages en bordure du fleuve provoquant une érosion importante des berges par le piétinement animal.

Les photographies suivantes illustrent les paysages caractéristiques du bassin versant de la Liane d'amont en aval.





Tableau 12 - Exemples de paysages du bassin versant de la Liane

3.2.2 Bassin versant du Wimereux

L'urbanisation du bassin versant du Wimereux (15% de sa surface) est également concentrée à l'aval, au niveau de l'estuaire du Wimereux. Il concerne les communes de Wimille et de Wimereux.

Presque 70% du bassin versant est recouvert de parcelles agricoles et de prairies et les forêts représentent 16% de la surface (notamment la forêt de Boulogne).

Les photographies suivantes illustrent les paysages caractéristiques du bassin versant du Wimereux d'amont en aval.

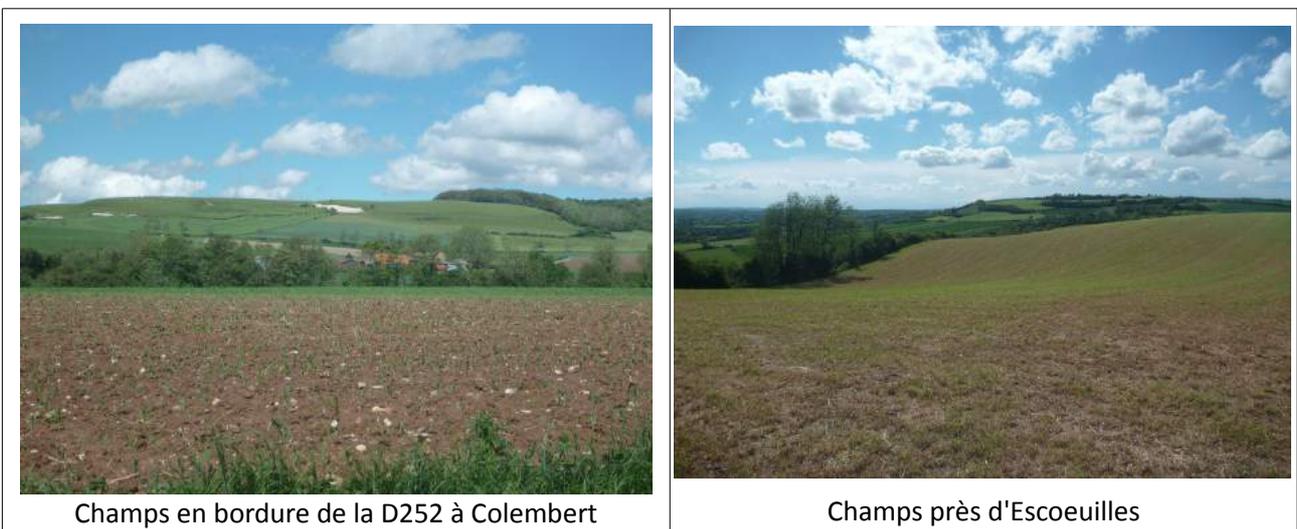




Tableau 13 - Exemples de paysages du bassin versant du Wimereux

3.2.3 Bassin versant de la Slack

Le bassin versant de la Slack se distingue par une occupation des sols particulière d'amont en aval.

Si elle reste limitée, la majeure partie de l'urbanisation du bassin versant se concentre dans la partie amont, avec notamment le continuum urbain formé par les communes de Marquise et de Rinxent. Comme l'illustre la cartographie de l'occupation des sols, environ 2 500 ha de cette partie du bassin versant sont occupés par le bassin carrier de Marquise, qui s'étend sur cinq communes autour de Ferques. L'extraction des roches, partagée par cinq entreprises, modifie fortement le paysage et génère une concentration des eaux de ruissellement au sein des carrières.

A l'aval de la commune de Marquise, la Slack traverse une zone de marais (la « basse vallée ») présentant des prairies de fauches et un réseau de canaux et de fossés muni d'un système de vannes permettant de maintenir ou d'évacuer l'eau. On relève également une activité de chasse, notamment nocturne, au sein de ce secteur, ayant conduit au creusement de mares. Cette zone est gérée par la 6^{ème} Section de Wateringues.

Cette zone de marais constitue un champ d'expansion des crues de la Slack avant le rejet vers la mer.

En aval de la basse vallée de la Slack, le cours d'eau a fait l'objet, sous Napoléon, de nombreux aménagements anthropiques à des fins militaires, qui ont complètement modifié le parcours naturel du fleuve. Le cours d'eau a ainsi été canalisé jusqu'à une porte à flot, dite écluse Marmin. Celle-ci se referme à marée haute évitant ainsi une invasion marine. A l'aval de l'écluse, la Slack rejoint la Manche à travers son estuaire non canalisé dont la biodiversité est exceptionnelle.

Les photographies ci-après illustrent les paysages caractéristiques du bassin versant de la Slack d'amont en aval.



Champs en bordure de la D232 à Fiennes



Entrée d'une carrière à Rinxent



Champs en bordure de la D232 à Réty



Le Slack à Beuvrequen



Panorama sur les marais de la Slack



Tableau 14 - Exemples de paysages du bassin versant de la Slack

3.3 Géologie et hydrogéologie

Ces éléments sont issus du SAGE du Boulonnais (PAGD, janvier 2013).

« Le Boulonnais présente une structure géologique particulière, dite « demi-boutonnaire du Boulonnais ». Deux grands sous-ensembles peuvent être distingués :

- **le Haut Boulonnais**, formé de craies recouvertes d'argiles à silex et de limons. Il constitue une ceinture de falaises (cuesta). Son altitude est relativement élevée (206 m au Mont-Hulin près de Desvres) ;
- **le Bas Boulonnais**, d'altitude très inférieure, est constitué de terrains très argileux, imperméables et très humides. Il comprend également des zones de dunes littorales.

Les nappes d'eaux souterraines présentes sur le territoire traduisent la variété des substrats géologiques de la demi-boutonnaire du Boulonnais. En effet, cette dernière fait affleurer toute une série de formations susceptibles d'être aquifères puisque ces formations sont en majorité constituées par des roches calcaires et crayeuses très souvent fissurées, voire fracturées. En outre, l'importante fracturation liée à la tectonique active a compartimenté ces formations en blocs faillés, certains créant des situations où la continuité géologique, et donc hydrogéologique, n'est pas toujours assurée. Cette demi-boutonnaire est encadrée sur ses marges par la craie, parfois affleurante ou recouverte par des formations superficielles ».

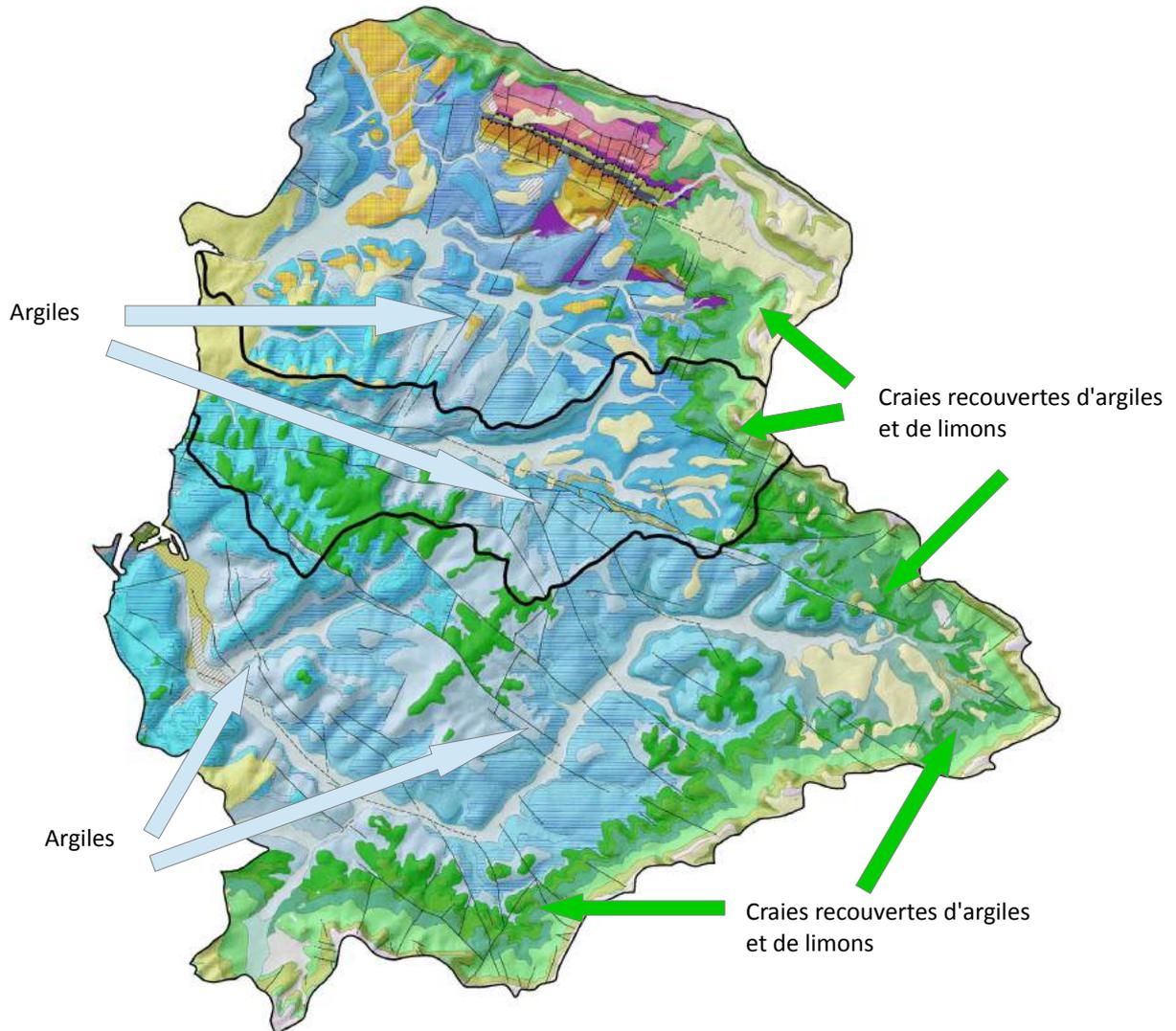


Figure 6 - Carte géologique du bassin du Boulonnais (source: Infoterre, BRGM)

« Les formations, des plus anciennes aux plus récentes, sont les suivantes :

- la nappe des calcaires primaires (secteur de Marquise), parfois captée avec la formation sus-jacente du Bathonien ;
- la nappe du Bajocien-Bathonien (secteur oriental) ;
- la nappe du Séquanien parfois associée aussi à du Kimméridgien (secteur de la vallée de la Liane) ;
- la nappe du Kimméridgien moyen et supérieur et Portlandien inférieur (secteur de Wimereux - Ambleteuse – Audresselles) ;
- la nappe du Turonien et du Cénomaniens localisée dans le Bas-Boulonnais dans le secteur sud et sud

est. Elle annonce la nappe de la craie du Pas-de-Calais.

L'extrême diversité des roches du Boulonnais crée des conditions favorables à la présence d'autres nappes beaucoup plus localisées et non significatives même si les « anciens » les ont captées et qu'elles continuent à l'être ponctuellement (Aptien, Wealdien, Rauracien, formations dunaires quaternaires).

Concernant la potentialité des nappes, on constate la diversité certaine et une relative inégalité des chances quant aux facilités de captage de l'eau : le Cénomaniens et le Séno-Turonien (craie) constituent sans aucun doute l'aquifère assurant la meilleure garantie de bons débits. Sur le territoire, 11 ouvrages sont utilisés pour le captage des eaux de cette nappe. Les autres aquifères restent plus difficiles à valoriser. Étant sollicités par la majorité des ouvrages du territoire, pour des débits généralement faibles (20 à 50 m³/h), ces ouvrages restent plus sensibles dans leur gestion quantitative et qualitative. La nappe du Séquanien montre une recharge comparativement faible, sans doute la plus faible de toutes les nappes ».

4 - Le risque inondation

4.1 Typologie et localisation du risque

Le bassin côtier du Boulonnais est touché par différents types de risques naturels, dont le risque inondation, qui constitue un risque majeur dans la mesure où il concerne la moitié des communes du bassin côtier comme le présente le tableau ci-après.

Type de risque	Nombre de communes	Nb total communes
Inondations	41	81
Mouvement de terrain	23	
Risques industriels	2	
Transport de matières dangereuses	78	

Tableau 15 - Nombre de communes du Boulonnais concernées par un risque naturel (Source : PAGD du SAGE du Boulonnais, 2013)

L'importance du risque inondation est due en particulier à un ruissellement important sur tout le bassin côtier, induit par la géologie et topographie de la zone, et également à des débordements des cours d'eau en lit majeur. Conjugués à une forte occupation des plaines d'inondation des trois rivières principales du bassin côtier, ces débordements concernent des enjeux socio-économiques importants.

Les cartes des pages suivantes présentent les risques d'inondations et les nombres d'arrêtés de catastrophe naturelle par inondation pour les communes du bassin du Boulonnais.

Concernant les débordements de la Liane ou de ses affluents, ce sont particulièrement les communes situées à l'aval du bassin versant qui comptabilisent le plus d'arrêtés de catastrophe naturelle. Isques, Saint-Etienne-au-Mont, Condette, Hesdin-l'Abbé et Saint-Léonard comptent entre 7 et 12 arrêtés par commune.

Au sein du bassin versant du Wimereux, les communes de Wimereux, Wimille, Pernes-lès-Boulogne, Conteville-lès-Boulogne et Belle-et-Houllefort sont les plus touchées avec entre 7 et 8 arrêtés par commune.

Enfin, ce sont les communes de Marquise et de Bazinghen, avec respectivement 8 et 6 arrêtés, qui sont les plus touchées du bassin versant de la Slack.

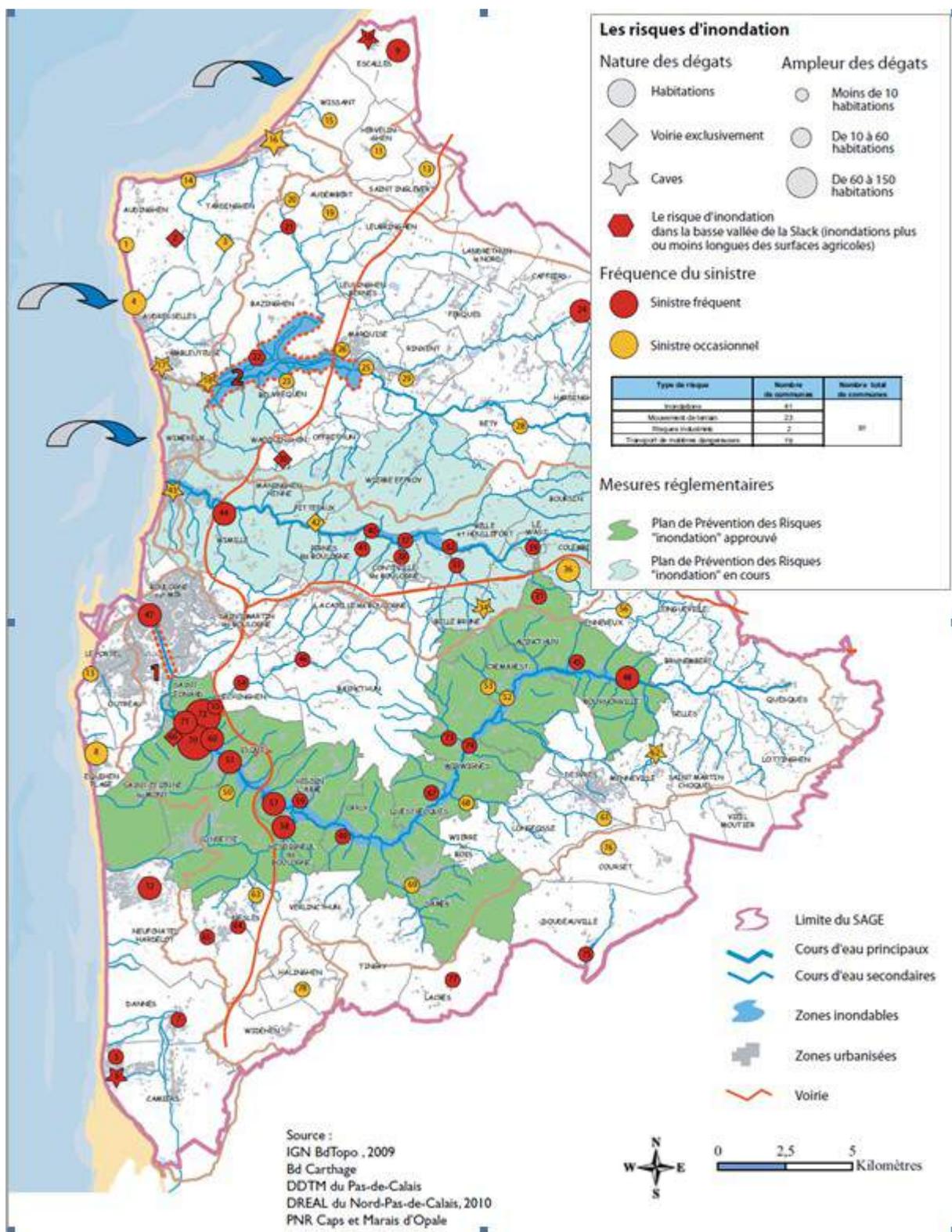


Figure 7 - Les risques d'inondation et les phénomènes de sédimentation sur le bassin côtier du Boulonnais (Source : Atlas cartographique du SAGE du Boulonnais, 2013)

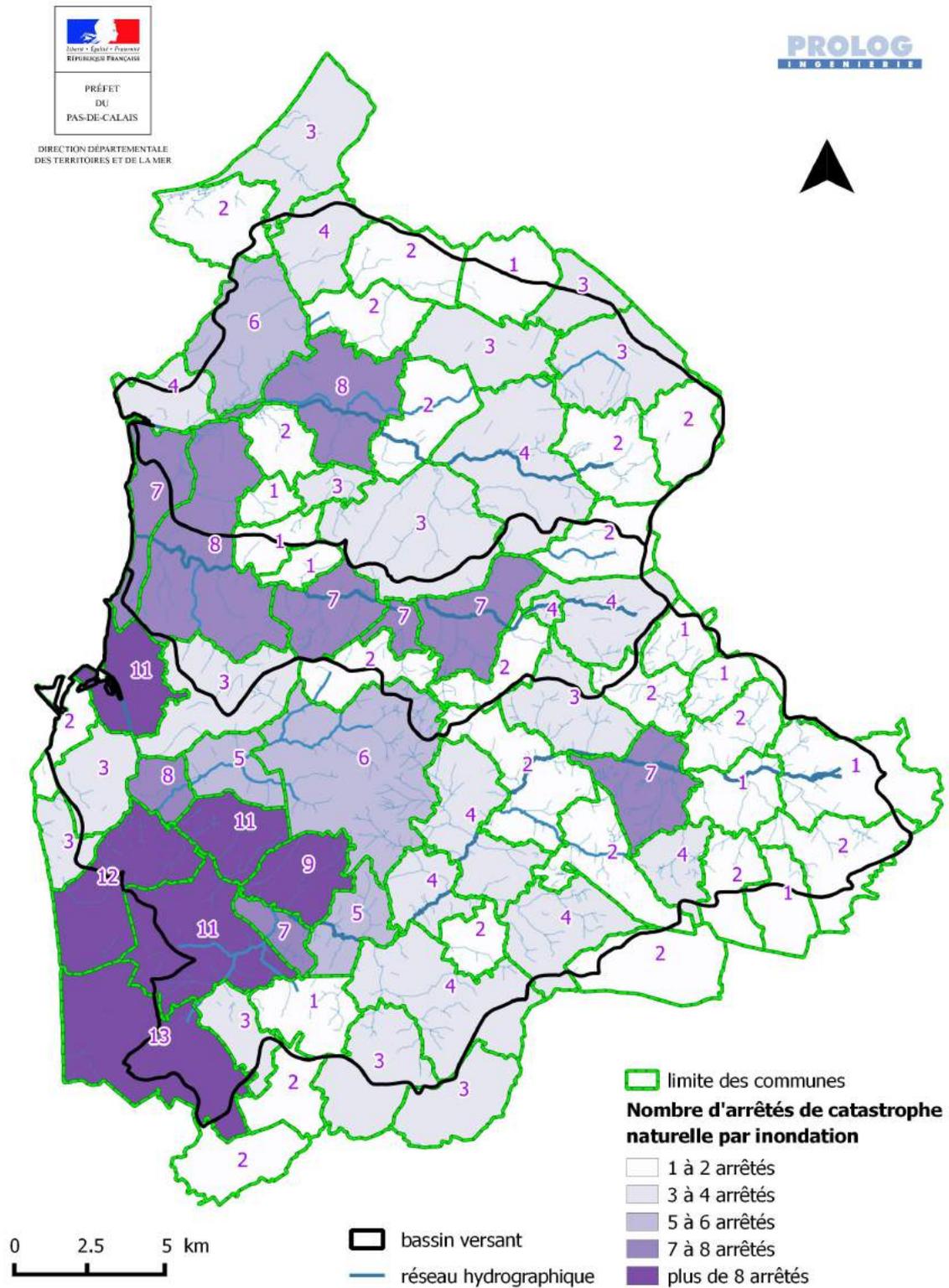


Figure 8 - Nombre d'arrêtés de catastrophe naturelle par inondation pour les communes du Boulonnais

4.2 Prévention des risques

Plusieurs PPRI ont ainsi été élaborés ou sont en cours d'élaboration pour les différents bassins versants du Boulonnais.

	État d'avancement	Nombre de Communes concernées
PPRI Liane	approuvé	13
PPRI Wimereux	en cours	12
PPRNL Boulonnais	en cours	13
PPR Falaise	approuvé	10

Tableau 16 - Les démarches PPRI sur le Boulonnais (Source : DDTM Pas-de-Calais)

Pour la Liane, le PPRI a été approuvé en 1999 et révisé en 2004, permettant ainsi sa mise en application. Il concerne 13 communes, de Bournonville à l'amont à Saint-Léonard à l'aval. L'épisode de référence retenu sur la Liane est une crue centennale, c'est-à-dire ayant une chance sur cent d'intervenir chaque année. Le débit correspondant a alors été estimé à 70 m³/s à Wirwignes. Les niveaux de référence tout au long de ce secteur ont été calculés à partir d'une modélisation hydraulique, préalablement calée sur l'événement de décembre 1994.

Pour le Wimereux, le PPRI a été prescrit le 30 août 2010 mais n'a pas encore été approuvé. Il concerne 12 communes, de Colembert à l'amont à Wimereux à l'aval. L'épisode de référence retenu est également une crue centennale de débit estimé à 100 m³/s à Wimille. Les niveaux de référence sont issus d'une modélisation hydraulique.

Pour la Slack, il n'existe actuellement aucun PPRI.

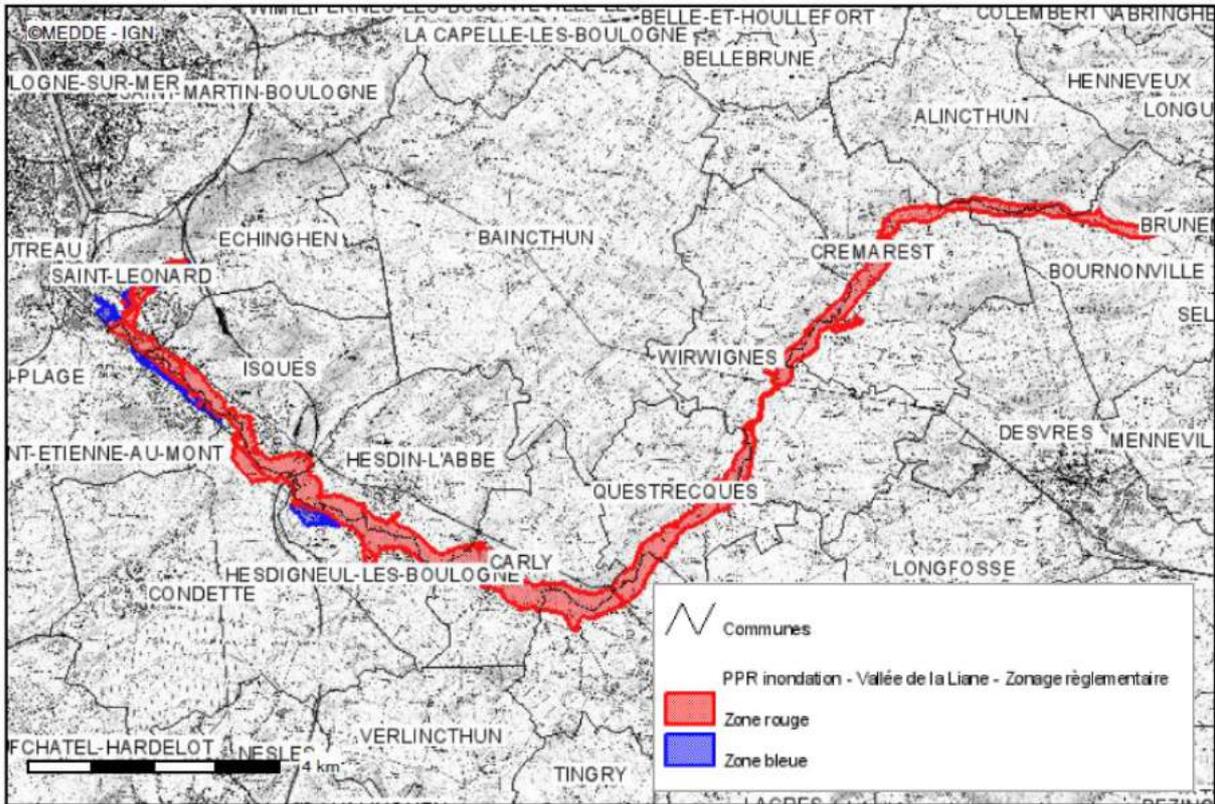


Figure 9 - Carte de zonage réglementaire du PPRI de la Liane (Source : cartorisque.prim.net)

	Inférieur à 0,50m	De 0,50 à 1 m	De 1 à 1,50 m	Supérieur à 1,50 m
Aléa	Faible	Moyen	Fort	Très Fort

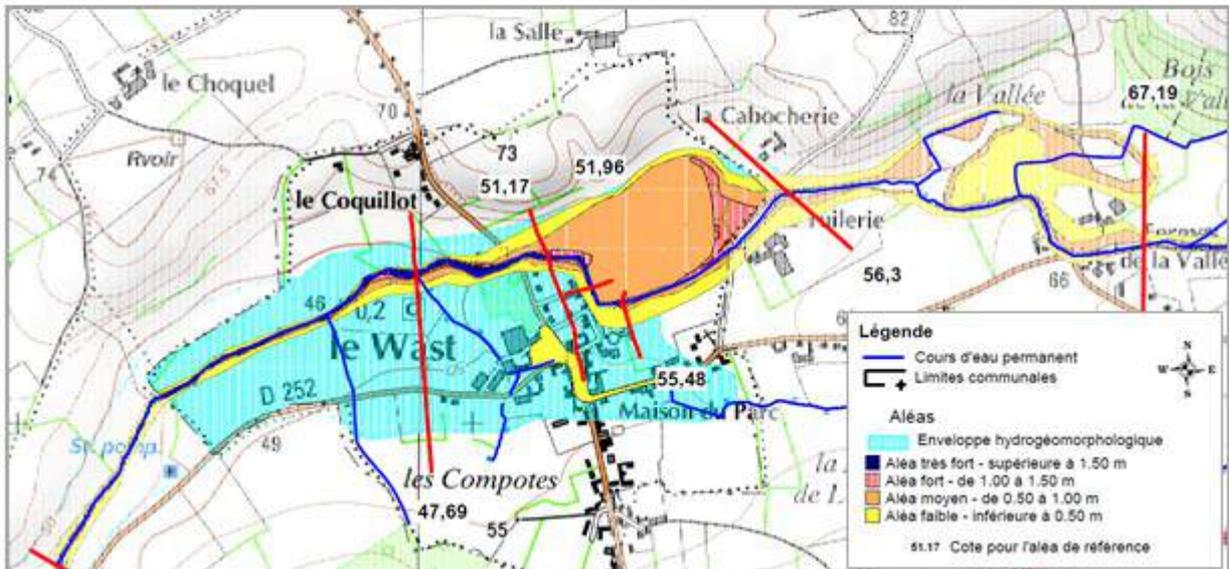


Figure 10 - Exemple de carte d'aléa sur la commune du Wast sur le bassin versant du Wimereux (Source : Préfecture du Pas-de-Calais, novembre 2010)

4.3 Aménagements de protection

Afin de limiter les débordements des cours d'eau et de contrôler le ruissellement sur les bassins du Boulonnais, le SYMSAGEB a engagé ces dernières années des opérations d'aménagements ou de curage décrites ci-dessous :

- **Bassin versant de la Liane :**
 - Désenvasement du bassin Frédéric Sauvage (2010-2011) qui a permis un abaissement du lit de la Liane à l'amont entre Pont-de-Briques et le bassin nautique ;
 - Pose de clapets anti-retour sur certaines canalisations localisées à l'aval de la Liane (2008-2009, 2011) dont l'efficacité a pu être vérifiée au niveau du quartier de Pont-de-Briques lors des crues hivernales de 2008-2009 ;
 - Curage, recalibrage et renforcement des berges des deux bras de la Liane au niveau du quartier de Pont-de-Briques (2008) ;
 - Aménagement de bassins de rétention des eaux de crues à :
 - Echinghen, sur le ruisseau de Tournes, d'une capacité de 72 000 m³ (débit de fuite pour Q100 : 4.4 m³/s);
 - Condette sur le ruisseau d'Écames, d'une capacité de 80 000 m³ (débit de fuite pour Q100 : 3.5 m³/s);
 - Baincthun, sur le ruisseau de Berthenlaire, d'une capacité de 63 000 m³ (débit de fuite pour Q100 : 4.5 m³/s).
- **Bassin versant du Wimereux :**
 - Pose de clapets anti-retour sur les exutoires des réseaux pluviaux à Wimille afin de limiter la remontée du Wimereux (2014) ;
 - Aménagement de deux bras de décharge du ruisseau du Pont Jean Marck, affluent du Wimereux à Conteville-les-Boulogne, et redimensionnement des buses de franchissement du cours d'eau (2010) ;
- **Bassin versant de la Slack :**
 - Recalibrage du Canal Napoléon entre la basse vallée de la Slack et l'estuaire et confortement des berges (2009-2010).

En complément de ces différentes opérations décrites ci-dessus, le SYMSAGEB prévoit également la réalisation de diagnostics de réduction de la vulnérabilité de l'habitat sur les secteurs exposés aux crues.



Recalibrage de la Liane (Pont de Briques)



Bassin d'Écames



Bassin de Tournes



Recalibrage du Canal Napoléon

Tableau 17 - Quelques aménagements types sur les cours d'eau du Boulonnais

5 - Volet Hydrologie : « de la pluie au débit »

5.1 Présentation des données utilisées

Les données nécessaires à l'analyse du comportement hydrologique des bassins versants et à la détermination des débits et hydrogrammes de référence sont de trois ordres :

- données pluviométriques, collectées auprès de la DREAL Nord-Pas-de-Calais, de Météo-France et du SYMSAGEB, sur les postes pluviométriques des bassins versants du Boulonnais et aux alentours ;
- données RADAR ANTILOPE 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 du Boulonnais ;
- données hydrométriques des stations installées sur la Liane, le Wimereux et la Slack, extraites pour certaines de la banque HYDRO du Ministère de l'Écologie et du Développement Durable, et collectées pour d'autres auprès de la DREAL Nord-Pas-de-Calais.

5.1.1 Données pluviométriques

Les données ont été récupérées sur les postes pluviométriques suivants :

Station pluviométrique	Bassin versant	Source	Période
Boulogne-sur-Mer	Liane	Météo-France	1992-2014
Bainghen_SAPC	Hem (Est BV Boulonnais)	Météo-France	2009-2014
Desvres	Liane	DREAL NPDC	1992-2013
Henneveux	Liane	DREAL NPDC	1970-2013
Wirwignes	Liane	DREAL NPDC	1972-2013
Samer	Liane	SYMSAGEB	2006-2012

Tableau 18 - Liste des stations pluviométriques utilisées

Les données suivantes ont été collectées :

- Cumuls mensuels des stations de Boulogne-sur-Mer (1992-2014) et Bainghen (2009-2014) ;
- Cumuls journaliers des stations de Desvres (1992-2002, 2009, 2010 et 2012), Henneveux (1972-2006, 2009, 2010 et 2012) et Wirwignes (1970-2006, 2009, 2010 et 2012) ;
- Cumuls journaliers des stations de Boulogne-sur-Mer et Bainghen du 15 octobre au 10 novembre 1998, du 22 octobre au 28 novembre 2000, du 10 novembre au 16 décembre 2006, du 31 octobre au 30 novembre 2009 et du 1^{er} octobre au 6 novembre 2012 ;
- Cumuls horaires de la station de Boulogne-sur-Mer du 23 au 25 octobre 1998, du 30 octobre au 3 novembre 1998, du 27 octobre au 3 novembre 2000, du 18 au 21 novembre 2000 ;
- Cumuls au pas de temps 6 minutes des stations de Desvres (2002-2013), Henneveux (2001-2013) et Wirwignes (2002-2013) ;

- Cumuls au pas de temps 6 minutes de la station de Boulogne-sur-Mer du du 1^{er} au 8 décembre 2006, 22 au 28 novembre 2009, du 26 au 29 octobre 2012 et du 1^{er} au 3 novembre 2012 ;
- Cumuls au pas de temps 6 minutes de la station de Bainghen pour les mêmes périodes que Boulogne-sur-Mer exceptée celle de décembre 2006 ;
- Précipitations de la station de Samer de 2006 à 2012 ;
- Périodes de retour des cumuls mensuels et journaliers des stations de Desvres, Henneveux et Wirwignes ;
- Annuaire pluviométriques 2010 à 2012 de la DREAL Nord-Pas-de-Calais.

Les statistiques des cumuls journaliers pour les stations de Desvres, Henneveux et Wirwignes sont données dans le tableau ci-dessous. On remarque que les trois stations ont des valeurs de pluies journalières relativement proches.

Cumuls journaliers en mm	DESVRES	HENNEVEUX	WIRWIGNES
Période de retour T	Période 1966-2010	Période 1973-2010	Période 1989-2010
2 ans	38	34.6	39.2
5 ans	48	47	51.2
10 ans	56	57.6	61.2
15 ans	61.2	64.6	67.6
20 ans	65	69.9	72.5
25 ans	68.2	74.4	76.5
50 ans	78.9	90	90.4
100 ans	91.1	108.7	106.6

Tableau 19 - Statistiques des cumuls journaliers aux stations de Desvres, Henneveux et Wirwignes (source Annuaire 2010 DREAL Nord-Pas-de-Calais)

Remarque : On observe ces dernières années une augmentation des statistiques de pluie comme le montre le tableau ci-dessous. Par exemple, la pluie journalière centennale a été estimée à 60 mm par la LHF en 1995, 60 mm (sur 20 heures) par SOGREAH en 2008 et aux alentours de 100 mm en 2013 par la DREAL Nord-Pas-de-Calais.

Période de retour (ans)	LHF 1995	SOGREAH 2008	Statistiques DREAL NDPC 2013		
	Pluie journalière (mm)	Pluie en 20h (mm)	Pluie journalière Desvres (mm)	Pluie journalière Henneveux (mm)	Pluie journalière Wirwignes (mm)
2	35	26	38	34.6	39.2
5	42	36	48	47	51.2
10	46	45	56	57.6	61.2
20	51	50	65	69.9	72.5
50	-	54	78.9	90	90.4
100	61	60	91.1	108.7	106.6

Tableau 20 - Pluie journalière calculée pour différentes périodes de retour de 1995 à 2013

5.1.2 Données RADAR

Les données suivantes ont été récupérées au pas de temps horaire. Elles concernent cinq événements significatifs récents de 1998 à 2012.

Événements	Dates	Image RADAR
Novembre 2012	Du 01/11 au 03/11/2012	ANTILOPE horaire
Novembre 2009	Du 22/11 au 27/11/2009	ANTILOPE horaire
Décembre 2006	Du 01/12 au 08/12/2006	ANTILOPE horaire
Novembre 2000	Du 18/11 au 21/11/2000	COMEPHORE horaire
Octobre-novembre 1998	Du 30/10 au 03/11/1998	COMEPHORE horaire

Tableau 21 - Images RADAR (Source Météo-France)

5.1.3 Données hydrométriques

Les débits, à pas de temps variable, des stations hydrométriques, gérées par la DREAL Nord-Pas-de-Calais et implantées sur les trois cours d'eau concernés, ont été extraites de la banque HYDRO du Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie. Leurs caractéristiques sont reprises ci-après.

Station	Cours d'eau	Code	Superficie drainée (km ²)	Période de mesure	Module (m ³ /s)	Validité des données (DREAL)
Wirwignes	La Liane	E5300210	100	1973-2013	1.83	Bonne
Isques	La Liane	E5310220	206	2013-2014	-	Jaugeages seulement
Wimille	Le Wimereux	E5205710	78	1981-2013	1.04	Bonne
Rinxent	La Slack	E5105710	38.4	1980-2013	0.61	Bonne (lacunes de plusieurs années)

Tableau 22 - Caractéristiques générales des stations hydrométriques de la DREAL Nord-Pas-de-Calais (Source : banque HYDRO)

5.2 Contexte pluviométrique global

Les stations pluviométriques ne se situent que sur le bassin versant de la Liane. Mais, les conclusions faites pour ce bassin reste valable pour les deux autres de par la ressemblance des trois bassins (voir paragraphe 2.1) et leur proximité géographique (voir analyse radar plus loin).

Le climat du bassin versant du Boulonnais est océanique, avec une température moyenne annuelle de l'ordre de 10 °C et peu de précipitations neigeuses.

Le territoire du Boulonnais présente des conditions pluviométriques particulières dues à sa localisation sur une frange côtière associée à des reliefs d'altitude excédant 200 mètres. On relève ainsi des cumuls annuels moyens de l'ordre de 700 mm à 800 mm sur la frange littorale (Boulogne-sur-Mer) à plus de 1000 mm dans l'arrière pays (Desvres, Henneveux et Wirwignes).

La figure ci-après l'illustre bien et présente les cumuls annuels sur la période 1992-2012 sur deux stations pluviométriques du Boulonnais, lorsque les années étaient complètes. Les années de 1998 à 2002, 2006, 2009 et 2012 ont été particulièrement humides et ont connu d'importantes crues des cours d'eau du Boulonnais comme nous le verrons plus loin.

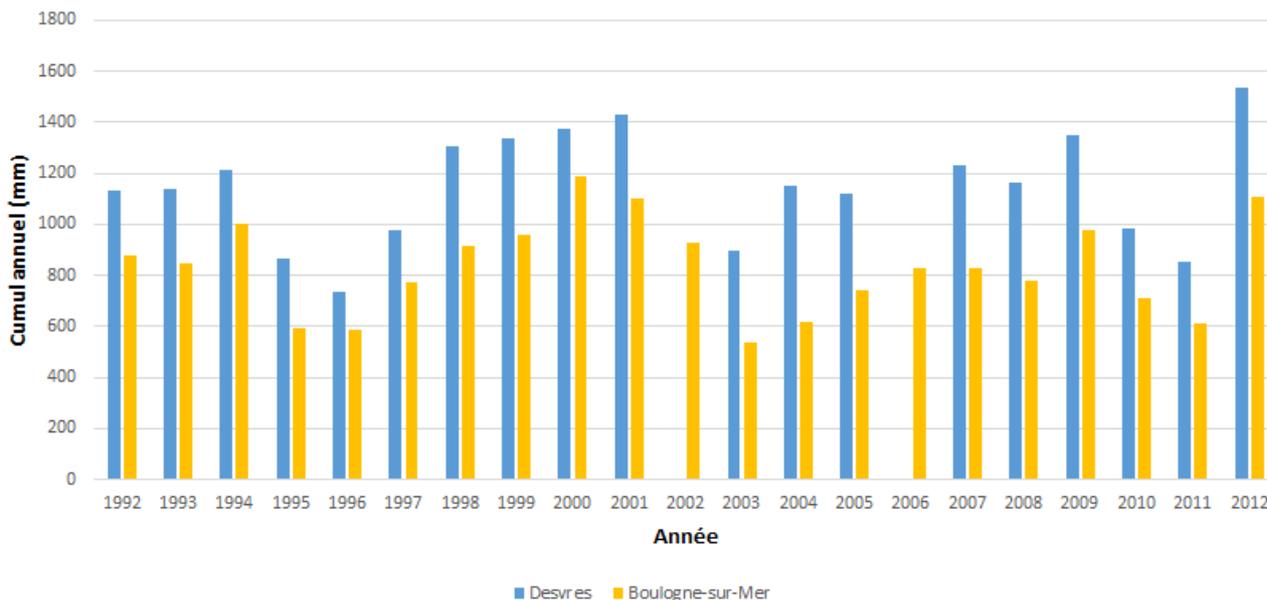


Figure 11 - Cumuls annuels (en mm) mesurés aux stations de Desvres, Henneveux, Wirwignes et Boulogne-sur-Mer sur la période 1992-2012

Si les plus forts cumuls mesurés ont lieu en automne et en hiver, le bassin versant peut être soumis à d’importants phénomènes orageux durant l’été. Les mois les plus pluvieux sont ceux d’octobre, novembre et décembre et les mois les moins pluvieux ceux d’avril et juin. La figure suivante présente les moyennes inter-annuelles sur la période 1992-2012 sur plusieurs stations.

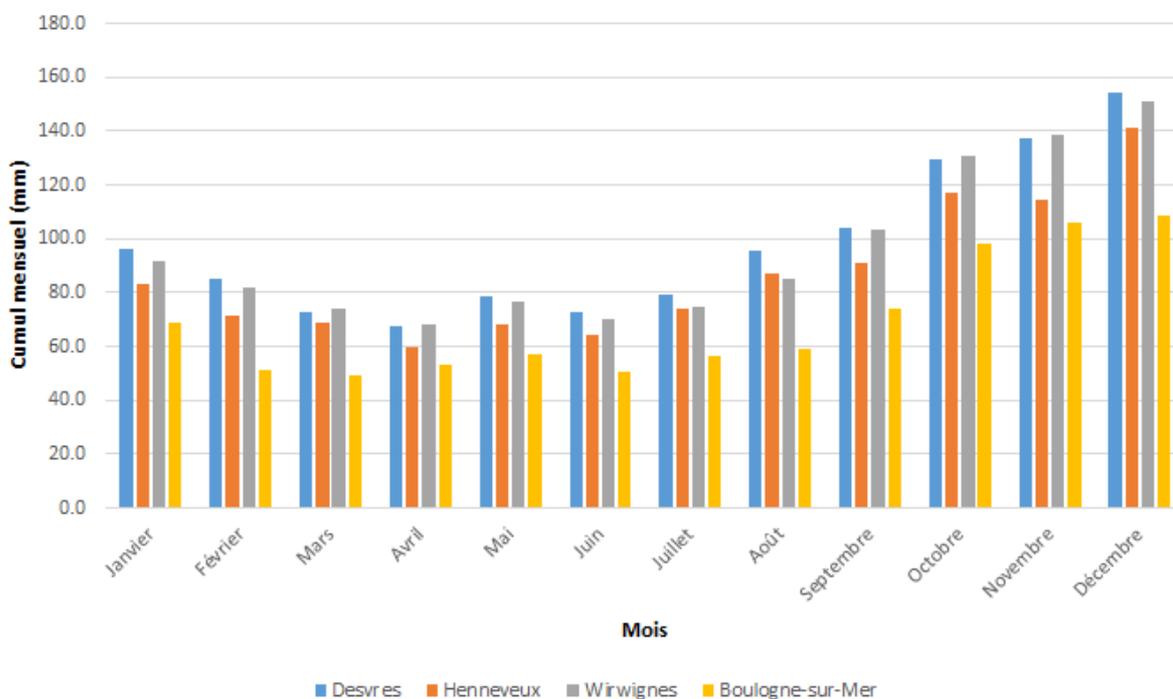


Figure 12 - Moyennes inter-annuelles des cumuls de pluie (en mm) mesurés aux stations de Desvres, Henneveux, Wirwignes et Boulogne-sur-Mer sur la période 1992-2012

Les pluies d'automne sont souvent longues, avec parfois une averse forte sur une durée de quelques heures. C'est ce type de pluie qui génère les crues de la Liane (LHF, 1995).

L'étude hydraulique de la Liane menée par le LHF (1995) mentionne les conclusions d'une analyse statistique réalisée par le SHC dans le cadre d'une étude hydrologique des crues du bassin de la Liane (1982) :

- « les précipitations sur les seconds secteurs [arrière pays], qui concernent l'essentiel du bassin versant de la Liane, peuvent être considérées comme homogènes avec une hauteur de précipitation interannuelle de l'ordre de 95% de la hauteur moyenne interannuelle mesurée à Desvres »;
- « les caractéristiques de répartition observées au niveau annuel restent valables au niveau mensuel en période hivernale et pour les mois pluvieux [...] »;
- « si l'on considère les précipitations journalières importantes (excepté les orages d'été),[...] la station de Desvres peut être considérée comme représentative pour l'ensemble du bassin versant de la Liane ».

Ces conclusions se sont basées sur des enregistrements réalisés à Boulogne-sur-Mer, Desvres, Réty, Guînes, Le Portel, Echinghen, Wirwignes, Wierre, Henneveux, Lottinghen et Bainghen.

Notons que l'étude SOGREAH de 2008 reprend le modèle élaboré par LHF en 1995. Elle a considéré des apports pluvieux moyens entre ceux mesurés à Desvres et à Henneveux.

5.3 Analyse des crues récentes enregistrées

5.3.1 Historique

Le Boulonnais a subi de nombreuses crues ces dernières années, notamment celle de novembre 2012. Celle-ci a alors dépassé la crue de référence à l'époque de novembre 1998, avec un débit de la Liane mesuré à Wirwignes de 56.6 m³/s. Le niveau maximal atteint par la Liane lors de cette crue était de 4.37 m à Wirwignes.

Pour les autres cours d'eau, les plus fortes crues enregistrées à ce jour sont celles du 2 novembre 2012 pour la station de Rinxent (Slack) et du 21 novembre 2000 pour la station de Wimille (Wimereux). La figure suivante recense les principaux événements de ces 40 dernières années, avec en orange les plus marquants (octobre 1981, novembre 1998, novembre 2000, novembre 2009, novembre 2012, novembre 2014).

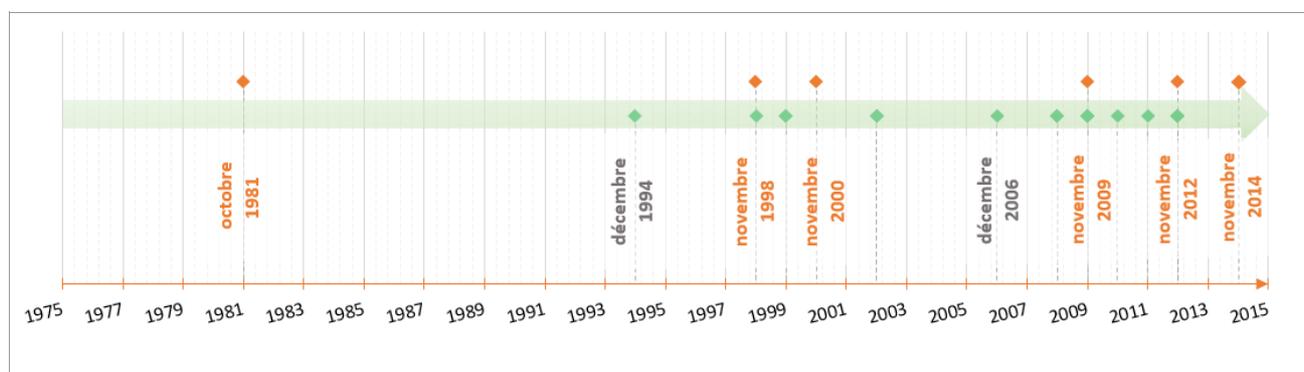


Figure 13 - Principaux événements recensés sur le Boulonnais de 1975 à aujourd'hui

Dans son étude en 1995, la LHF souligne « *la rapidité de la propagation des crues et le rôle notable du débit initial de la Liane sur l'importance de la crue. La valeur du ratio entre le débit mesuré à Hesdigneul-les-Boulogne et Wirwignes a légèrement augmenté au début des années 80, pour atteindre une valeur de 1,7. Cela pourrait se traduire par une diminution de la capacité d'écrêtement des crues entre les deux stations, probablement par réduction du champ d'inondation et suppression d'obstacles naturels comme les haies* ». L'urbanisation croissante de l'agglomération Boulonnaise depuis les années 1980 va effectivement dans ce sens. Cette valeur de 1.7 pourra être confirmée ou infirmée par les résultats de la modélisation dans le cadre de cette étude.

5.3.2 Analyse de la crue de novembre 2012

Les fortes pluies qui se sont abattues sur l'Ouest du Pas-de-Calais en octobre et novembre 2012 ont entraîné de fortes crues de la Liane, de la Slack et du Wimereux, menant à de nombreuses inondations. Le SYMSAGEB nous a fourni un tableau recensant les dégâts causés par les débordements des trois cours d'eau. Les communes les plus touchées en termes de nombre d'habitations inondées sont Saint-Etienne-au-Mont, Hesdigneul-les-Boulogne et Condette pour la Liane, Wimille pour le Wimereux et Bazinghen et Réty pour la Slack.

Les photographies suivantes illustrent les débordements de la Liane et du Wimereux lors des crues de novembre 2012.



Tableau 23 - Photographies illustrant les débordements de la Liane et du Wimereux lors des crues de novembre 2012
(Sources : DREAL et SYMSAGEB)

5.3.2.1 Le contexte pluviométrique des mois précédents

Les graphiques ci-dessous rendent compte des cumuls mensuels de précipitations mesurés sur les postes de Desvres, Henneveux, Wirwignes et Boulogne-sur-Mer d'août à novembre 2012. Ils sont comparés systématiquement aux normales mensuelles.

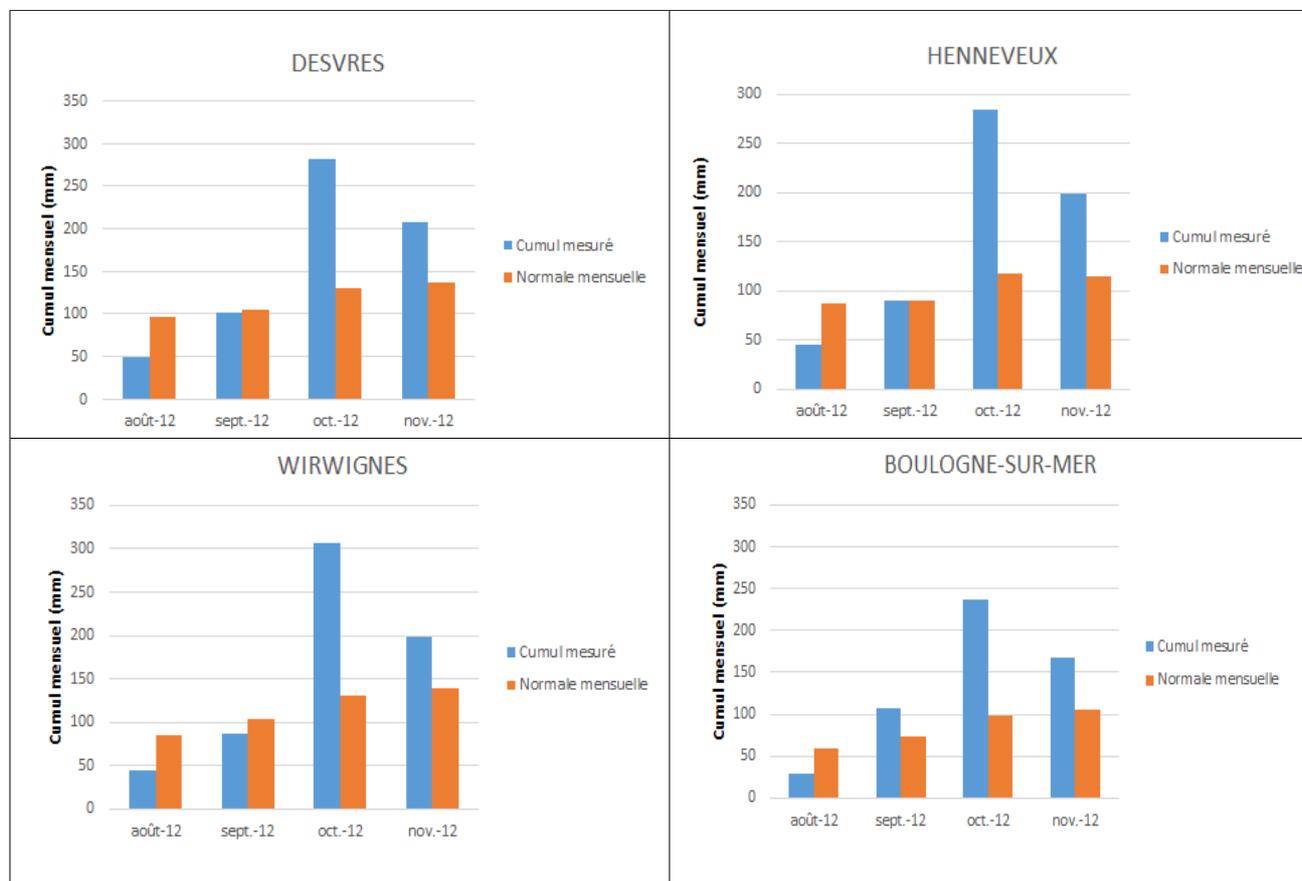


Tableau 24 - Cumuls mensuels sur les bassins versants du Boulonnais d'août à novembre 2012 (Sources : DREAL et Météo-France)

On remarque que le mois de septembre est dans la normale alors que le mois d'octobre est particulièrement arrosé, avec des cumuls excédentaires d'un facteur 2.5 par rapport aux valeurs normales. La période de retour des précipitations d'octobre varie entre 5 et 10 ans.

5.3.2.2 Le contexte pluviométrique autour de l'événement

On descend maintenant à un niveau d'investigations plus fin, c'est-à-dire aux précipitations journalières. Les figures ci-dessous rendent compte des précipitations journalières sur les postes de Desvres, Henneveux, Wirwignes, Boulogne-sur-Mer et Bainghen du 1^{er} octobre au 6 novembre 2012, avec un zoom autour de l'événement fin octobre-début novembre.

NB : Les cumuls journaliers sont calculés de 8h à 8h heure locale.

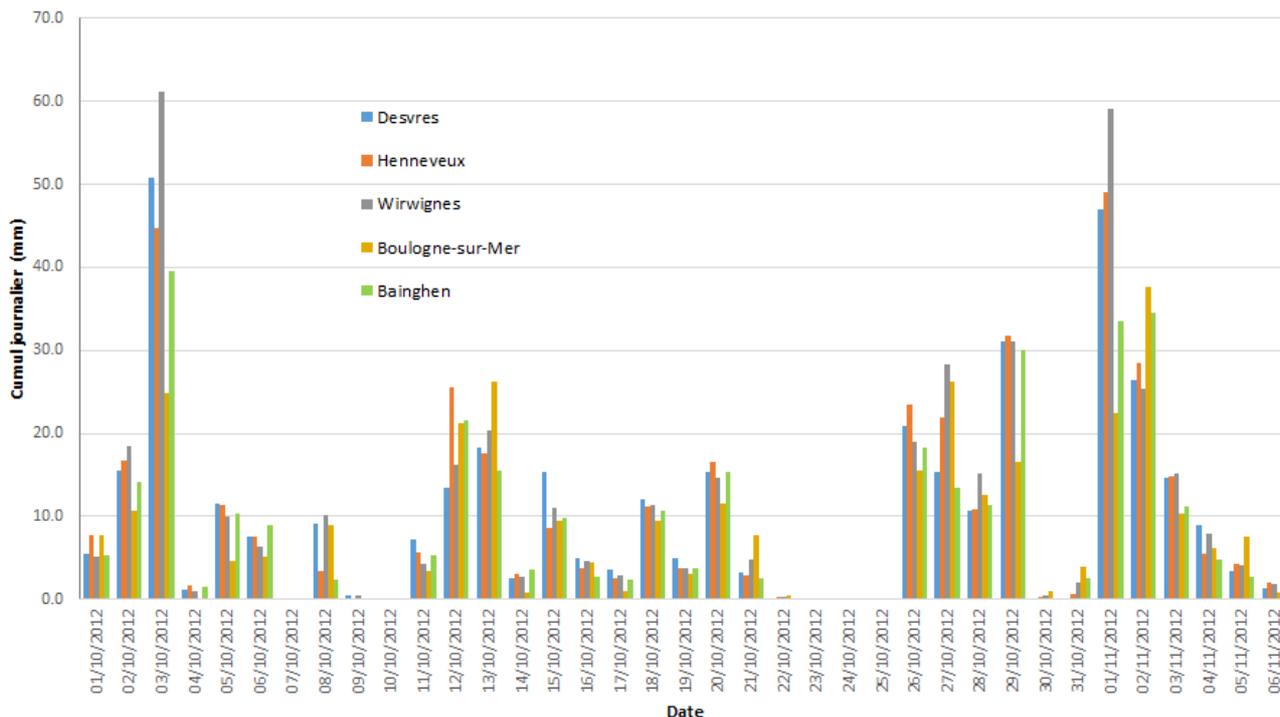


Figure 14 - Précipitations journalières sur les bassins versants du Boulonnais du 1^{er} octobre au 6 novembre 2012 (Sources : DREAL et Météo-France)

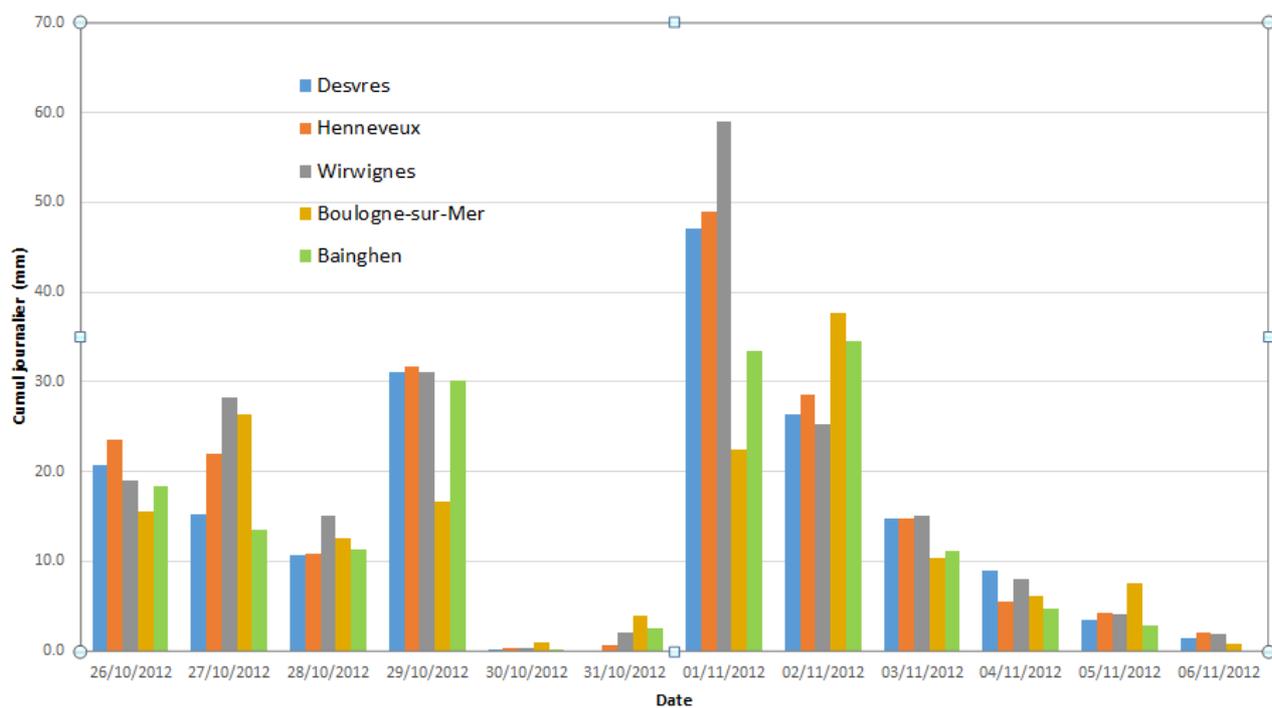


Figure 15 - Précipitations journalières sur les bassins versants du Boulonnais du 26 octobre au 6 novembre 2012 (Sources : DREAL et Météo-France)

On remarque que les précipitations sont quasi-continues tout le mois d'octobre et jusqu'à début novembre 2012, avec un cumul journalier important le 3 octobre. L'événement pluvieux donnant naissance à la crue se situe entre le 26 octobre et le 3 novembre 2012, avec un cumul journalier maximal le 1er novembre. Les plus forts cumuls sont mesurés à Wirwignes, Henneveux et Desvres.

	Desvres	Henneveux	Wirwignes	Boulogne	Bainghen
01/10/2012	5.5	7.7	5.2	7.7	5.4
02/10/2012	15.6	16.7	18.5	10.6	14.1
03/10/2012	50.8	44.8	61.1	24.8	39.6
04/10/2012	1.1	1.7	1.0	0.0	1.6
05/10/2012	11.6	11.4	10.0	4.6	10.4
06/10/2012	7.5	7.6	6.3	5.1	8.9
07/10/2012	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0
08/10/2012	9.1	3.5	10.2	8.9	2.4
09/10/2012	0.5	0.1	0.5	0.2	0.0
10/10/2012	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0
11/10/2012	7.3	5.7	4.2	3.4	5.4
12/10/2012	13.4	25.5	16.2	21.3	21.6
13/10/2012	18.3	17.6	20.4	26.2	15.5
14/10/2012	2.6	3.1	2.8	0.8	3.6
15/10/2012	15.4	8.6	11.1	9.4	9.8
16/10/2012	5.0	3.7	4.6	4.4	2.8
17/10/2012	3.6	2.5	2.9	1.0	2.4
18/10/2012	12.0	11.2	11.4	9.5	10.6
19/10/2012	5.0	3.7	3.8	3.0	3.8
20/10/2012	15.4	16.5	14.6	11.5	15.3
21/10/2012	3.2	2.9	4.8	7.7	2.6
22/10/2012	0.2	0.3	0.3	0.4	0.0
23/10/2012	0.1	0.1	0.0	0.2	0.2
24/10/2012	0.2	0.1	0.1	0.2	0.0
25/10/2012	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
26/10/2012	20.8	23.5	19.0	15.5	18.3
27/10/2012	15.3	22.0	28.3	26.3	13.5
28/10/2012	10.7	10.9	15.1	12.5	11.3
29/10/2012	31.1	31.7	31.0	16.6	30.1
30/10/2012	0.2	0.3	0.4	1.0	0.2
31/10/2012	0.0	0.6	2.0	4.0	2.6
01/11/2012	47.0	49.0	59.0	22.5	33.5
02/11/2012	26.4	28.5	25.3	37.6	34.5
03/11/2012	14.7	14.8	15.1	10.3	11.2
04/11/2012	8.9	5.5	8.0	6.2	4.8
05/11/2012	3.4	4.3	4.1	7.5	2.8
06/11/2012	1.4	2.0	1.9	0.8	0.0

Tableau 25 - Précipitations journalières sur les bassins versants du Boulonnais du 1^{er} octobre au 6 novembre 2012

Les pluies du 3 octobre et du 1^{er} novembre 2012 ont une période de retour de l'ordre de 5 ans pour Desvres et Henneveux et de l'ordre de 10 ans pour Wirwignes.

5.3.2.3 Les précipitations du 28 octobre au 3 novembre 2012 et la genèse de la crue de la Liane

La figure ci-dessous met en perspective les précipitations mesurées sur les postes de Desvres et Henneveux au pas de temps horaire, et les débits instantanés de la Liane à Wirwignes, du Wimereux à Wimille et de la Slack à Rincent, entre le 28 octobre et le 6 novembre 2012.

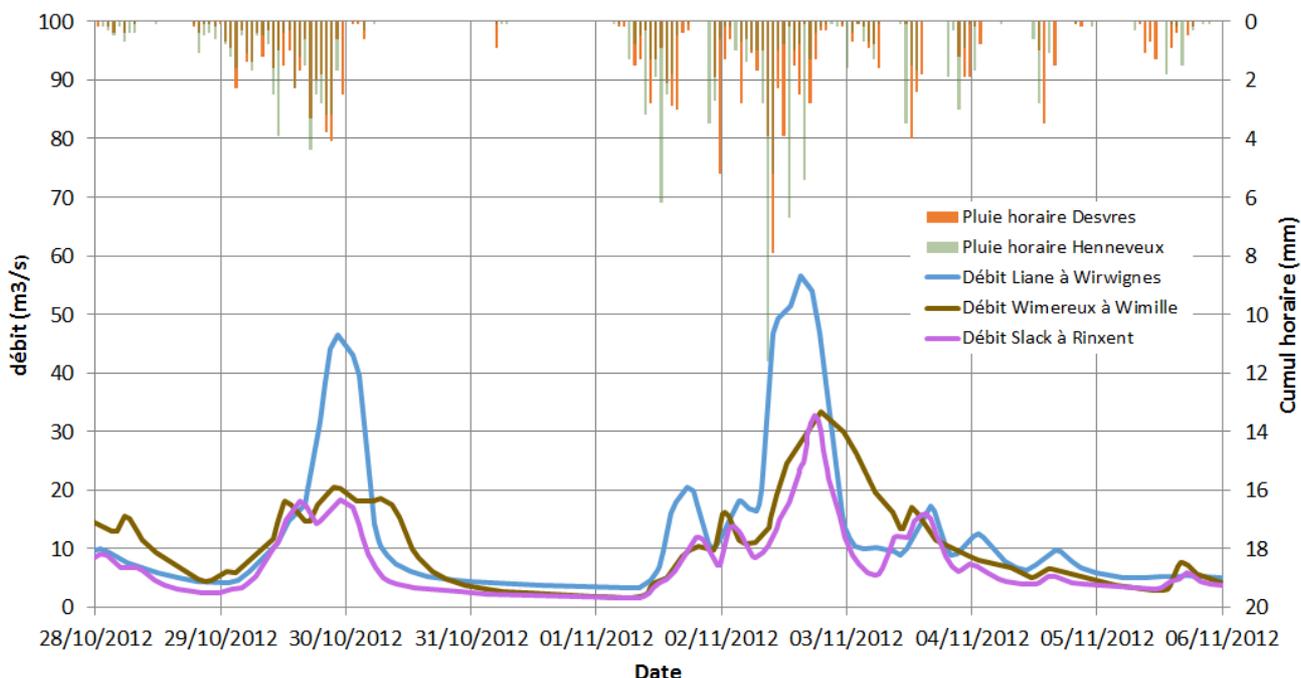


Figure 16 - Précipitations horaires à Desvres et Henneveux et débits de la Liane, du Wimereux et de la Slack du 28 octobre au 6 novembre 2012 (Sources : Banque HYDRO et Météo-France)

On note un premier épisode pluvieux continu toute la journée du 29 octobre 2012, avec des intensités faibles à modérées (le plus souvent inférieures à 2 mm/h avec quelques pics à 4 mm/h). Les trois cours d'eau réagissent plutôt rapidement à cette épisode. Le 29 octobre, le débit de la Liane à Wirwignes atteint 46 m³/s à 22h30, celui du Wimereux à Wimille 20 m³/s à 21h50 et celui de la Slack à Rincent 18 m³/s à 23h. Avec l'arrêt et l'absence de précipitations le 30 et le 31 octobre, les décrues sont marquées.

Les précipitations reprennent dans la matinée (vers 10h) du 1^{er} novembre et durent jusqu'en fin d'après-midi (vers 17h). Cet épisode, avec une intensité maximale de 6 mm/h, est rapidement suivi de la montée des eaux des trois cours d'eau. La baisse puis l'arrêt des pluies jusqu'en soirée se traduit par une légère décrue.

Les précipitations reprennent ensuite vers 20h et durent jusqu'à la fin de journée du 2 novembre 2012. L'épisode est à caractère orageux. Les intensités sont importantes : 12 mm/h à Henneveux et 8 mm/h à Desvres. Le débit de la Liane se remet à augmenter fortement à partir de 6h30 et atteint son pic vers 15h le 2 novembre 2012. Le débit passe alors de 16 m³/s à 57 m³/s, avec un gradient de montée important et maximal de 8 m³/s/h jusqu'à 11h. Le Wimereux et la Slack atteignent 33 m³/s, avec un gradient de montée plus faible de 2 m³/s/h.

La figure ci-après représente le cumul des lames d'eau RADAR durant l'épisode intense, du 1^{er} novembre 20h au 2 novembre 18h, sur l'ensemble du Boulonnais.

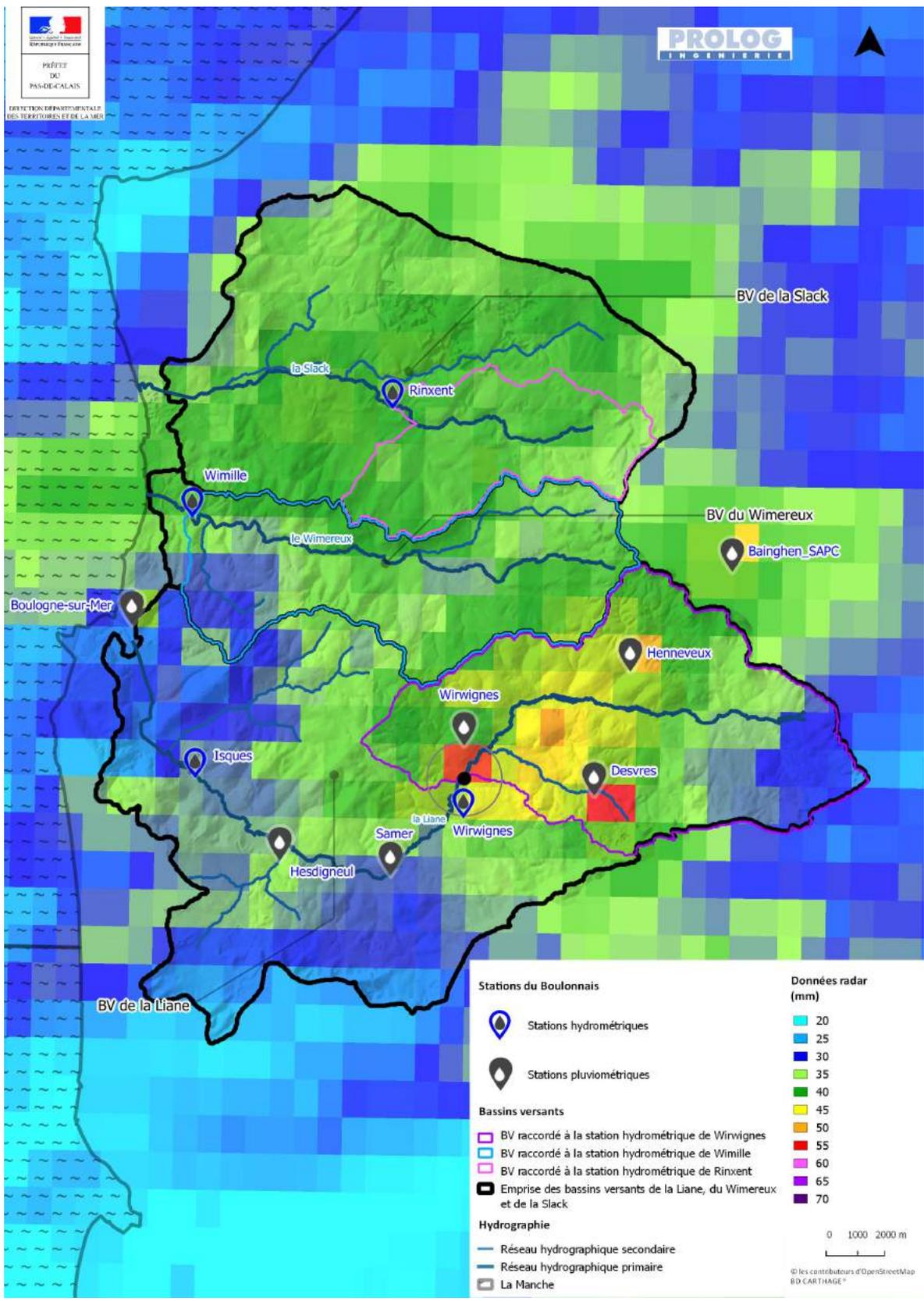


Figure 17 - Cumuls des lames d'eau RADAR du 1^{er} novembre 2012 20h au 2 novembre 2012 18h

NB : Les lames d'eau RADAR exploitées pour cet événement correspondent au produit ANTILOPE qui présente l'avantage que les lames d'eau sont recalées sur les données des stations pluviométriques. Ainsi, il a pu être vérifié que l'écart sur les cumuls entre les données RADAR et les données mesurées sur les pluviomètres n'excède pas 10% pour cet événement.

On remarque que :

- les cumuls les plus importants (45-55 mm) se situent dans le triangle « Henneveux-Wirwignes-Desvres » ;
- une grande disparité entre la Liane amont (45-55 mm) et la Liane aval (25-35 mm) ;
- une homogénéité des pluies sur les bassins versants de la Slack (35-40 mm) et du Wimereux (30-40 mm).

Il est intéressant d'exploiter cette information RADAR qui renseigne sur la répartition géographique des précipitations, pour calculer de manière plus fine que sur la base de données ponctuelles, le coefficient d'apport à l'échelle de l'événement. Ce coefficient est calculé en faisant le rapport entre le volume de pluie qui est tombé au sol et le volume de l'hydrogramme mesuré sur chaque station hydrométrique. Il donne donc une estimation du volume de la pluie nette (celle qui a contribué à la formation de la crue) à partir de la pluie brute (celle qui est tombée du ciel). Le calcul de ce coefficient est intéressant dans la mesure où il fournit une idée sur l'ampleur de la réponse hydrologique du bassin versant, et sur l'état de saturation des sols. Plus il est élevé et plus cela signifie que la part de pluie qui a contribué à la formation de la crue est importante. Ainsi, un événement pluvieux qui apparaît sur des sols non saturés et capables d'absorber les eaux aura un coefficient d'apport plus faible qu'un événement qui se produit sur des sols saturés en eau du fait d'antécédents pluvieux importants.

Afin de calculer ce coefficient sur les stations hydrométriques disponibles sur chacun des cours d'eau (Liane à Wirwignes, Wimereux à Wimille et Slack à Rinxent), les sous bassins versants drainés en chaque station hydrométrique ont été découpés en surfaces élémentaires, sur lesquelles on a calculé le volume de pluie brute à partir de la donnée RADAR estimée sur chacune de ces surfaces. Puis le volume de l'hydrogramme résultant sur chaque station a été calculé à partir des débits mesurés.

Si l'on regarde la seule période de précipitations qui a conduit à la crue du 1^{er} novembre 2012, les coefficients calculés sont de l'ordre de :

- 65 à 70 % pour la Liane à Wirwignes ;
- 70 à 75 % pour le Wimereux à Wimille ;
- 75 à 80 % pour la Slack à Rinxent.

On est donc sur des coefficients élevés qui traduisent une réponse hydrologique marquée lors de ce dernier épisode pluvieux du 1^{er} au 2 novembre 2012.

5.3.2.4 Bilan de l'événement de novembre 2012

On retiendra que le mois d'octobre 2012 précédant l'événement a été particulièrement arrosé, avec des pluies quasi-continues tout le mois et un cumul mensuel présentant des périodes de retour de 5 à 10 ans. L'événement du 3 octobre, similaire en cumul journalier à celui du 1^{er} novembre, n'a pas provoqué une crue importante de la Liane mais a contribué à la saturation des sols. Les pluies du 3 octobre et du 1^{er} novembre ont une période de retour de l'ordre de 5 à 10 ans.

L'événement du 1^{er} novembre 2012 a été plus intense que les précédents d'octobre et a provoqué une crue des trois cours d'eau du Boulonnais. Sur la Liane, les cumuls les plus importants (45-55 mm) se situent sur le bassin amont de la Liane. La disparité est grande entre la Liane amont et la Liane aval (25-35 mm). Les pluies ont été plus homogènes sur les bassins versants de la Slack (35-40 mm) et du Wimereux (30-40 mm).

En début de matinée du 2 novembre 2012, les débits des trois cours d'eau se mettent à augmenter considérablement et suivent alors la même évolution que les précipitations, avec un décalage temporel de 3 heures environ.

Les pics de crue sont atteints vers :

- 15h pour la Liane, avec un débit de 56,5 m³/s à Wirwignes ;
- 19h pour le Wimereux, avec un débit de 33,4 m³/s à Wimille ;
- 18h pour la Slack, avec un débit de 32,8 m³/s à Rinxent.

5.3.3 Analyse de la crue de novembre 2009

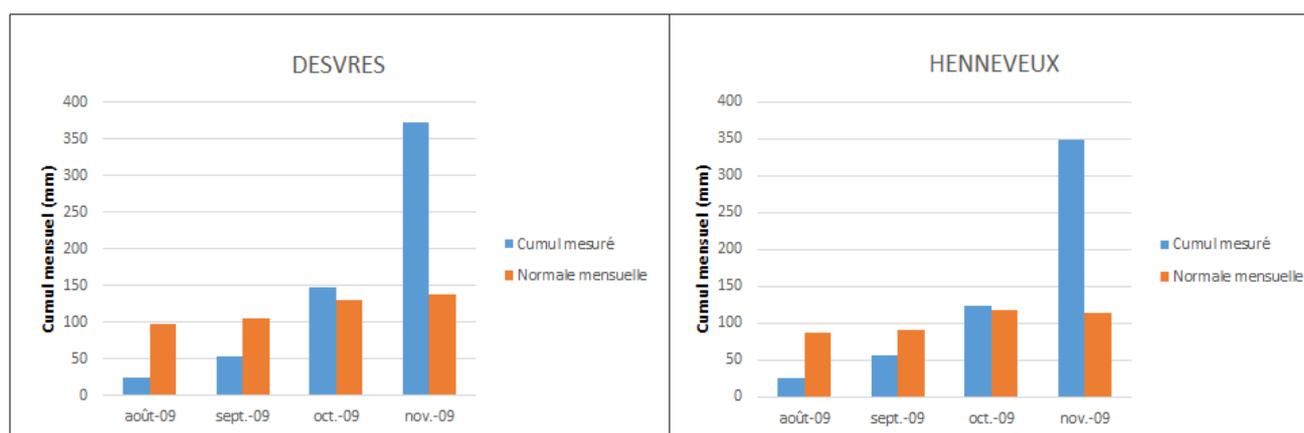
Cet épisode est analysée de la même manière que celui de novembre 2012.

5.3.3.1 Le contexte pluviométrique de l'événement

Les figures ci-dessous rendent compte des cumuls mensuels de précipitations mesurés sur les postes de Desvres, Henneveux, Wirwignes et Boulogne-sur-Mer d'août à novembre 2009. Ils sont comparés aux normales mensuelles.

On remarque que les mois de septembre et d'octobre sont dans la normale voire en dessous alors que le mois de novembre est particulièrement arrosé, avec des cumuls excédentaires d'un facteur 2 à 3 par rapport aux valeurs normales. La période de retour des précipitations de novembre varie entre 20 et 25 ans.

Les précipitations sont importantes en début de mois, du 1^{er} au 4 novembre mais les sols sont plutôt secs donc la réponse hydrologique est faible. Les cumuls restent faibles jusqu'au 22 novembre.



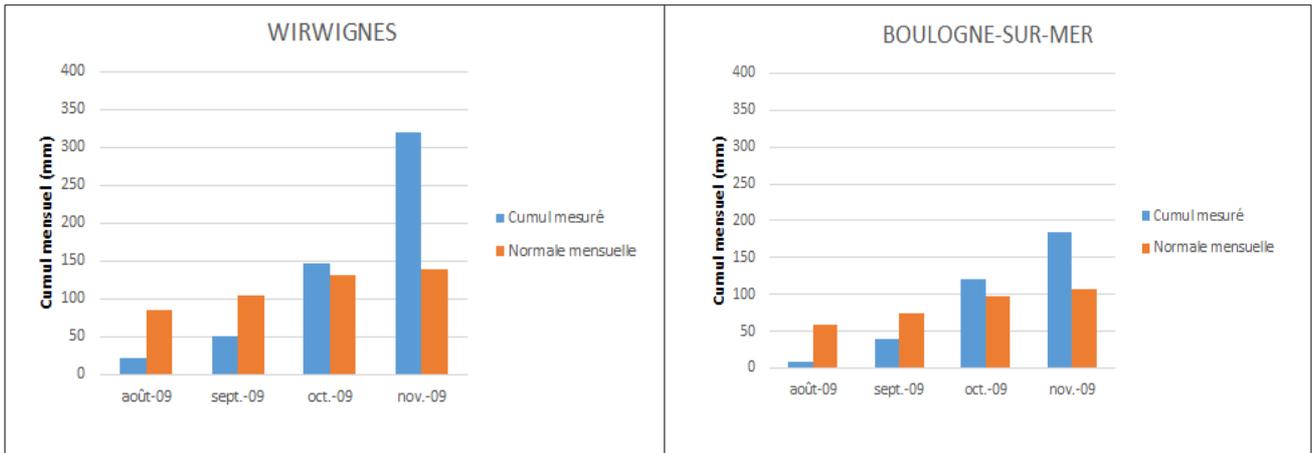


Tableau 26 - Cumuls mensuels sur les bassins versants du Boulonnais d'août à novembre 2009 (Sources : DREAL et Météo-France)

Les figures ci-dessous rendent compte des précipitations journalières sur les postes de Desvres, Henneveux, Wirwignes, Boulogne-sur-Mer et Bainghen du 22 au 30 novembre 2009.

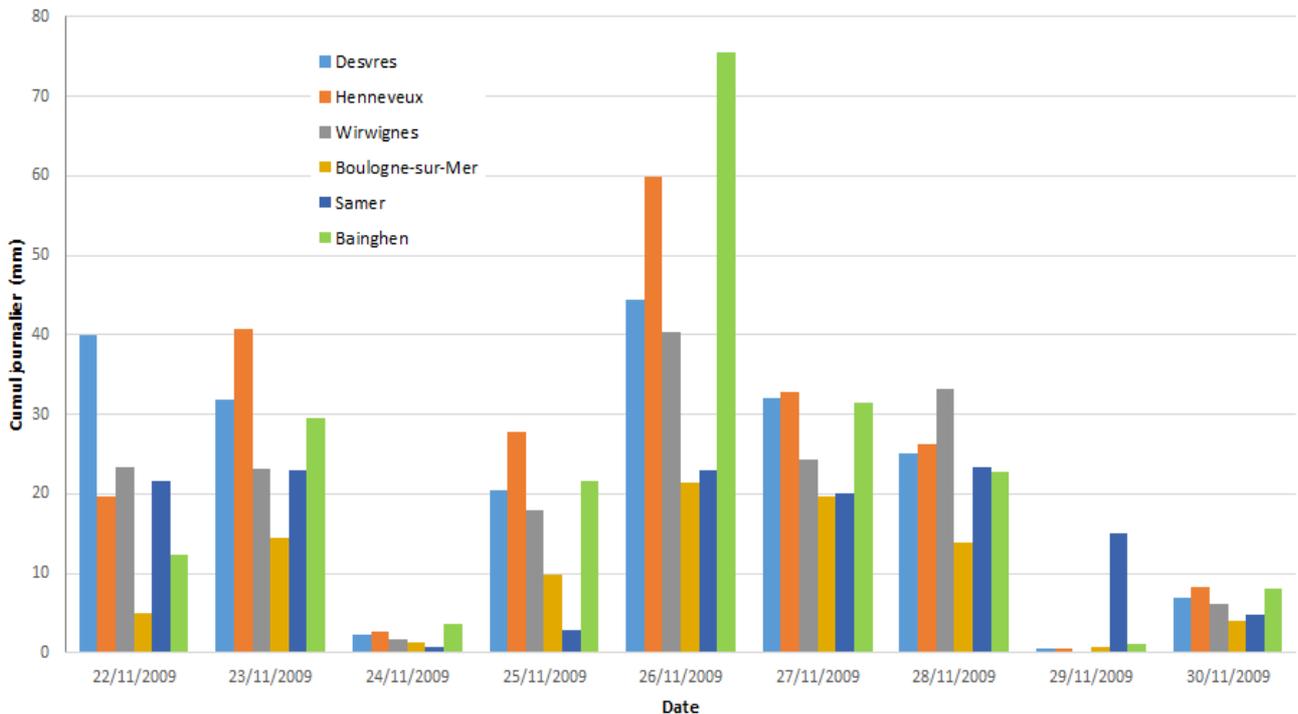


Figure 18 - Précipitations journalières sur les bassins versants du Boulonnais du 22 au 30 novembre 2009 (Sources : DREAL et Météo-France)

On remarque que les précipitations sont conséquentes les 22 et 23 novembre puis du 25 au 28 novembre 2009, avec un cumul journalier maximal le 26. Ces deux événements pluvieux donnent naissance à deux crues. Les plus forts cumuls sont mesurés à Henneveux et Bainghen, puis Desvres et Wirwignes.

	Desvres	Henneveux	Wirwignes	Boulogne	Samer	Bainghen
22/11/2009	39.9	19.6	23.3	5	21.6	12.3
23/11/2009	31.9	40.8	23.2	14.4	23	29.6
24/11/2009	2.3	2.6	1.8	1.4	0.8	3.6
25/11/2009	20.4	27.8	17.9	9.8	2.8	21.6
26/11/2009	44.4	59.9	40.4	21.4	23	75.6
27/11/2009	32.1	32.9	24.3	19.6	20	31.5
28/11/2009	25	26.3	33.3	13.8	23.4	22.8
29/11/2009	0.6	0.5	0.1	0.8	15	1.2
30/11/2009	6.9	8.3	6.1	4	4.8	8

Tableau 27 - Précipitations journalières sur les bassins versants du Boulonnais du 22 au 30 novembre 2009

Les pluies du 26 novembre 2009 ont une période de retour de l'ordre de 10 ans pour Henneveux et de l'ordre de 2 ans pour Desvres et Wirwignes.

5.3.3.2 Les précipitations du 22 au 30 novembre 2009 et la genèse des crues

La figure ci-dessous met en perspective les précipitations mesurées sur les postes de Desvres et Henneveux au pas de temps horaire, et les débits instantanés de la Liane à Wirwignes, du Wimereux à Wimille et de la Slack à Rincent, entre le 22 et le 30 novembre 2009. Cette période est marquée par deux pics de crue. Seuls les débits journaliers du Wimereux et le débit instantané maximal du 27 novembre sont disponibles suite à un incident à la station de Wimille.

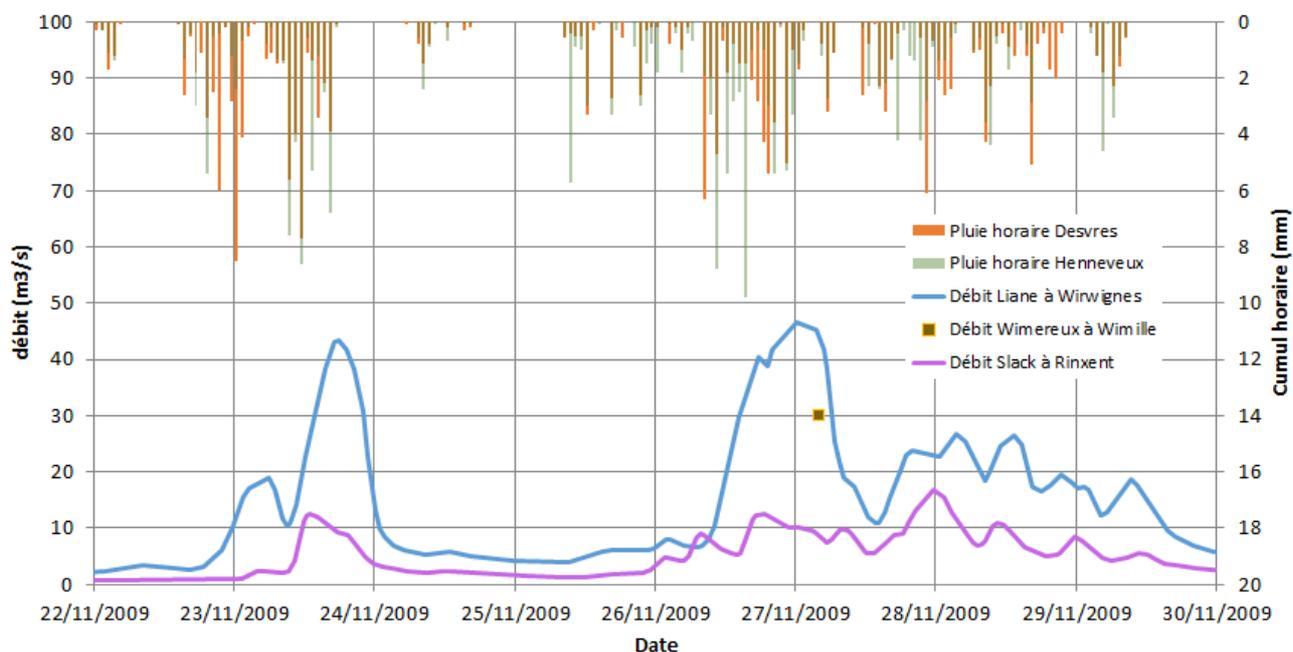


Figure 19 - Précipitations horaires à Desvres et Henneveux et débits de la Liane, du Wimereux et de la Slack du 22 au 30 novembre 2009 (Sources : Banque HYDRO et Météo-France)

A. On note un premier épisode pluvieux, du 22 au 23 novembre 2009, avec des intensités modérées à fortes (le plus souvent inférieures à 4 mm/h avec quelques pics à 8 mm/h). Les pluies de la journée du 22 ne concernent que le sud du bassin de la Liane (région de Desvres) et provoquent une réaction modérée du cours d'eau.

Les pluies plus fortes du 23 novembre 2009 concernent l'amont des trois bassins versants et font réagir les trois cours d'eau. Le 23 novembre, le débit de la Liane à Wirwignes atteint 43 m³/s à 17h, et celui de la Slack à Rinxent 12.5 m³/s à 13h. Avec l'arrêt et l'absence de précipitations la fin de journée du 23 et le 24, les décrues sont marquées.

La figure suivante présente le cumul des lames d'eau RADAR (également ANTILOPE, et donc recalées par rapport aux mesures au sol des pluviomètres alentours) durant l'épisode intense du 22 novembre 14h au 23 novembre 17h, sur l'ensemble du Boulonnais. On remarque que :

- les cumuls les plus importants se situent sur l'amont du bassin de la Liane (45-55 mm) ;
- une disparité entre l'amont (35-55 mm) et l'aval (20-25 mm) sur les bassins de la Liane et du Wimereux ;
- un cumul plus faible sur l'ensemble du bassin de la Slack (25-30 mm).

B. Les précipitations reprennent significativement dans la nuit du 26 au 27 novembre 2009 et durent jusqu'à la nuit du 27 au 28. Les intensités sont modérées à fortes : 10 mm/h à Henneveux et 6 mm/h à Desvres. Le débit de la Liane se remet à augmenter fortement à partir de 9h et atteint son pic vers 0h le 27 novembre 2009. Le débit passe alors de 8 m³/s à 47 m³/s, avec un gradient de montée important et maximal de 4 m³/s/h. Le débit du Wimereux est estimé à environ 30 m³/s à partir de jaugeages. La Slack atteint 12 m³/s, avec un gradient de montée plus faible (2 m³/s/h au maximum).

Mais les précipitations continuent les 27 et 28 et les cours d'eau réagissent. La Slack atteint même un débit maximal de 17 m³/s supérieur au précédent. La Liane réagit moins car les précipitations les plus fortes concernent alors les bassins de la Slack (20-55 mm) et du Wimereux (20-45 mm).

La figure après la suivante présente le cumul des lames d'eau RADAR durant l'épisode intense, du 26 novembre 2h au 27 novembre 2h, sur l'ensemble du Boulonnais. On remarque que :

- les cumuls les plus importants (60-65 mm) concernent la partie amont du bassin du Wimereux ;
- une grande disparité entre le nord du bassin de la Liane (35-55 mm), proche de celui du Wimereux, et le sud (20 mm) ;
- une disparité entre l'amont (35-40 mm) et l'aval (20 mm) sur le bassin de la Slack.

NB : Les lames d'eau RADAR (produit ANTILOPE) ont été recalées par Météo-France sur les données acquises sur les postes pluviométriques alentours. Il a été vérifié dans l'étude que l'écart sur les cumuls varie entre +5 et -25% pour cet événement de novembre 2009 entre les données RADAR et les données des pluviomètres au sol.

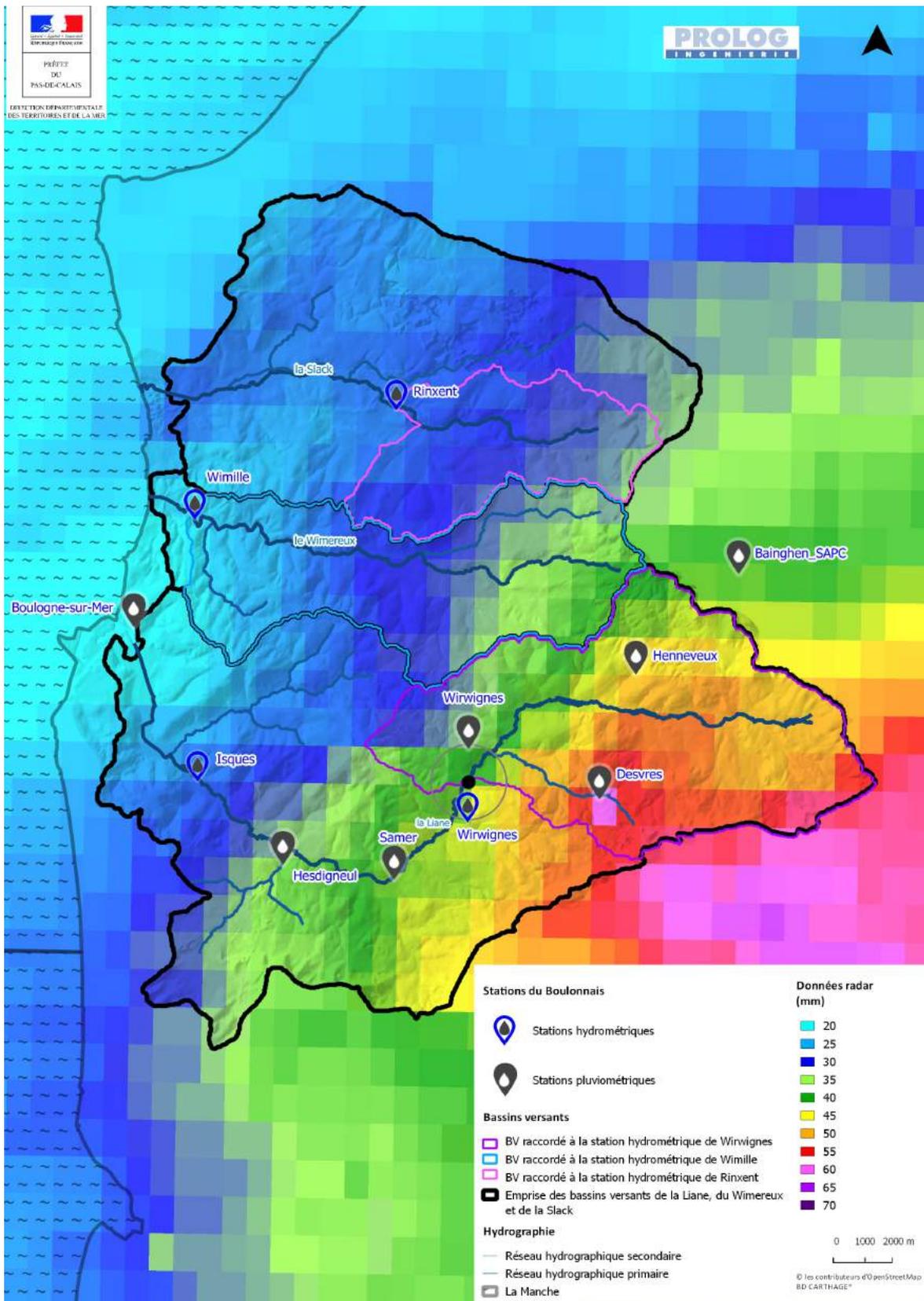


Figure 20 - Cumuls des lames d'eau RADAR du 22 novembre 2009 14h au 23 novembre 2009 17h

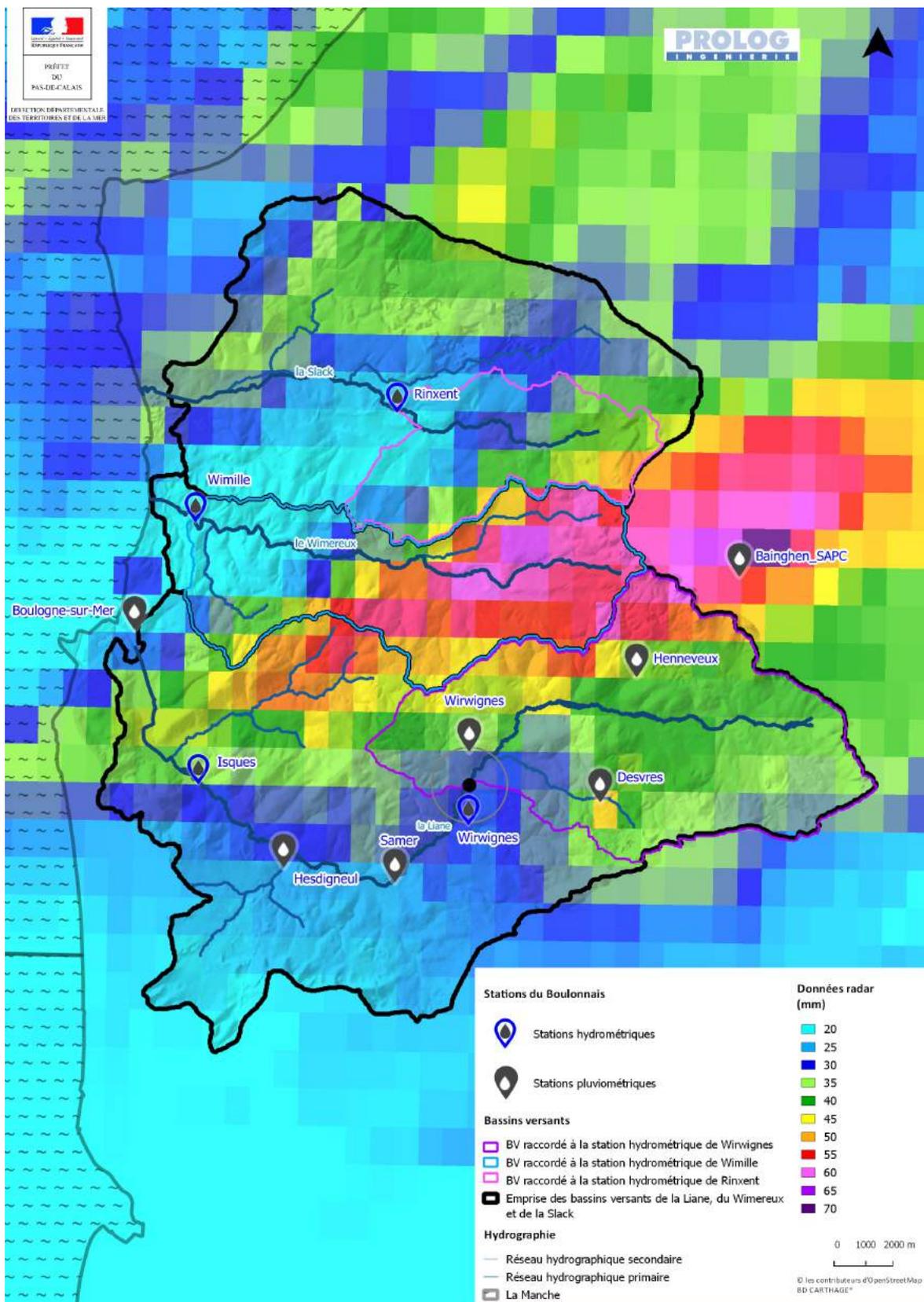


Figure 21 - Cumuls des lames d'eau RADAR du 26 novembre 2009 2h au 27 novembre 2009 2h

5.3.3.3 Bilan de l'événement de novembre 2009

On voit que l'on se situe dans un contexte normal jusqu'à fin d'octobre puis humide en novembre 2009. Les événements du 1^{er} au 3 novembre, similaires en cumul journalier à celui 23 novembre, n'ont pas provoqué de crue, seulement 10 m³/s à Wirwignes et 3 m³/s à Rinxent, mais ont contribué à l'humidification des sols. L'épisode du 22 novembre 2009 a saturé les sols de la Liane et elle a ensuite réagi rapidement le 23 et le 26 novembre. L'évolution des précipitations et l'évolution des débits suivent alors les mêmes allures, avec un décalage temporel de 3 à 4 heures. Ceci montre une prédominance du ruissellement : l'infiltration est faible et toute la pluie tombée contribue à l'augmentation du débit du cours d'eau.

La Slack, quant à elle, a été beaucoup moins arrosée : seulement la tête amont du bassin le 26 novembre. Le pic de crue intervient même plus tard, dans la nuit du 27 au 28.

Si l'on regarde les périodes intenses du 22-23 et du 26-27 novembre, on peut comparer, comme cela a été fait pour l'épisode de novembre 2012, les volumes de la pluie brute aux volumes écoulés aux différentes stations hydrométriques, de façon à estimer un coefficient global d'apport. Les volumes de pluie brute sont calculés à partir des images RADAR en appliquant un cumul de pluie à chaque sous-bassin de la station hydrométrique. Les coefficients calculés sont de l'ordre de 60 à 70% pour la Liane et 45 à 55 % pour la Slack, plus faible que la Liane car ce bassin a été moins arrosé que les autres.

Nous constatons que ces coefficients sont plus faibles que pour l'événement de novembre 2012.

NB : Les calculs n'ont pas pu être faits pour le Wimereux car nous ne disposons que des débits journaliers.

5.3.4 Analyse de la crue de décembre 2006

5.3.4.1 Le contexte pluviométrique de l'événement

Les figures ci-dessous rendent compte des cumuls mensuels de précipitations mesurés sur les postes de Desvres, Henneveux, Wirwignes et Boulogne-sur-Mer de septembre à décembre 2006. Ils sont comparés aux normales mensuelles.

On remarque que, après un mois de septembre particulièrement sec, le mois d'octobre est légèrement au-dessus de la normale (notamment pour Henneveux) alors que le mois de novembre est dans la normale. La période de retour des précipitations de décembre est d'environ 5 ans.

Les précipitations sont continues mais faibles du 10 novembre à la fin du mois. Cela contribue à l'humidification des sols, sans toutefois relever de caractère exceptionnel ou particulièrement arrosé.

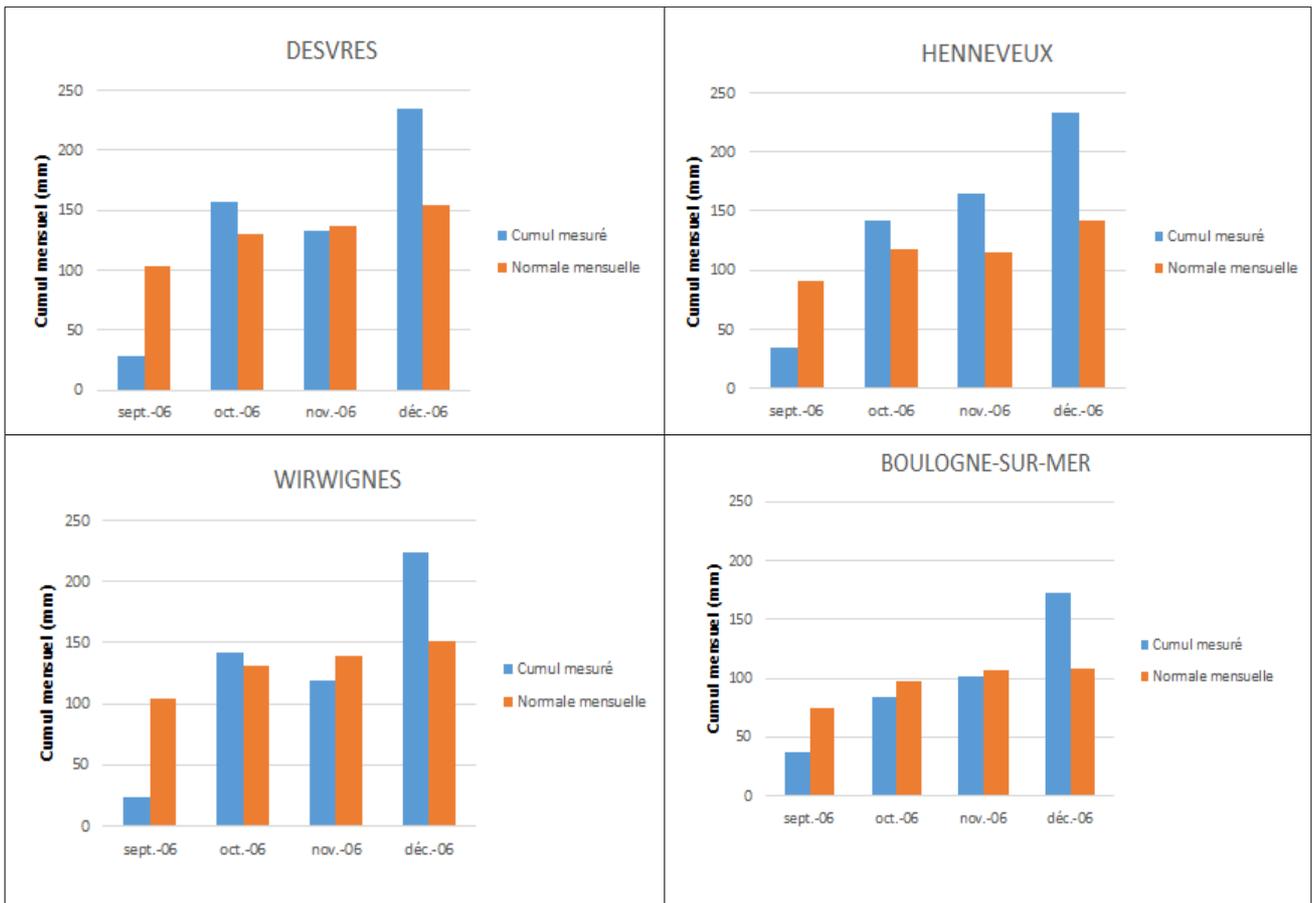


Tableau 28 - Cumuls mensuels sur les bassins versants du Boulonnais de septembre à décembre 2006
(Sources : DREAL et Météo-France)

Les figures ci-dessous rendent compte des précipitations journalières sur les postes de Desvres, Henneveux, Wirwignes, Boulogne-sur-Mer, Samer et Bainghen du 30 novembre au 13 décembre 2006.

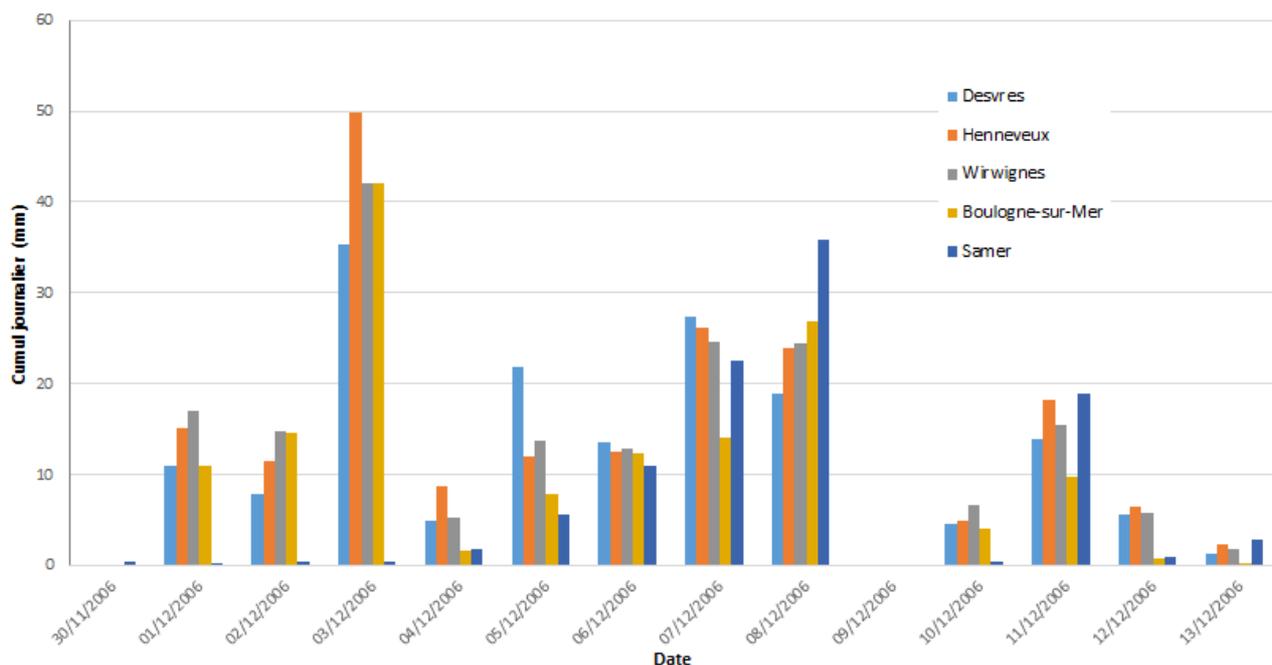


Figure 22 - Précipitations journalières sur les bassins versants du Boulonnais du 30 novembre au 13 décembre 2006 (Sources : DREAL et Météo-France)

On remarque que les précipitations sont conséquentes le 3 décembre puis le 7 et le 8 décembre 2006, avec un cumul journalier maximal le 3. Ces deux événements pluvieux donnent naissance à deux crues. Les plus forts cumuls sont mesurés à Henneveux pour le 3 et Samer pour le 8 décembre 2006.

	Desvres	Henneveux	Wirwignes	Boulogne	Samer
30/11/2006	0	0	0	0	0.4
01/12/2006	11	15.2	17.1	11	0.2
02/12/2006	7.9	11.5	14.7	14.6	0.4
03/12/2006	35.4	49.9	42.1	42	0.4
04/12/2006	5	8.7	5.3	1.6	1.8
05/12/2006	21.9	12	13.7	7.8	5.6
06/12/2006	13.6	12.5	12.9	12.4	11
07/12/2006	27.3	26.1	24.6	14	22.6
08/12/2006	18.9	24	24.4	26.8	35.8
09/12/2006	0	0	0	0	0
10/12/2006	4.5	4.9	6.6	4	0.4
11/12/2006	13.9	18.2	15.5	9.8	19
12/12/2006	5.7	6.5	5.8	0.8	1
13/12/2006	1.3	2.4	1.9	0.2	2.8

Tableau 29 - Précipitations journalières sur les bassins versants du Boulonnais du 30 novembre au 13 décembre 2006

Les pluies du 3 décembre ont une période de retour de l'ordre de 5 ans pour Henneveux et de l'ordre de 2 ans pour Desvres et Wirwignes.

5.3.4.2 Les précipitations du 1er au 10 décembre 2006 et la genèse des crues

La figure ci-dessous met en perspective les précipitations mesurés sur les postes de Desvres et Henneveux au pas de temps horaire, et les débits instantanés de la Liane à Wirwignes, du Wimereux à Wimille et de la Slack à Rincent, entre le 1er et le 10 décembre 2006. Cette période est marquée par plusieurs pics de crue successifs dont deux principaux le 4 et le 8.

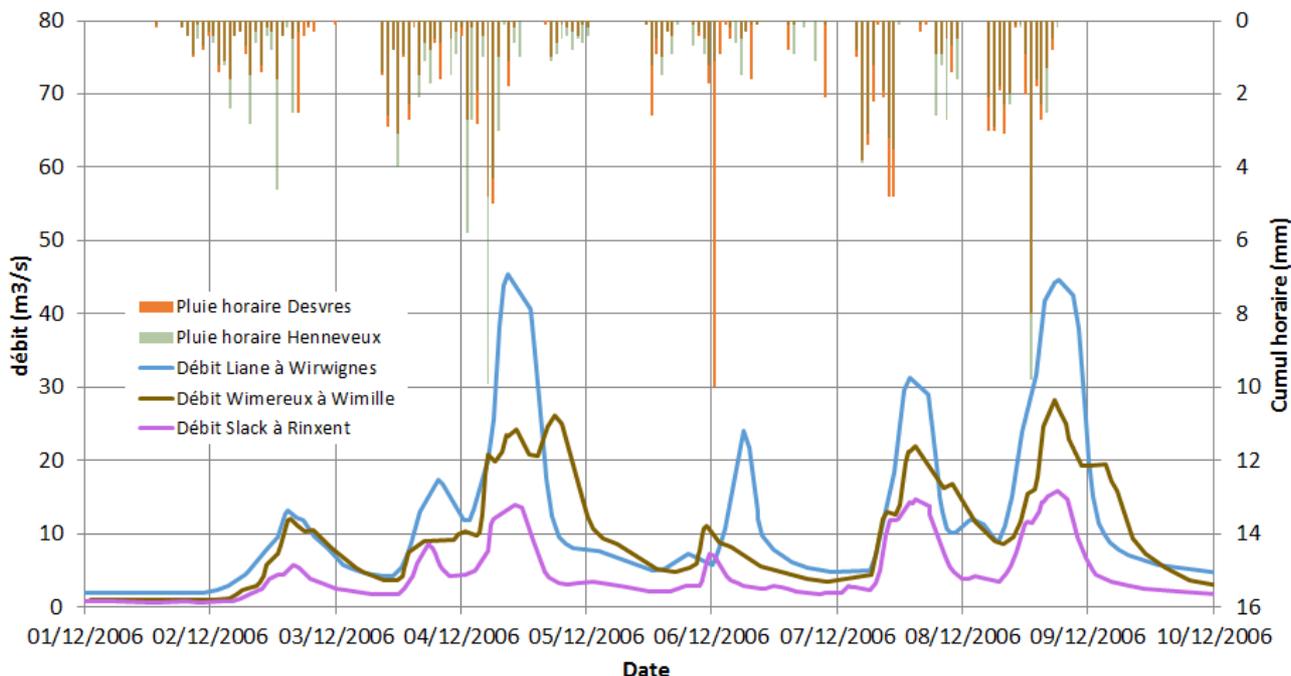


Figure 23 - Précipitations horaires à Desvres et Henneveux et débits de la Liane, du Wimereux et de la Slack du 1er au 10 décembre 2006 (Sources : Banque HYDRO et Météo-France)

A. On note un épisode pluvieux, le 2 décembre 2006, avec des intensités modérées (le plus souvent inférieures à 2 mm/h avec quelques pics à 4 mm/h). Ces pluies contribuent à la saturation des sols. Les pluies plus fortes du 3 et surtout du 4 font réagir les trois cours d'eau. Le 4 décembre 2006, le débit de la Liane à Wirwignes atteint 46 m³/s à 9h, celui du Wimereux à Wimille 26 m³/s à 18h et celui de la Slack à Rincent 14 m³/s à 10h. Avec l'arrêt et l'absence de précipitations la fin de journée du 4 et le 5, les décrues sont marquées.

La figure ci-après représente le cumul des lames d'eau RADAR (données ANTILOPE recalées par Météo-France) durant l'épisode intense du 3 décembre 10h au 4 décembre 12h, sur l'ensemble du Boulonnais. On remarque que :

- les cumuls les plus importants se situent en amont de la Liane (40 - 45 mm) ;
- une quasi-homogénéité des pluies sur les bassins versants de la Liane ;
- le bassin de la Slack (20 mm) a été moins arrosé que les autres.

NB : Les lames d'eau RADAR ont été recalées sur les postes pluviométriques par Météo-France. Nous avons vérifié que l'écart sur les cumuls varie entre +10 et -20% pour cet événement entre les lames d'eau RADAR et les lames d'eau mesurées sur les pluviomètres au sol.

B. Les précipitations se succèdent le 6, 7 et 8 décembre 2006 et font réagir rapidement les cours d'eau. Les intensités sont modérées à fortes : 10 mm/h à Henneveux et Desvres le 6 et le 8. Le débit de la Liane se remet à augmenter fortement le 8 à partir de 6h et atteint son pic vers 18h. Le débit passe alors de 10 m³/s à 45 m³/s, avec un gradient de montée important et maximal de 3,5 m³/s/h. Le Wimereux atteint 28 m³/s et la Slack 6 m³/s, avec un gradient de montée un peu plus faible (2 -3 m³/s/h au maximum).

La figure qui suit celle page suivante présente le cumul des lames d'eau RADAR durant l'épisode intense du 8 décembre, de 6h à 19h, sur l'ensemble du Boulonnais. On remarque une homogénéité des cumuls (25-30 mm) sur les trois bassins et au sein même des bassins.

NB : Les lames d'eau RADAR ont été recalées sur les postes pluviométriques par Météo-France. L'écart sur les cumuls est de +/-10% pour cet événement.

5.3.4.3 Bilan de l'événement de décembre 2006

Les données pluviométriques montrent que l'on se situe dans un contexte normal jusqu'à fin novembre 2006. Les événements de début décembre ont contribué à la saturation des sols. Les épisodes suivants, du 4 au 8 décembre, ont ensuite fait réagir rapidement les cours d'eau. L'évolution des précipitations et l'évolution des débits suivent alors les mêmes allures, avec un décalage temporel de 2 à 3 heures : ceci montre une prédominance du ruissellement.

Si l'on regarde les périodes intense du 3-4 et du 8 décembre 2006, on peut comparer les volumes de la pluie brute (tombée du ciel) aux volumes écoulés aux différentes stations hydrométriques, de façon à estimer un coefficient global d'apport.

Les volumes de pluie brute sont calculés à partir des images RADAR en appliquant un cumul de pluie à chaque sous-bassin de la station hydrométrique. Les coefficients calculés sont de l'ordre de 55 à 60% pour la Liane, 55 à 70% pour le Wimereux et 55 à 85 % pour la Slack, ce qui met en évidence toujours un ruissellement important, une forte contribution aux crues au sein des cours d'eau, mais de moindre ampleur par rapport à novembre 2012.

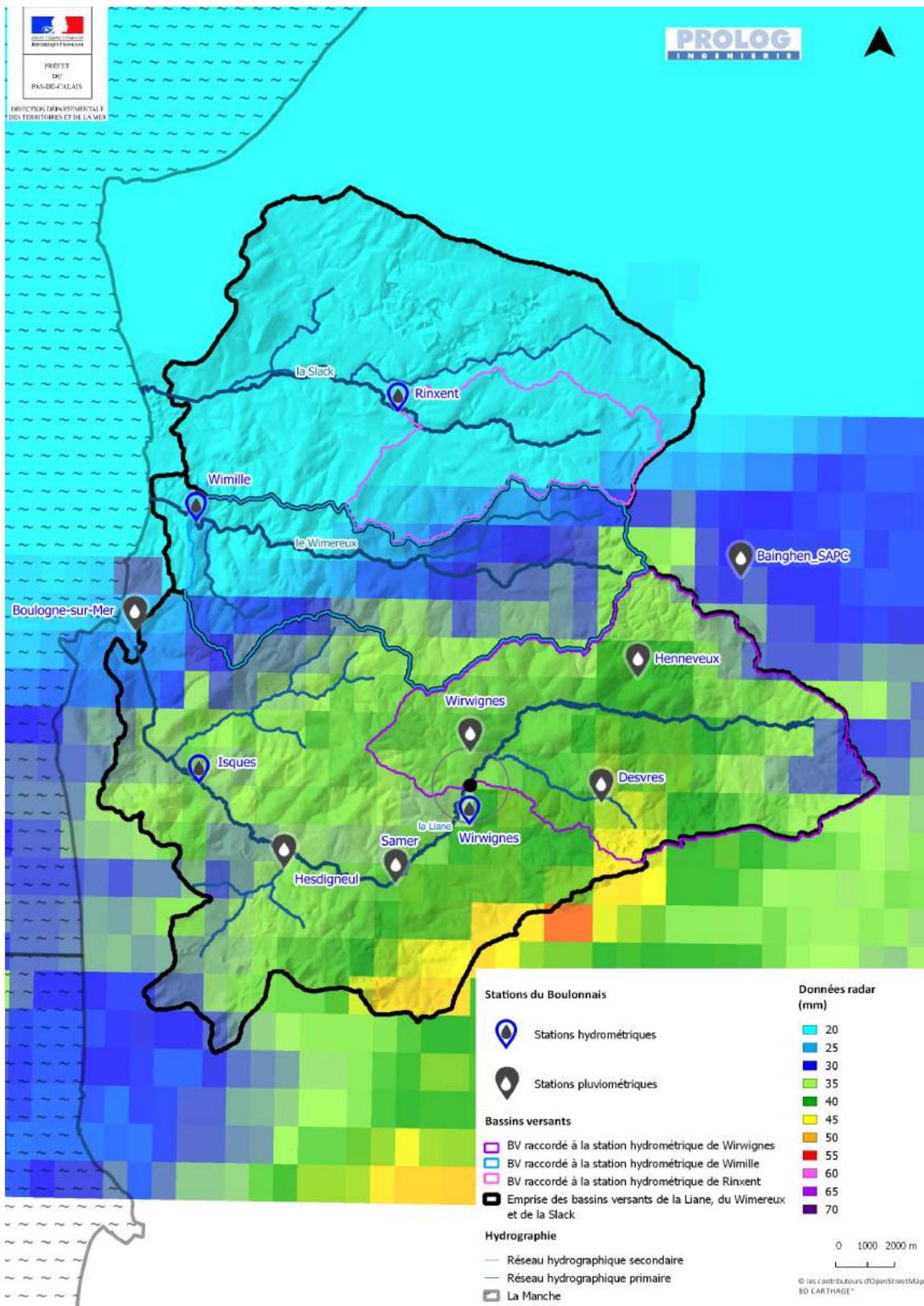


Figure 24 - Cumuls des lames d'eau RADAR du 3 décembre 2006 10h au 4 décembre 2006 12h

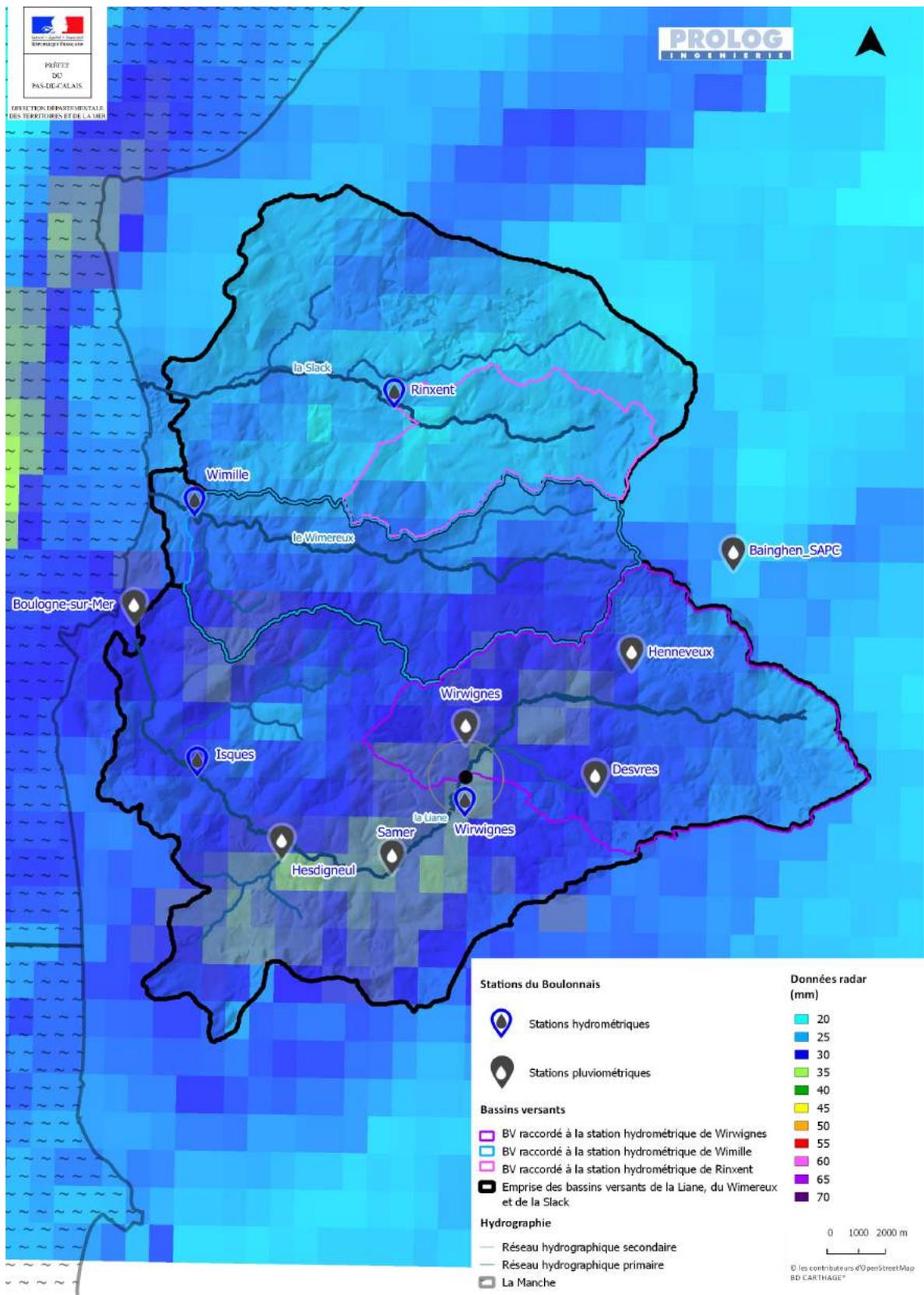


Figure 25 - Cumuls des lames d'eau RADAR du 8 décembre 2006 de 6h à 19h

5.3.5 Analyse de la crue de novembre 2000

5.3.5.1 Le contexte pluviométrique de l'événement

Les figures ci-dessous rendent compte des cumuls mensuels de précipitations mesurés sur les postes de Desvres, Henneveux, Wirwignes et Boulogne-sur-Mer d'août à novembre 2000. Ils sont comparés aux normales mensuelles. Il existe des lacunes en novembre à la station d'Henneveux. Les cumuls mensuels sont donc sous-estimés pour ce poste et ne sont donc pas représentés.

On remarque qu'après un mois de septembre normal, les mois d'octobre et de novembre 2000 sont 2 à 3 fois au-dessus de la normale. La période de retour des précipitations de novembre 2000 est d'environ 25 ans pour Wirwignes et 10 ans pour Desvres.

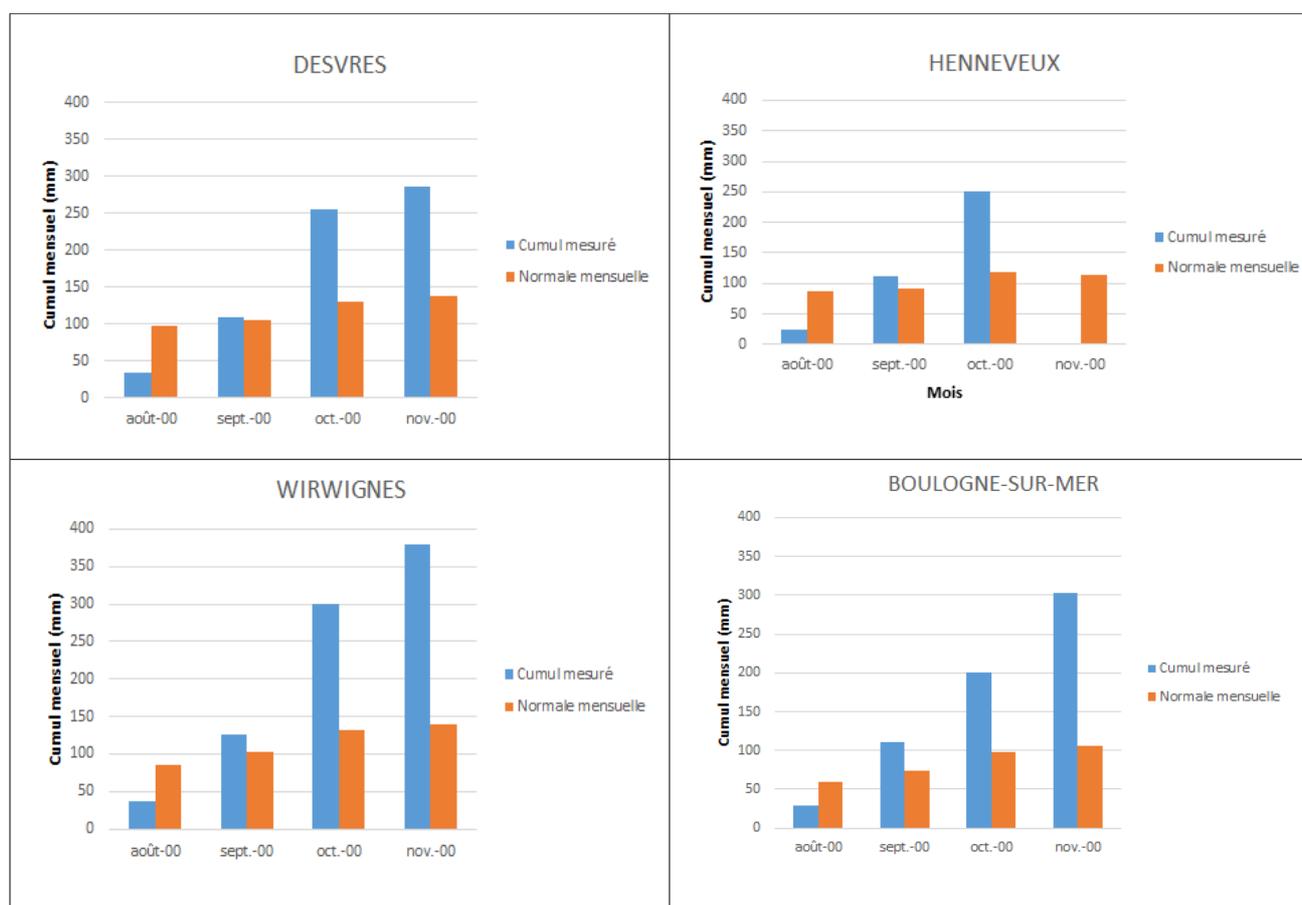


Tableau 30 - Cumuls mensuels sur les bassins versants du Boulonnais d'août à novembre 2000 (Sources : DREAL et Météo-France)

Les figures ci-dessous rendent compte des précipitations journalières sur les postes de Desvres, Henneveux, Wirwignes, Boulogne-sur-Mer, Samer et Bainghen du 22 octobre au 28 novembre 2000.

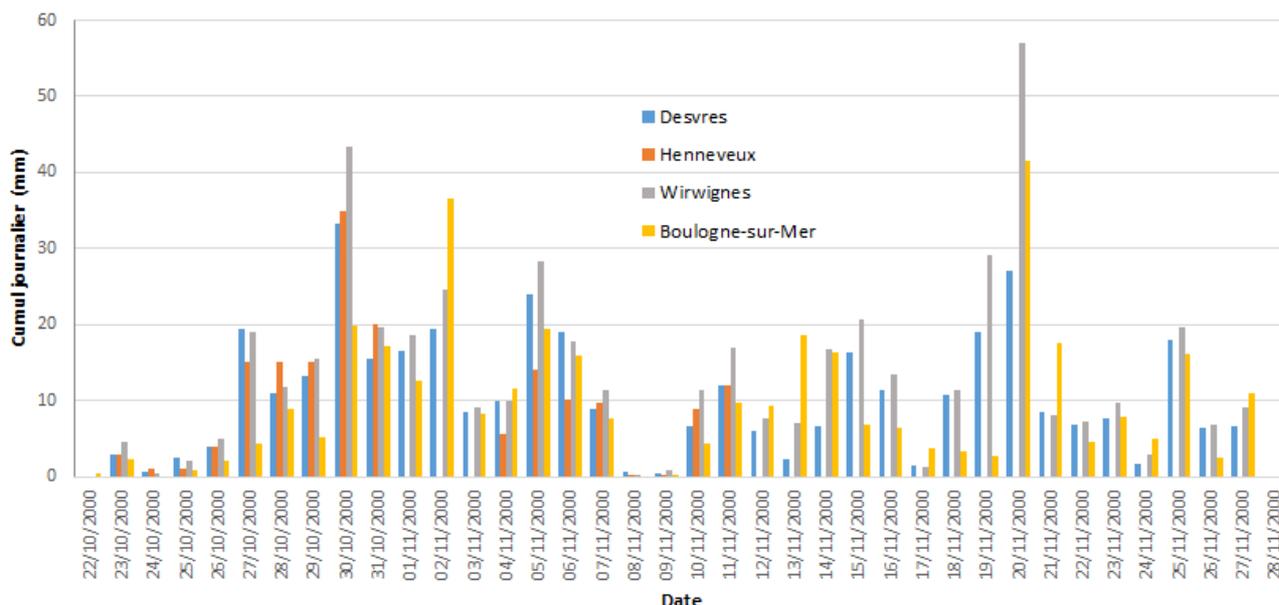


Figure 26 - Précipitations journalières sur les bassins versants du Boulonnais du 22 octobre au 28 novembre 2000 (Sources : DREAL et Météo-France)

On remarque que les précipitations sont conséquentes et quasi-continues du 23 octobre au 27 novembre 2000, avec deux cumuls journaliers importants le 30 octobre et le 20 novembre. Ces deux événements pluvieux donnent naissance à deux crues. Les plus forts cumuls sont mesurés à Wirwignes.

Les pluies du 30 octobre 2000 ont une période de retour de l'ordre de 2 ans pour Wirwignes, Desvres et Henneveux. Celles du 20 novembre ont une période de retour de l'ordre de 5 ans pour Wirwignes et de l'ordre de 2 ans pour Desvres.

	Desvres	Henneveux	Wirwignes	Boulogne
22/10/2000	0	0	0	0.4
23/10/2000	2.8	3	4.5	2.2
24/10/2000	0.7	1	0.4	0
25/10/2000	2.5	1	2	0.8
26/10/2000	4	4	5	2
27/10/2000	19.5	15	19.1	4.4
28/10/2000	11	15	11.7	8.8
29/10/2000	13.2	15	15.6	5.2
30/10/2000	33.3	35	43.3	19.8
31/10/2000	15.4	20	19.7	17.2
01/11/2000	16.6		18.5	12.6
02/11/2000	19.4		24.5	36.6
03/11/2000	8.4		9.1	8.2
04/11/2000	10	5.5	9.9	11.6
05/11/2000	24	14.1	28.4	19.4
06/11/2000	19	10.2	17.7	16
07/11/2000	8.9	9.8	11.3	7.6
08/11/2000	0.7	0.1	0.1	0
09/11/2000	0.5	0.1	0.9	0.2
10/11/2000	6.7	8.8	11.4	4.4
11/11/2000	12	12	16.9	9.8
12/11/2000	5.9		7.6	9.4
13/11/2000	2.3		7	18.6
14/11/2000	6.7		16.8	16.4
15/11/2000	16.4		20.7	6.8
16/11/2000	11.4		13.5	6.4
17/11/2000	1.5		1.3	3.8
18/11/2000	10.7		11.3	3.4
19/11/2000	19		29.2	2.6
20/11/2000	27		57	41.6
21/11/2000	8.4		8	17.6
22/11/2000	6.9		7.3	4.6
23/11/2000	7.7		9.7	7.8
24/11/2000	1.6		3	5
25/11/2000	18		19.6	16.2
26/11/2000	6.5		6.9	2.4
27/11/2000	6.7		9.1	11
28/11/2000	0		0	0

Tableau 31 - Précipitations journalières sur les bassins versants du Boulonnais du 22 octobre au 28 novembre 2000

5.3.5.2 Les précipitations du 18 au 23 novembre 2000 et la genèse des crues

La figure ci-dessous met en perspective les précipitations sur les postes de Desvres et Wirwignes au pas de temps journalier, et les débits instantanés de la Liane à Wirwignes, du Wimereux à Wimille et de la Slack à Rinxent, entre le 18 et le 23 novembre 2000.

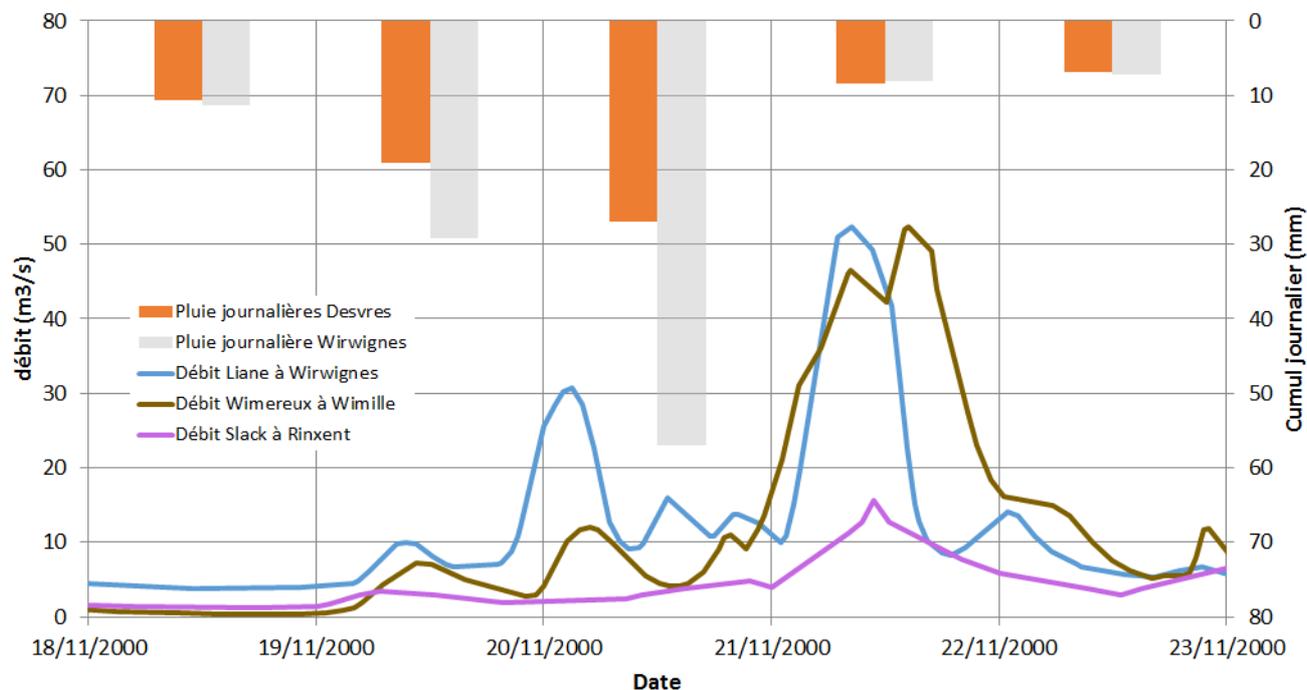


Figure 27 - Précipitations horaires à Desvres et Henneveux et débits de la Liane, du Wimereux et de la Slack du 18 au 23 novembre 2000 (Sources : Banque HYDRO et Météo-France)

On note un épisode pluvieux le 19 novembre 2000 avec des cumuls journaliers de 20 à 30 mm. Les pluies plus fortes du 20, avec des cumuls de 25 à 55 mm, font réagir les trois cours d'eau. Le débit de la Liane se remet à augmenter fortement le 21 à partir de 1h et atteint son pic vers 8h30. Le débit passe alors de 10 m³/s à 52 m³/s, avec un gradient de montée important et maximal de 5 m³/s/h. Le Wimereux atteint 52 m³/s avec un gradient de montée un peu plus faible (3.5 m³/s/h au maximum). La Slack réagit plus faiblement, avec un débit maximal de 14 m³/s et un gradient de 1 m³/s/h. Avec l'arrêt des précipitations le 21, les décrues sont marquées.

NB : En ce qui concerne les lames d'eau RADAR, seul le produit COMEPHORE existe à cette époque. Les données COMEPHORE n'étaient pas recalées par les services de Météo-France par rapport aux pluviomètres terrestres. Cela se traduit par des écarts importants de -45% avec les données du poste pluviométrique de Wirwignes. A Boulogne-sur-Mer et Desvres, l'écart est de +/-5%. Toutefois, vu les écarts à Wirwignes et l'absence de point de comparaison pour Henneveux, les lames d'eau RADAR ne peuvent être utilisées à l'échelle des bassins versants.

5.3.5.3 Bilan de l'événement de novembre 2000

Les données pluviométriques montrent que l'on se situe dans un contexte normal jusqu'à la mi-octobre 2000 puis humide en octobre et novembre. Les pluies continues d'octobre ont saturé les sols. L'épisode du 20 novembre 2000, plus important que les précédents, fait réagir rapidement les cours d'eau.

On peut comparer les volumes de la pluie brute aux volumes écoulés à la station de Wirwignes sur la Liane de façon à estimer un coefficient global d'apport. Les volumes de pluie brute sont calculés à partir des cumuls journaliers car nous ne disposons de données au pas de temps horaire qu'à Boulogne-sur-Mer. Le coefficient varie entre 45% (avec le poste de Desvres) et 80% (avec le poste de Wirwignes). Pour les deux autres bassins, les coefficients n'ont pas pu être calculés car ils ne sont pas équipés de postes pluviométriques.

5.3.6 Analyse de la crue d'octobre-novembre 1998

5.3.6.1 Le contexte pluviométrique de l'événement

Les figures ci-dessous rendent compte des cumuls mensuels de précipitations mesurés sur les postes de Desvres, Henneveux, Wirwignes et Boulogne-sur-Mer de juillet à novembre 1998. Ils sont comparés aux normales mensuelles.

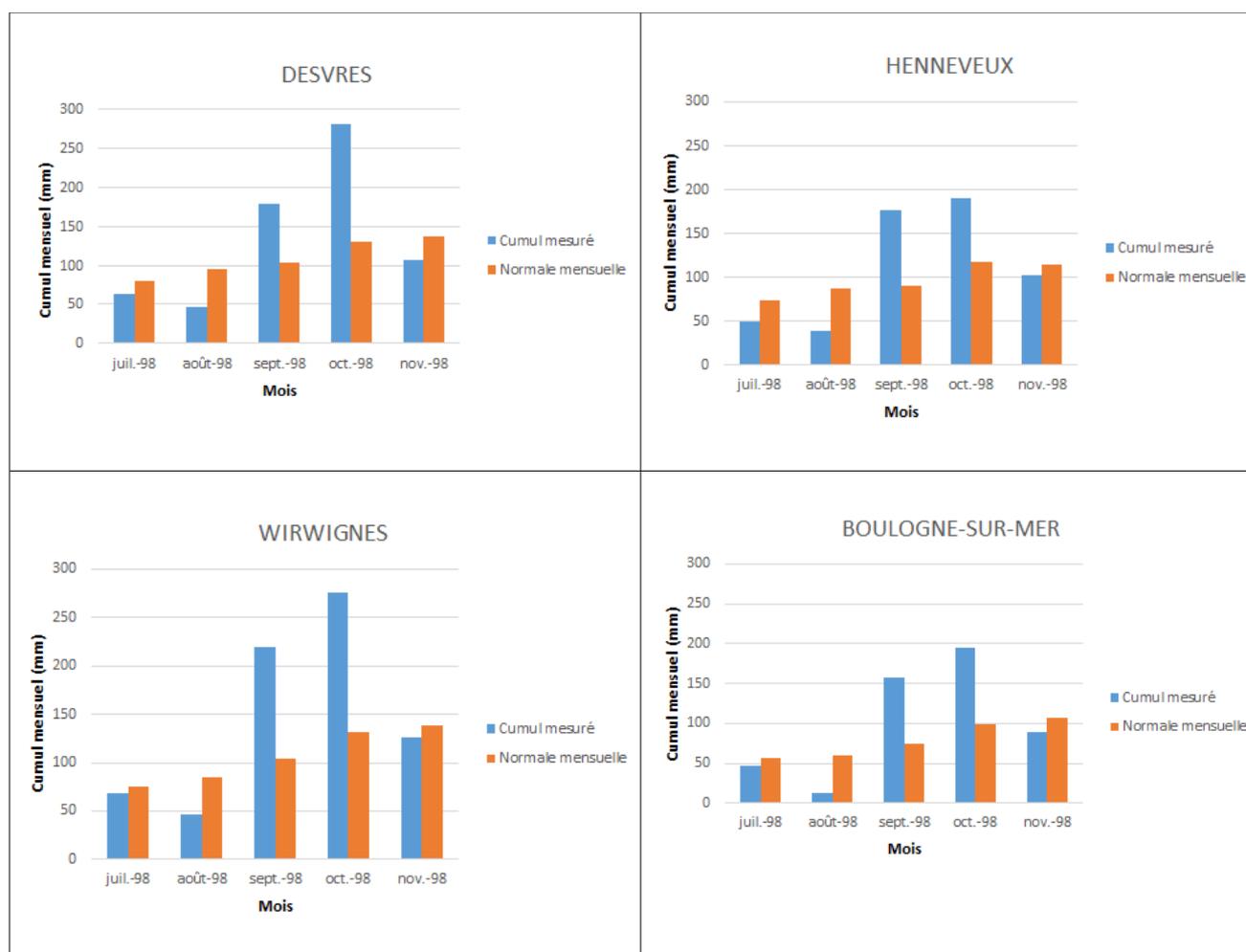


Tableau 32 - Cumuls mensuels sur les bassins versants du Boulonnais de juillet à novembre 1998 (Sources : DREAL et Météo-France)

On remarque qu'après un mois d'août sec, les mois de septembre et d'octobre 1998 sont 2 fois au-dessus de la normale. La période de retour des précipitations d'octobre est d'environ 10 ans pour Desvres et Wirwignes et 5 ans pour Henneveux.

Les précipitations sont importantes la première décade de septembre, avec des cumuls proches le 2 septembre de ceux du 31 octobre (60-70 mm sur la Liane amont). Mais les sols sont secs donc la réponse hydrologique est modérée (30 m³/s à Wirwignes). Les précipitations reprennent fin septembre et sont quasi-continues tout le mois d'octobre 2000. Les sols sont alors saturés à la mi-octobre et chaque cumul journalier plus important que les autres donne alors naissance à une crue.

Les figures ci-dessous rendent compte des précipitations journalières sur les postes de Desvres, Henneveux, Wirwignes, Boulogne-sur-Mer, Samer et Bainghen du 20 octobre au 6 novembre 1998.

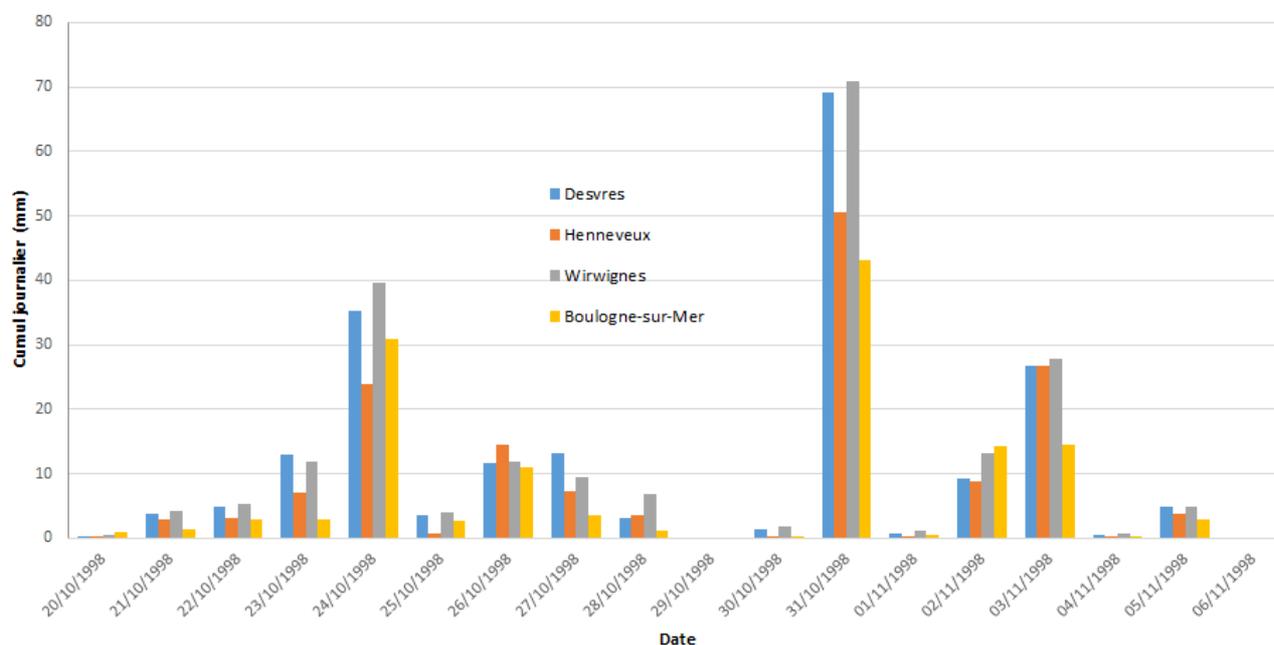


Figure 28 - Précipitations journalières sur les bassins versants du Boulonnais du 20 octobre au 6 novembre 1998 (Sources : DREAL et Météo-France)

On remarque que les précipitations sont conséquentes le 24 et surtout le 31 octobre. Ces deux événements pluvieux donnent naissance à deux crues. Les plus forts cumuls sont mesurés à Desvres et Wirwignes. Les pluies du 31 octobre ont une période de retour de l'ordre de 25 ans pour Desvres, 15 ans pour Wirwignes et 5 ans pour Henneveux.

	Desvres	Henneveux	Wirwignes	Boulogne
20/10/1998	0.3	0.2	0.5	1
21/10/1998	3.8	2.8	4.3	1.4
22/10/1998	4.9	3.2	5.3	3
23/10/1998	13	7	11.9	3
24/10/1998	35.2	23.8	39.7	31
25/10/1998	3.5	0.8	4.1	2.6
26/10/1998	11.7	14.5	11.9	11
27/10/1998	13.2	7.2	9.4	3.6
28/10/1998	3.2	3.5	6.9	1.2
29/10/1998	0	0	0	0
30/10/1998	1.4	0.1	1.7	0.2
31/10/1998	69.2	50.6	70.9	43.2
01/11/1998	0.7	0.1	1.2	0.6
02/11/1998	9.3	8.8	13.2	14.2
03/11/1998	26.8	26.7	27.9	14.6
04/11/1998	0.6	0.3	0.8	0.2
05/11/1998	4.9	3.7	4.9	2.8
06/11/1998	0	0	0	0

Tableau 33 - Précipitations journalières sur les bassins versants du Boulonnais du 20 octobre au 6 novembre 1998

5.3.6.2 Les précipitations du 23 octobre au 3 novembre et la genèse des crues

La figure ci-dessous met en perspective les précipitations mesurées sur les postes de Desvres et Henneveux au pas de temps journalier, et les débits instantanés de la Liane à Wirwignes, du Wimereux à Wimille, entre le 23 octobre et le 3 novembre 1998. Nous ne disposons pas de données à la station de Rinxent sur la Slack.

On note un épisode pluvieux le 24 novembre 1998 avec des cumuls journaliers de 25 à 35 mm. Les pluies plus fortes du 31, avec des cumuls journaliers de 50 à 70 mm, font réagir les cours d'eau. Le débit de la Liane se remet à augmenter fortement le 31 à partir de 12h et atteint son pic vers 2h le 1^{er} novembre. Le débit passe alors de 3 m³/s à 55 m³/s, avec un gradient de montée important et maximal de 4 m³/s/h. Le Wimereux atteint 25 m³/s avec un gradient de montée plus faible (1.5 m³/s/h au maximum). Avec l'arrêt des précipitations le 2, les décrues sont marquées.

NB : Pour les lames d'eau RADAR, les écarts avec les postes pluviométriques sont importants à Desvres et Wirwignes, de -35% à -40%. A Henneveux et Boulogne-sur-Mer, l'écart est bon et n'est que de +/-10%. Vu les écarts, les lames d'eau RADAR ne peuvent être utilisées à l'échelle des trois bassins versants.

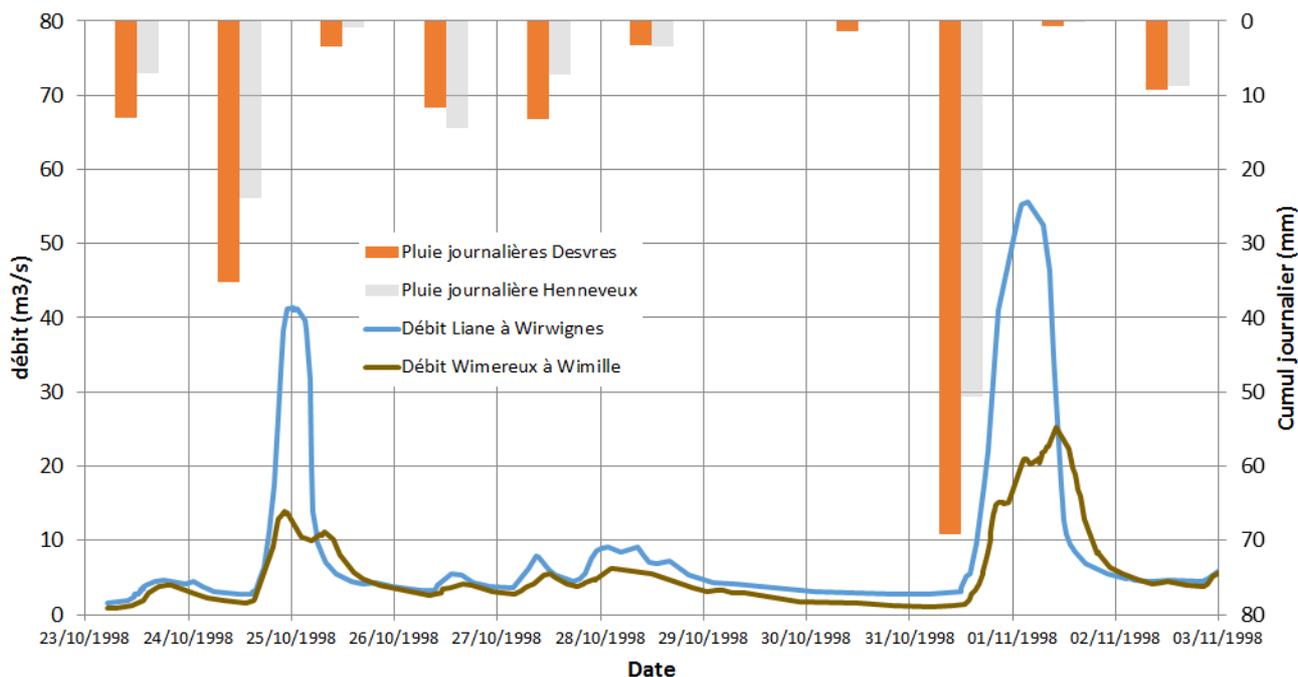


Figure 29 - Précipitations horaires à Desvres et Henneveux et débits de la Liane et du Wimereux du 23 octobre au 3 novembre 1998 (Sources : Banque HYDRO et Météo-France)

5.3.6.3 Bilan de l'événement de novembre 1998

On voit donc que l'on se situe dans un contexte sec jusqu'à fin août puis humide voire très humide en septembre et octobre 1998. L'événement de début septembre et les pluies continues d'octobre ont saturé les sols. Les épisodes du 24 et du 31 octobre, plus importants que les précédents, font réagir rapidement les cours d'eau.

On peut comparer les volumes de la pluie brute aux volumes écoulés à la station de Wirwignes de façon à estimer un coefficient global d'apport. Les volumes de pluie brute sont calculés à partir des cumuls journaliers car nous ne disposons de données au pas de temps horaire qu'à Boulogne-sur-Mer. Le coefficient varie entre 45% (avec les postes d'Henneveux) et 65% (avec les postes de Desvres et Wirwignes). Pour les deux autres bassins, les coefficients n'ont pas pu être calculés car ils ne sont pas équipés de postes pluviométriques.

5.3.7 Bilan des principaux événements

Le contexte à l'origine des crues du Boulonnais est sensiblement toujours le même. En effet, avant l'arrivée d'une crue forte, on observe toujours une succession d'événements pluvieux conduisant à la saturation des bassins versants. A partir de ce moment-là, les cours d'eau réagissent rapidement et chaque épisode de pluie important donne naissance à une crue importante.

Nous nous sommes ainsi intéressés aux événements récents de novembre 2012, novembre 2009, décembre 2006, novembre 2000 et octobre-novembre 1998. Le tableau suivant synthétise les conditions pluviométriques antécédentes (sur les bases des postes pluviométriques du bassin de la Liane) et les caractéristiques de l'événement (pluviométrie et hydrométrie).

B : Boulogne-sur-Mer D : Desvres		H : Henneveux W : Wirwignes		Evènement	Novembre 2012	Novembre 2009	Décembre 2006	Novembre 2000	Octobre- Novembre 1998
Conditions antécédentes	Pluviométrie 3 mois BV Liane			Excédent global de +40% (octobre seulement)	Conditions normales	Déficit global de -25% (septembre seulement)	Excédent global de +60% (octobre seulement)	Excédent global de +35%	
	Pluviométrie 15 jours BV Liane			114 - 138 mm (~1mois)	80 - 160 mm (~1mois)	95 - 110 mm	135 - 205 mm (>1mois)	65 - 95 mm (~1mois)	
	Pluviométrie 5 jours BV Liane			55-75 mm (humide)	35-100 mm (humide)	30-35 mm (normal)	25-75 mm (humide)	15-30 mm (normal)	
Caractéristiques de l'évènement	Pluviométrie BV Liane	Cumul	B : 25 mm D H W : 45-60 mm (5-10 ans)	B : 20 mm D H W : 45-60 mm (2-10 ans)	B : 40 mm H W : 40-50 mm (2-5 ans)	B : 40 mm D W : 25 - 55 mm (2-10 ans)	B : 45 mm D H W : 50-70 mm (5-25 ans)		
		Durée totale	22h	27h - 24h	26h - 13h	17h	23h		
		Durée intense	8h	9h - 8h	8h - 6h	7h	7h		
	Débit maximum Liane Wirwignes			56 m ³ /s (10 ans)	43 - 46 m ³ /s (4 ans)	45 - 46 m ³ /s (4 ans)	52 m ³ /s (8 ans)	56 m ³ /s (10 ans)	
	Débit spécifique Liane Wirwignes			0.57 m ³ /s/km ²	0.43 m ³ /s/km ²	0.46 m ³ /s/km ²	0.52 m ³ /s/km ²	0.56 m ³ /s/km ²	
	Pluviométrie Wimereux jour J	Cumul		30-40 mm	20-65 mm	20-35 mm	-	-	
		Débit maximum Wimereux Wimille		33 m ³ /s (10 ans)	30 m ³ /s (9 ans)	26 - 28 m ³ /s (8 ans)	52 m ³ /s (40 ans)	25 m ³ /s (5 ans)	
	Débit spécifique Wimereux Wimille			0.43 m ³ /s/km ²	0.38 m ³ /s/km ²	0.33 m ³ /s/km ²	0.67 m ³ /s/km ²	0.32 m ³ /s/km ²	
	Pluviométrie Slack jour J	Cumul		35-40 mm	20-40 mm	20-25 mm	-	-	
		Débit maximum Slack Rinxent		33 m ³ /s (50 ans)	12 - 16.7 m ³ /s (2 - 4 ans)	14 -16 m ³ /s (3 ans)	16 m ³ /s (3 ans)	-	
	Débit spécifique Slack Rinxent			0.86 m ³ /s/km ²	0.44 m ³ /s/km ²	0.37 m ³ /s/km ²	0.41 m ³ /s/km ²	-	

Tableau 34 - Conditions antécédentes et caractéristiques des événements récents (1998-2012)

Il ressort de cette analyse que :

- les conditions antécédentes des événements de novembre 2012 et novembre 2000 sont très humides ;
- la période précédant les événements de novembre 2009 et d'octobre-novembre 1998 est humide ;
- pour l'évènement de décembre 2006, les précipitations antécédentes ont été plutôt conformes aux moyennes saisonnières ;
- les pluies ont une durée comprise entre 13h et 27h. La période de retour associée varie entre 2 et 25 ans, le plus souvent autour de 5-10 ans.

Les lames d'eau RADAR sont globalement représentatives de la dynamique réelle des trois événements récents de novembre 2012, novembre 2009 et décembre 2006. Celles-ci permettront de prendre en compte l'hétérogénéité spatiale des pluies sur les trois bassins pour les calculs hydrologiques à venir lors des prochaines étapes. Pour novembre 2000 et octobre-novembre 1998, les écarts avec les postes pluviométriques étant conséquents, les données RADAR ne peuvent être utilisées.

Ainsi, les événements retenus pour le calage sont ceux de novembre 2012, novembre 2009 et décembre 2006. Pour novembre 2009, nous ne disposons pas de données hydrométriques pour le Wimereux. Les deux autres événements serviront au calage. Les conditions antécédentes étant différentes, en particulier pour décembre 2006, il faudra alors sûrement adapter les coefficients de ruissellement des sous-bassins suivant les événements.

5.4 Analyse statistique des débits

L'objectif de l'analyse hydrologique est de fournir les débits caractéristiques de crues de différentes ampleurs, typiquement pour des scénarios hydrologiques dits « fréquent » (période de retour 10-30 ans), « moyen » (période de retour 100-300 ans), et « extrême » (période de retour > 500-1000 ans), pour la Liane, le Wimereux et la Slack.

Les données des stations de Wirwignes sur la Liane, Wimille sur le Wimereux et Rinxent sur la Slack ont fait l'objet d'une analyse fréquentielle consistant à ajuster une loi de probabilité à la chronique de débit disponible et d'extrapoler cette dernière en utilisant la méthode du Gradex progressif.

La station d'Isques sur la Liane dispose d'une chronique de mesure bien trop courte (en service depuis fin 2012) pour fournir des estimations un tant soit peu fiables des débits de crues moyennes à rares (au-delà de la période de retour 10-30 ans). Elle n'a donc pas été retenue pour cette analyse.

5.4.1 Analyse ponctuelle de la Liane à Wirwignes

5.4.1.1 Présentation de la chronique disponible

La station hydrométrique de Wirwignes (E5300210), en service depuis 1973, présente aujourd'hui 41 années de données réputées fiables par la DREAL Nord-Pas-de-Calais. De type à échelle, elle mesure les hauteurs d'eau en continu. Les débits correspondants sont alors estimés par le biais de la courbe de tarage propre à la station qui a été déterminée à l'aide de campagnes de jaugeages.

La figure suivante présente la chronique de débit récupéré, c'est-à-dire de 1982 à 2014, et permet de distinguer les principales crues recensées.

Au premier abord, aucune dérivation particulière de la station de mesure n'est constatée.

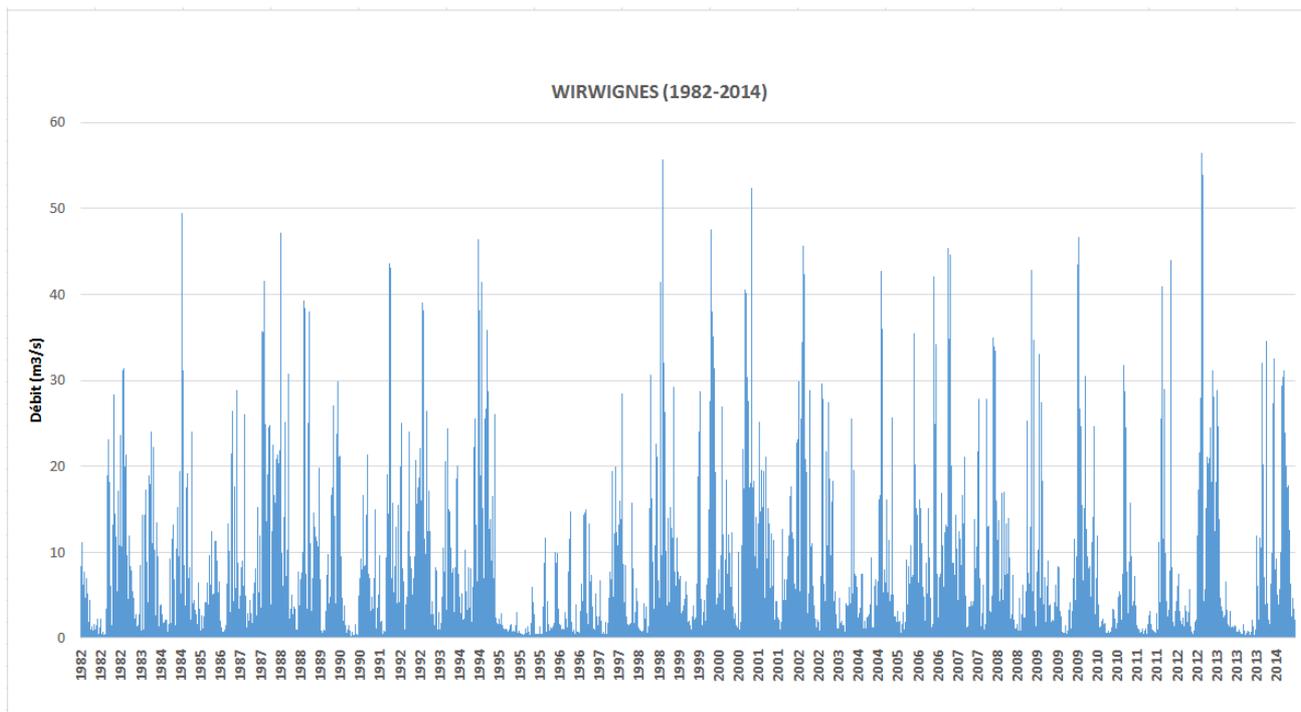


Figure 30: Chronique des débits sur la station de Wirwignes sur la Liane (Source : données banque HYDRO, procédure QTVAR)

La figure ci-après répartit sur les douze mois de l'année les débits maximaux de crues mesurés chaque année depuis 1973 sur la Liane à Wirwignes. On constate que la plupart des épisodes se produisent de novembre à janvier et sont donc caractéristiques de crues automnales et hivernales.

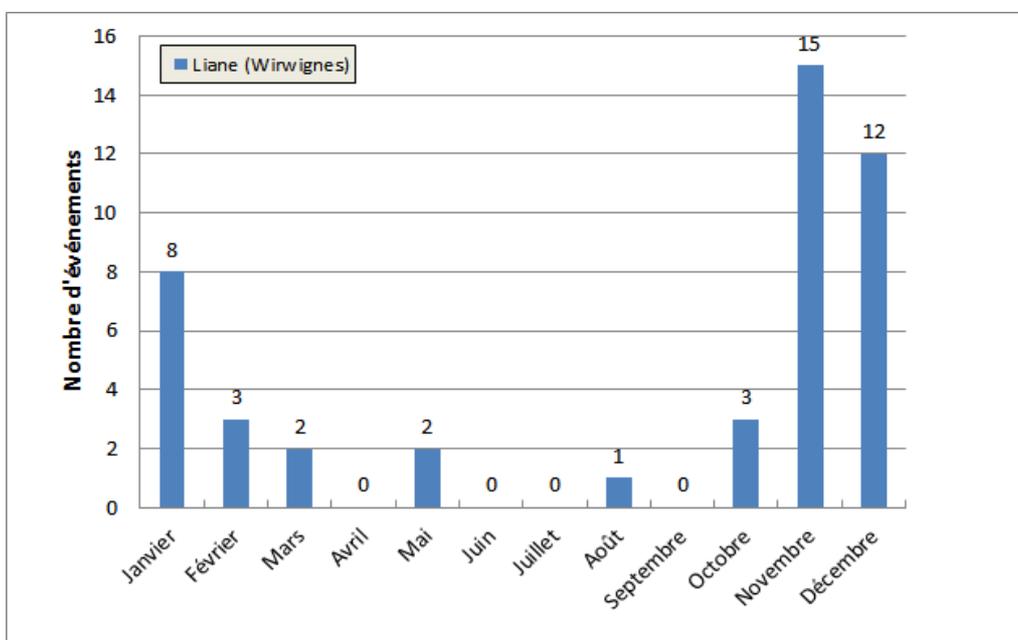


Figure 31 Répartition des crues maximales annuelles (n=46) au cours de l'année à la station de Wirwignes sur la Liane (Source : données banque HYDRO)

5.4.1.2 Qualité des données

Il convient maintenant d'aller un peu plus loin dans l'analyse de fiabilité des données disponibles au sein de la banque HYDRO.

Les informations communiquées par les services de la DREAL sur la banque HYDRO valident les débits comme bons sur l'ensemble de la chronique. Il est cependant nécessaire de souligner que les années 1985, 1986, 1991, 1994 ainsi que 1998 sont incomplètes.

La qualité globale des mesures de hauteurs d'eau est quant à elle réputée bonne aussi bien en situation de basses que de hautes eaux.

L'unité hydrologique et réseaux de mesures de la DREAL a également mis à notre disposition les données relatives aux jaugeages ainsi que la courbe de tarage déterminée pour convertir les mesures de hauteur en estimation de débit, actuellement en vigueur. Une remarque issue de la fiche « Caractéristiques générales » de la station de Wirwignes met l'accent sur la qualité de la courbe de tarage actuellement en vigueur.

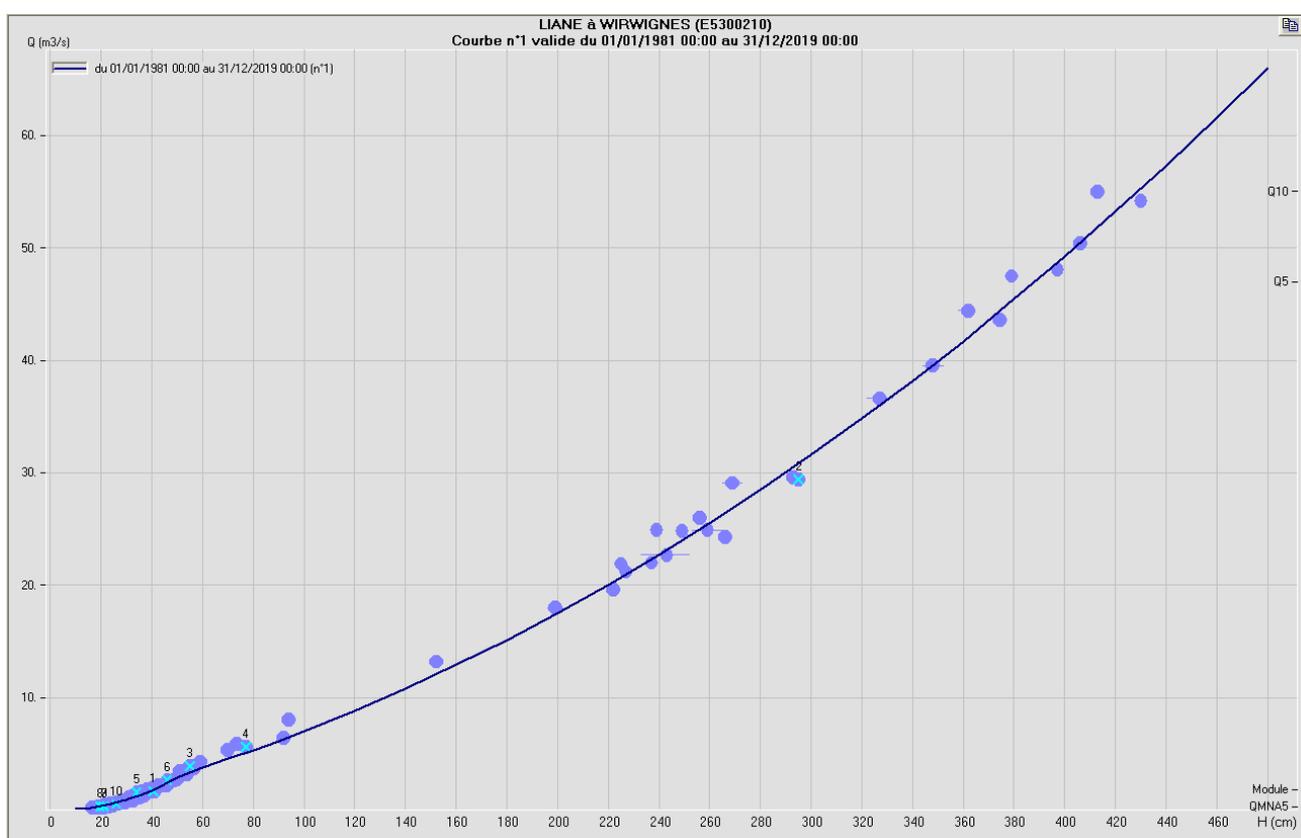


Figure 32: Jaugeages et courbe de tarage sur la station de Wirwignes depuis 1981 (Source : DREAL Nord-Pas-de-Calais)

Pour l'ensemble des couples hauteur d'eau-débit, la courbe de tarage est fortement corrélée aux jaugeages effectués au niveau de la station et ce, jusqu'à des hauteurs de hautes eaux correspond à un événement d'occurrence décennale ($h = 460$ mm, $Q = 55$ m³/s). Ce constat rejoint la remarque effectuée par la DREAL quant à la bonne qualité de l'estimation des débits via la courbe de tarage sur la station.

L'analyse quant à la qualité des mesures de hauteurs d'eau ainsi que des jaugeages n'a pas été abordée au sein de ce paragraphe. Il a été supposé que les différents appareils de mesures utilisés ont été correctement étalonnés et que leur précision est bonne.

5.4.1.3 Échantillonnage des débits

L'objectif de cette analyse ne portant que sur les événements de crues auxquels à été soumise la Liane, il est nécessaire d'extraire et donc d'échantillonner au sein de la chronique de débits les événements représentatifs des situations de hautes eaux.

Une seule méthode d'échantillonnage est ici présentée, et consiste en un échantillonnage par maximum annuel (noté MAXAN). Aussi, seul le maximum annuel de chaque année est pris en considération. Cette méthode est relativement simple à mettre en œuvre, elle comporte néanmoins l'inconvénient d'ignorer un certain nombre d'événements lors des années où beaucoup de crues se sont produites et inversement de prendre en compte des événements peu importants lors des années peu actives. L'homogénéité de l'échantillon n'est dès lors pas optimale.

Un événement de crue correspond à une élévation temporaire du débit pendant un certain laps de temps et se traduit sous la forme d'un hydrogramme, qui donne l'évolution de ce débit au cours du temps. Cependant bien que l'ampleur et la gravité d'un épisode de crue dépende à la fois de son débit maximal, de sa durée, et pour être plus précis du temps pendant lequel le débit est supérieur à un seuil jugé critique, seul un échantillonnage de la dite chronique a été effectué sur les débits instantanés maximaux QIX.

L'échantillon ainsi défini est alors classé de la plus grande à la plus petite valeur. La probabilité de non dépassement pour chacune de ces valeurs est alors calculée à l'aide de la formule suivante :

$$F(i) = (i-a) / (n+1-2a) \text{ avec :}$$

- $a = 0,44$;
- n , le nombre de valeur composant l'échantillon ($n=41$ dans le cas présent) ;
- i , la valeur considérée.

L'échantillonnage des valeurs représentant le débit de pointe conduit à la figure suivante.

Au regard de cette figure, il apparaît que pour des épisodes d'occurrence moyenne (de période de retour supérieure à 10 ans), les valeurs constituant l'échantillon QIX montrent un comportement particulier en tendant asymptotiquement vers un débit de $60 \text{ m}^3/\text{s}$.

Une analyse des dernières crues recensées a dès lors été menée pour trouver une éventuelle raison à ce constat. La photographie suivante, prise lors de la crue de novembre 2012, met en évidence que la station de mesure se situe au niveau d'un pont qui entre en charge pour un événement dont la période de retour est supérieure ou égale à 10 ans, conduisant apparemment dès lors à un écrêtement des débits de pointe de la Liane.

Il apparaît donc réaliste de penser que les débits mesurés sur la station de Wirwignes sont sous-estimés pour les plus fortes crues (domaine des crues rares à exceptionnelles).

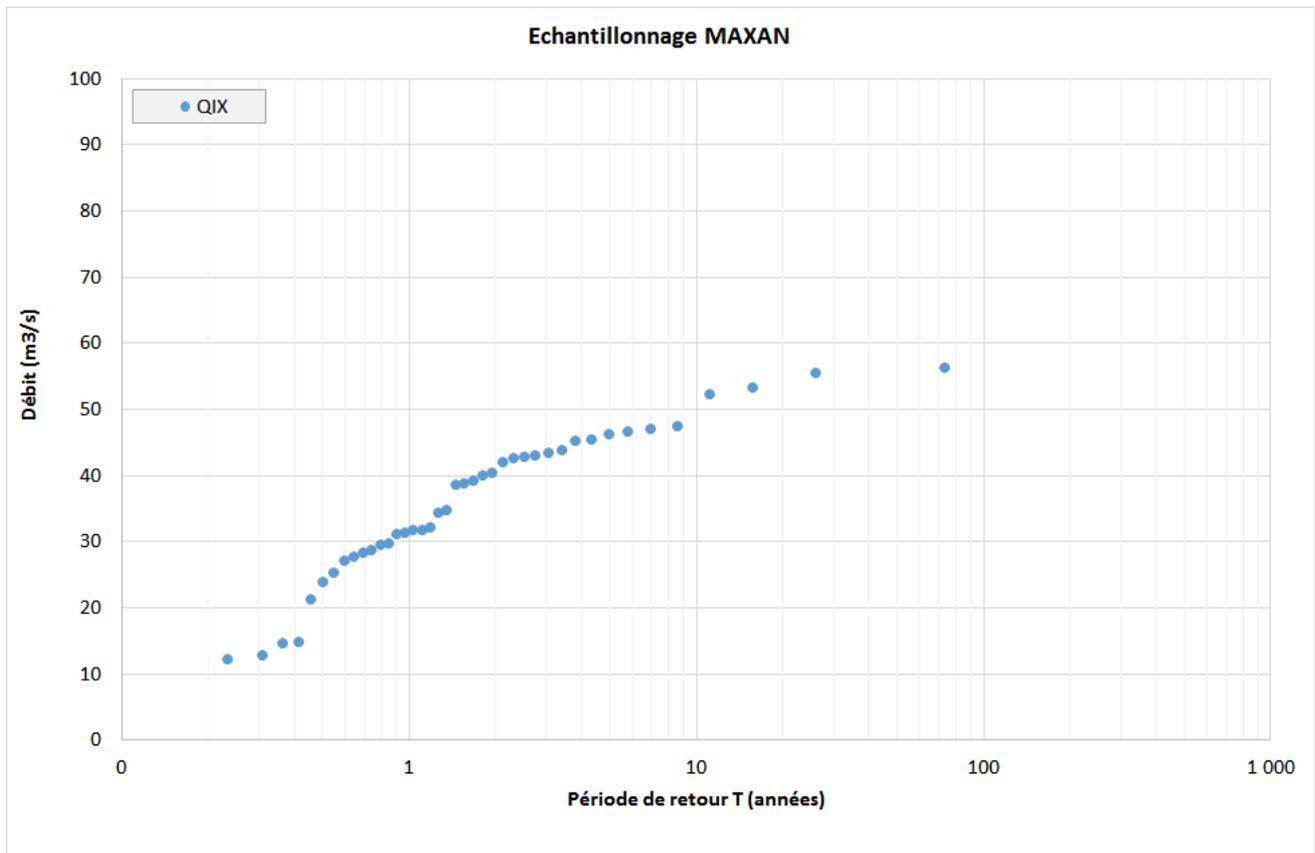


Figure 33: Échantillon du débit de pointe QIX sur la station de Wirwignes



Figure 34 Prise de vue de la zone d'expansion en amont de la station de Wirwignes sur la liane (Source : DREAL Nord-Pas-de-Calais)

5.4.1.4 Ajustement d'une loi de probabilité

L'étape suivante consiste à ajuster une loi de probabilité représentative des valeurs extrêmes pour l'échantillon constitué des débits de pointe QIX. Généralement, la loi de probabilité retenue est la loi de Gumbel pour l'échantillonnage MAXAN.

Cet ajustement permet d'estimer pour le débit de pointe ce que l'on appelle les quantiles de crues, c'est à dire les valeurs des débits instantanés QIX pour les périodes de retour souhaitées.

La figure ci-dessous présente les quantiles de crue suite à l'application de la loi de Gumbel sur l'échantillon réalisé précédemment.

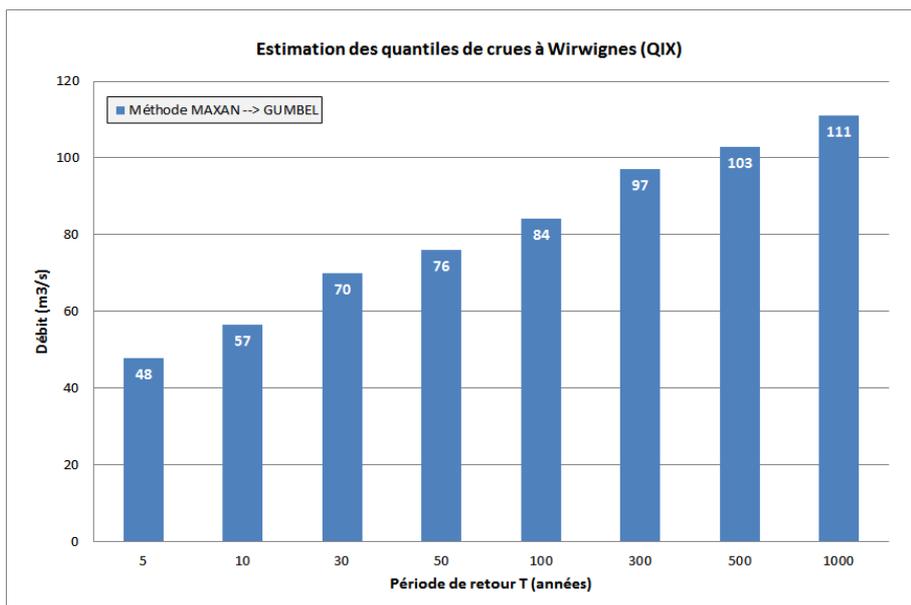


Figure 35: Estimation des quantiles de crues QIX à Wirwignes suite à la méthode d'ajustement de la loi de Gumbel

La figure ci-après présente quant à elle, l'ajustement ainsi obtenu pour le débit de pointe QIX.

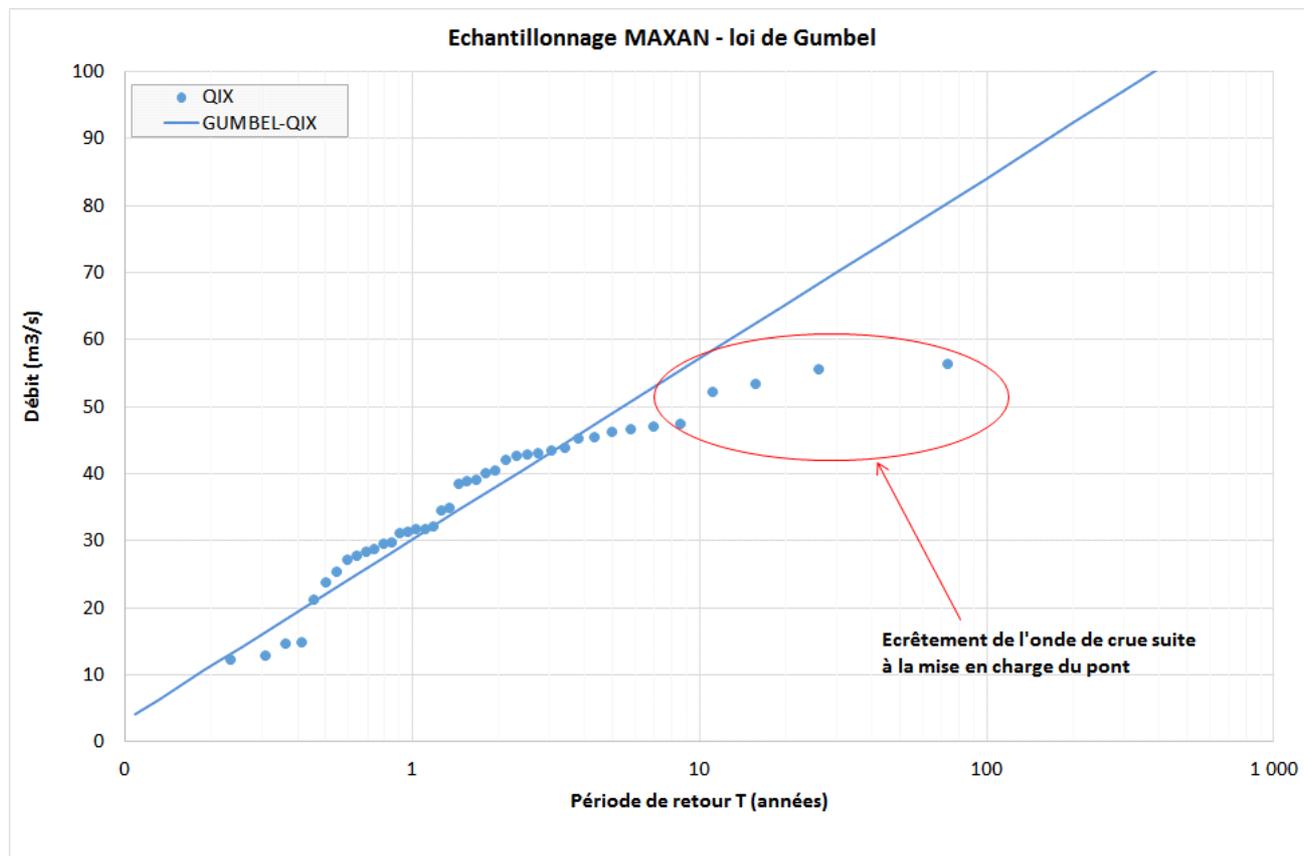


Figure 36: Ajustement de la loi de Gumbel sur l'échantillon QIX de la station de Wirwignes

La figure met en évidence les éléments remarquables suivants :

- pour des événements correspondants à de faibles périodes de retour (i.e. Inférieur à 10 ans), l'ajustement de Gumbel sur les valeurs maximales annuelles semble être satisfaisant ;
- pour des événements de plus faible occurrence en revanche, la loi de Gumbel surestime largement les débits au regard des valeurs constituant l'échantillon. Cette remarque ne permet cependant en aucun cas de juger de la pertinence de cet ajustement. En effet, au niveau de la station de mesure, l'onde de crue est écrêtée suite à la mise en charge du pont. Ce phénomène ayant une origine anthropique, il ne peut être pris en considération dans l'analyse statistique des crues.

5.4.1.5 Extrapolation des débits rares selon la méthode du Gradex esthétique

Présentation de la méthode

Du fait de la durée restreinte des chroniques de débit disponibles et des échantillons de crue constitués à partir de ces mesures (au mieux quelques dizaines d'années), de fortes incertitudes existent sur l'estimation des débits moyens rares, typiquement à partir des périodes de retour 50 ans.

Dès lors, il est usuel de comparer les valeurs calculées précédemment à partir de l'ajustement de lois classiques de probabilité, avec d'autres méthodes d'extrapolation des débits rares.

Une des méthodes usuellement utilisée en France est celle du Gradex. Développée par EDF dans les années 60. Elle permet de prendre en compte la saturation du bassin versant. Aussi, pour un contexte pluviométrique et hydrologique très humide (généralement pour des événements supérieurs à l'occurrence décennale ou vicennale), la dite saturation du bassin versant est telle qu'elle se traduit par le fait que tout accroissement de pluie produit le même accroissement de débit. Les débits rares ne s'ajustent alors plus selon la loi de Gumbel mais selon la pente (dite « gradex ») des pluies.

Cette méthode conduit par conséquent sur des fréquences rares à des débits supérieurs aux débits ajustés selon une loi de Gumbel.

Néanmoins, cette méthode conduit dans bien des cas à surestimer les débits de pointe. C'est la raison pour laquelle l'ex CEMAGREF (devenu IRSTEA) a développé dans les années 90 la méthode dite du Gradex « esthétique » ou « progressif ». Contrairement à la méthode initiale du Gradex, qui extrapole les débits selon la pente de la distribution des pluies à partir d'une certaine période de retour pivot (10, 20, ... ans), traduisant la saturation immédiate du bassin versant, la méthode du Gradex « esthétique » tient compte de la saturation progressive des sols. L'hypothèse fondamentale du Gradex « esthétique » repose donc sur un raccordement progressif du gradex des débits au gradex des pluies à partir de cette période de retour pivot.

Application de la méthode du Gradex « esthétique »

L'extrapolation des valeurs du débit de pointe QIX pour des fréquences de retour moyennes à rares a donc été réalisée suite à l'application de la méthode du Gradex « esthétique ».

Comme cela a été évoqué auparavant, la méthode fait appel à la distribution statistique des pluies représentatives à l'échelle du bassin versant sur différentes durées, dans le cas présent la durée d'intérêt est journalière.

Il a été décidé de retenir les données de la station de Desvres située à l'amont de Wirwignes, qui est représentative du comportement du bassin versant amont de la Liane. L'ajustement statistique sur les cumuls journaliers nous a été fourni par la DREAL, nous permettant alors d'en déduire le gradex des pluies correspondant.

Les quantiles du débit de pointe QIX sont calculés comme suit :

- choix de la période de retour pivot (T_g), à partir de laquelle on considère que l'on tend vers la saturation du bassin versant ;
- pour les périodes de retour inférieures à T_g , les quantiles de débits sont estimés à partir des ajustements de Gumbel sur les débits ;
- pour les périodes de retour supérieures à T_g (donc de plus faible occurrence), les quantiles de débits sont estimés à partir de la méthode du gradex « esthétique » selon la formule suivante :

$$QIX(T) = r(d).VCX(1,T)$$

Avec :

- $VCX(1,T)$: Le quantile de débit moyen sur un jour et de période de retour T , calculé à partir de la formule du gradex esthétique ;

- QIX(T) : Le quantile de débit instantané maximal de période de retour T ;
- $r(d)$: Rapport entre le débit instantané de pointe et le débit moyen sur un jour calculé sur les crues observées.

La figure ci-après présente la sensibilité des estimations du débit instantané au choix de la période de retour pivot T_g (10 ou 20 ans) :

- les points correspondent toujours aux valeurs du débit instantané mesuré ;
- la droite pleine correspond à l'ajustement des débits selon la loi de Gumbel ;
- les courbes pointillées correspondent aux extrapolations selon le gradex esthétique pour les périodes de retour pivot 10 et 20 ans.

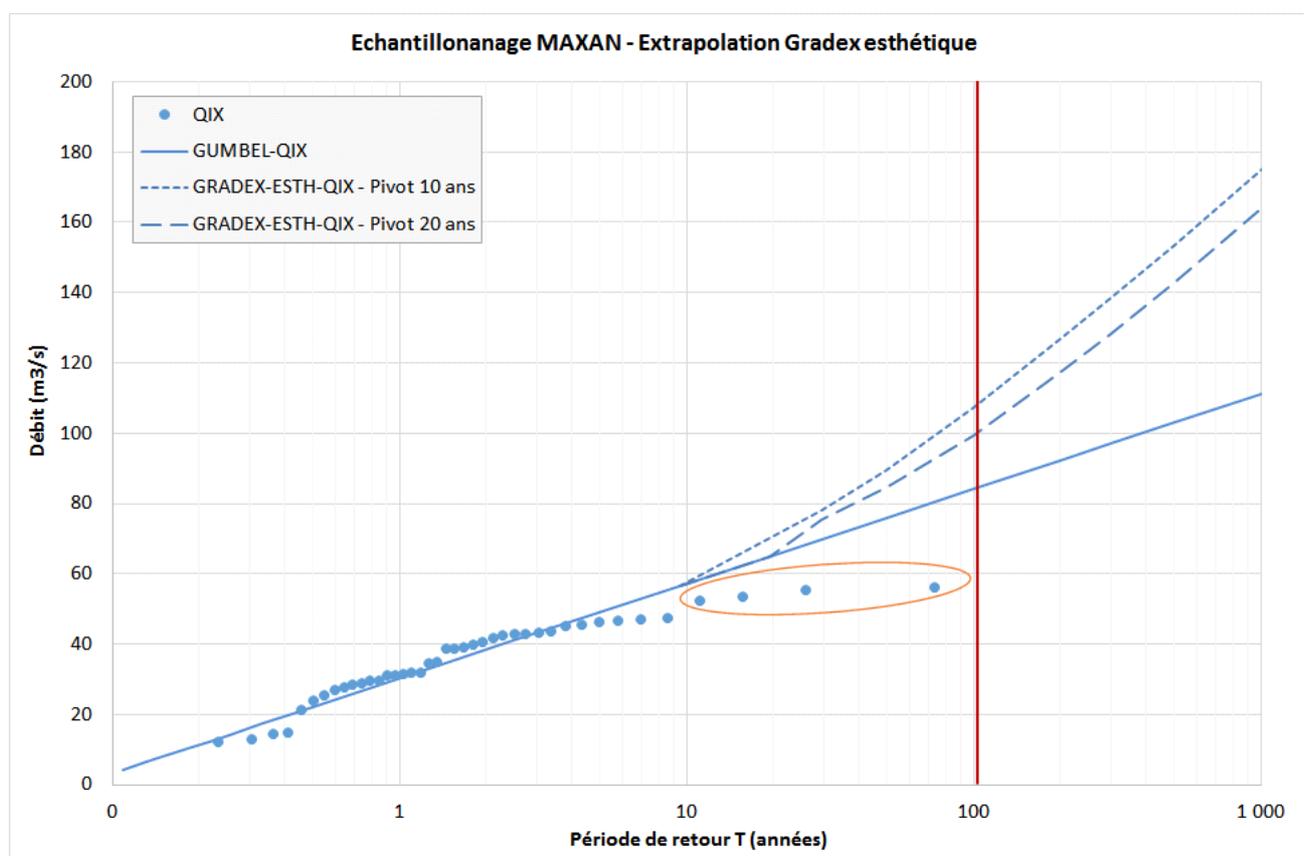


Figure 37 : Sensibilité des extrapolations Gradex esthétique sur les débits maximaux (QIX) de la Liane à Wirwignes selon le choix de la période de retour pivot T_g

La figure suivante compare alors les quantiles de débits maximaux estimés selon les différentes méthodes appliquées jusqu'alors.

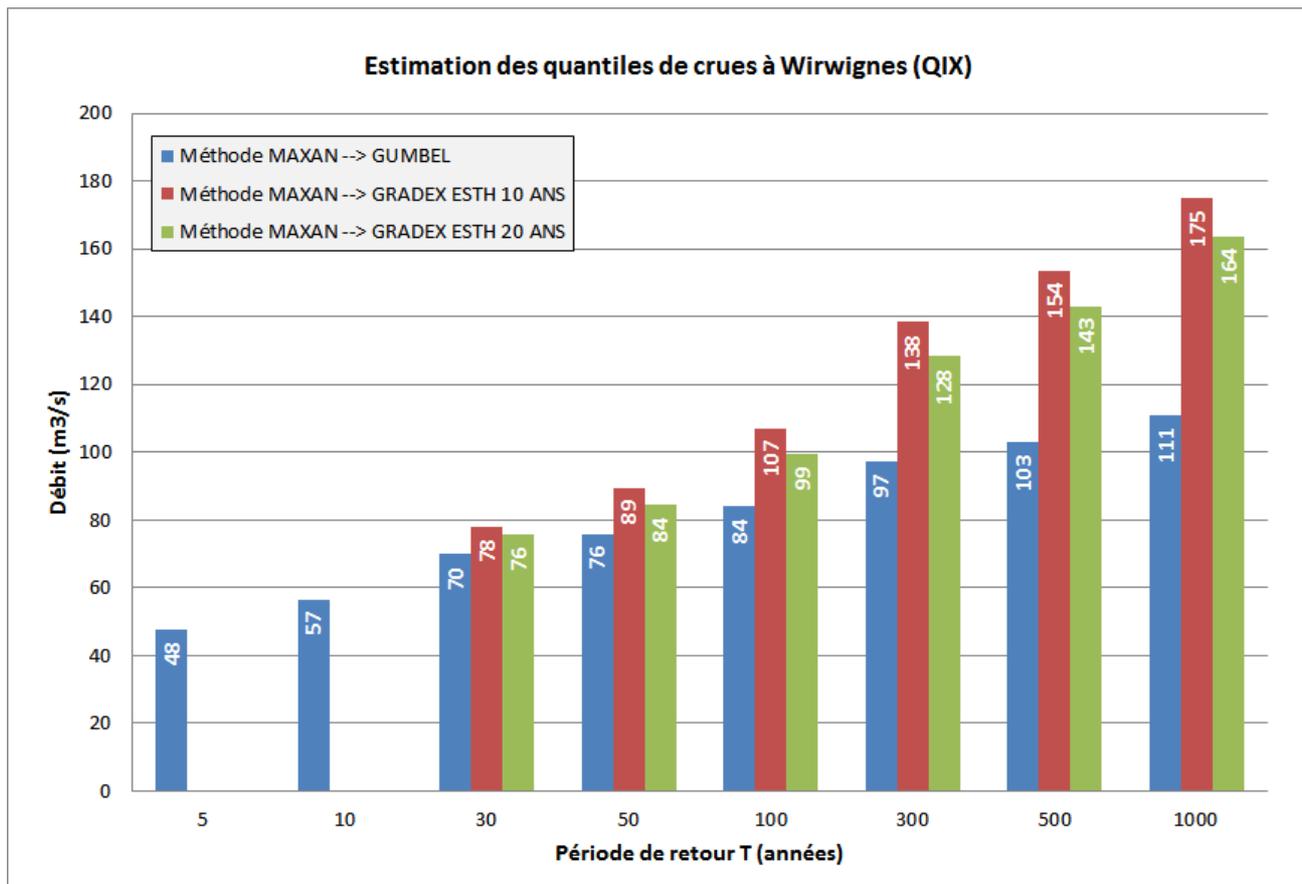


Figure 38 : Estimation des quantiles de crues QIX à Wirwignes selon les différentes méthodes

L'intervalle des estimations de débits s'élargit considérablement à partir des événements dont la période de retour est supérieure à 50 ans pour lesquels l'extrapolation des débits à l'aide de l'ajustement de la loi de Gumbel est bien inférieure à celles issues de la méthode du Gradex esthétique. Plus la période de retour pivot est petite plus les débits rares estimés seront importants.

L'objectif de cette analyse fréquentielle, n'est pas de déterminer la méthode et donc l'estimation de débit la plus pertinente, mais plutôt de mettre en évidence les incertitudes liées à l'extrapolation des débits rares, fortement dépendants de la méthode utilisée.

5.4.2 Analyse ponctuelle du Wimereux à Wimille

5.4.2.1 Présentation de la chronique disponible

La station hydrométrique de Wimille (E5205710) mise en service le premier janvier 1981 est de type à échelle.

La figure suivante présente la chronique de débits depuis 1983 mesurée par la station. De prime abord, aucune dérive ni lacune n'est observée.

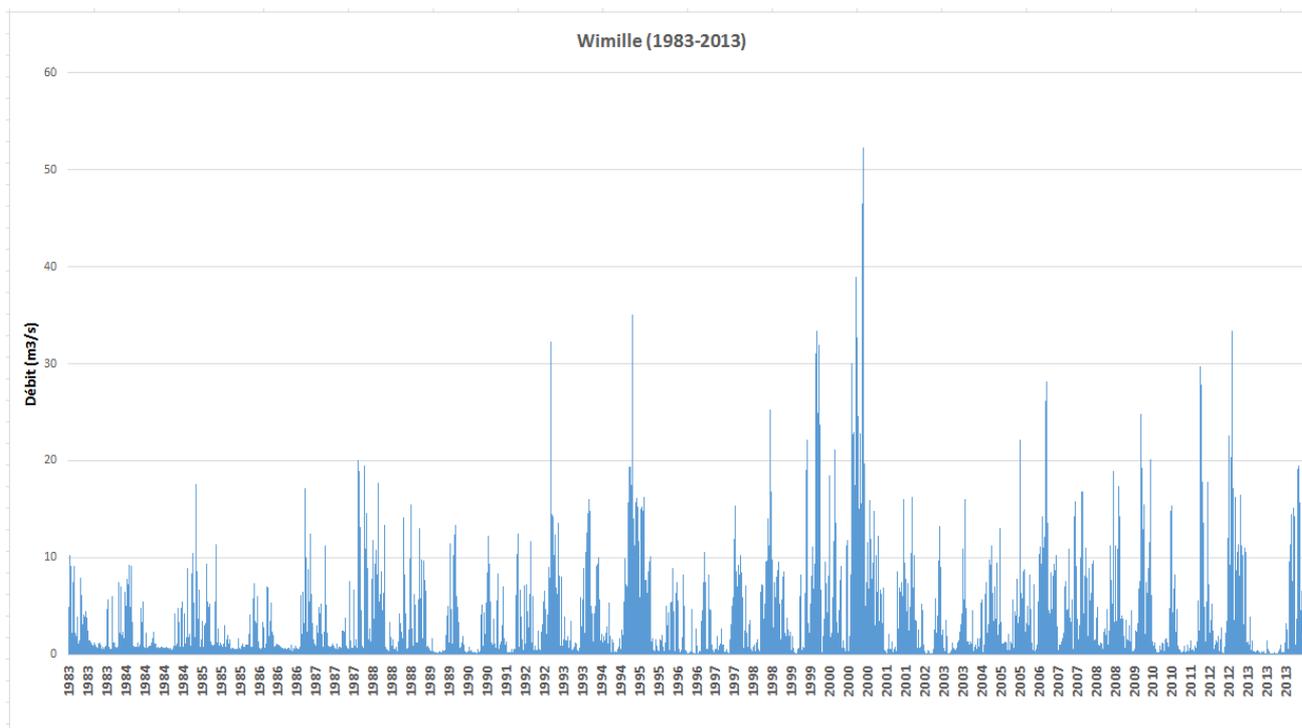


Figure 39: Chronique des débits sur la station de Wimille sur le Wimereux (Source : données banque HYDRO procédure QTVAR)

A l'aide de la procédure Crucal (i.e. ajustement statistique des débits maximaux annuels suivant la loi de Gumbel) appliquée à la station de Wimille et mis à notre disposition par la DREAL Nord-Pas-de-Calais, il a été possible de répartir sur l'ensemble de l'année les débits maximaux liés à de événements de fortes intensités pour chaque année depuis 1981. La répartition annuelle des crues sur le Wimereux est présentée au sein de la figure ci-après.

Le spectre d'apparition des crues est très restreint, les crues recensées étant principalement à caractère automnal et hivernal.

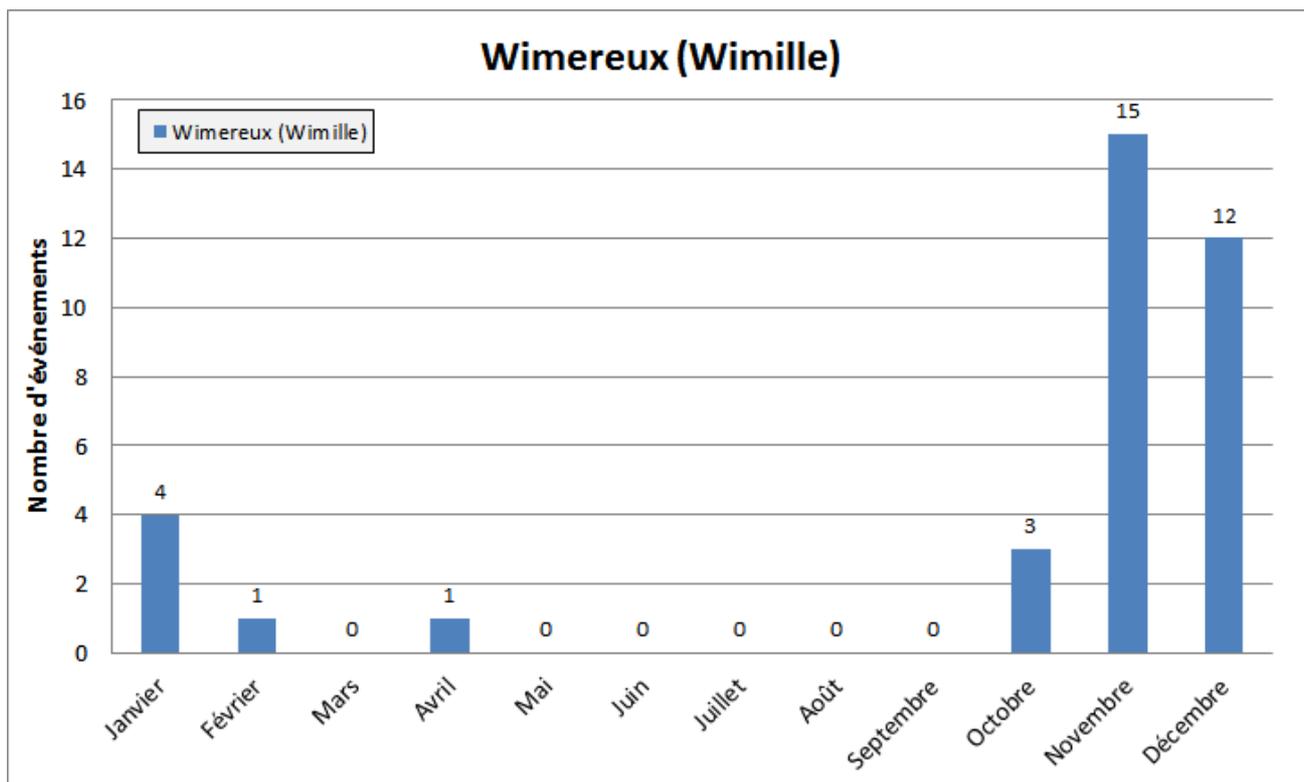


Figure 40: Répartition des crues maximales annuelles (n=36) au cours de l'année sur la station de Wimille sur le Wimereux

5.4.2.2 Qualité des données

Les informations accessibles par le biais de la banque HYDRO, autorisent une première analyse des données disponibles. Ainsi, les débits sont :

- validés bons de 1983 à 1999 et de 2001 à 2013 ;
- validés douteux au cours de l'année 2000 ;
- incomplets pour les années 1985, 1988, 1991, 2000, 2002, 2003, 2004, 2009.

La qualité des mesures de hauteurs d'eau est quant à elle réputée bonne aussi bien en situation des basses que de hautes eaux.

La DREAL a mis à notre disposition les données relatives aux jaugeages et la courbe de tarage actuellement en vigueur pour convertir les mesures de hauteur en estimation de débit.

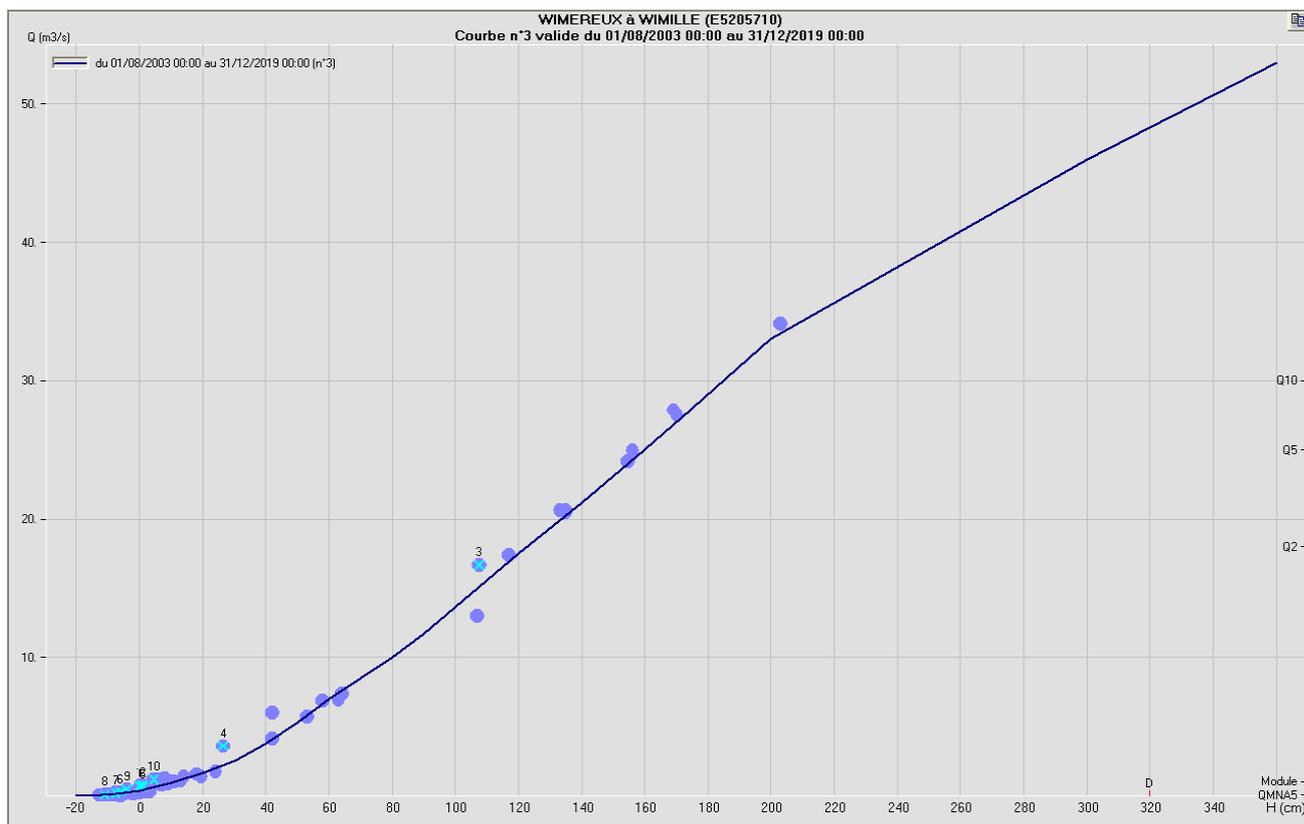


Figure 41: Jaugeages et courbe de tarage sur la station de Wimille sur le Wimereux depuis 2003 (Source : DREAL Nord-Pas-de-Calais)

Cette courbe de tarage est bien corrélée aux jaugeages aussi bien en période de basses que de hautes eaux, dont l'occurrence serait proche d'un événement décennal selon la DREAL (34 m³/s).

Notons qu'au delà, la courbe est extrapolée et que l'estimation des débits plus élevés est donc plus incertaine.

Il est par ailleurs supposé que la qualité des mesures de hauteurs d'eau ainsi que l'étalonnage et la précision des appareils de mesures sont bons.

5.4.2.3 Échantillonnage des débits

Comme explicité au sein de l'analyse fréquentielle de la Liane à Wirwignes, seule une méthode a été retenue afin d'échantillonner les débits au sein de la chronique extraite de la station hydrométrique de Wimille. Le principal objectif de cet échantillonnage étant rappelons-le, d'extraire les débits représentant les événements de situation de hautes eaux.

Aussi, seul un échantillonnage des débits instantanés maximaux de 1982 à 2013 a été effectué selon la procédure MAXAN. A titre d'information, la taille de l'échantillon des débits de pointe est de n=31.

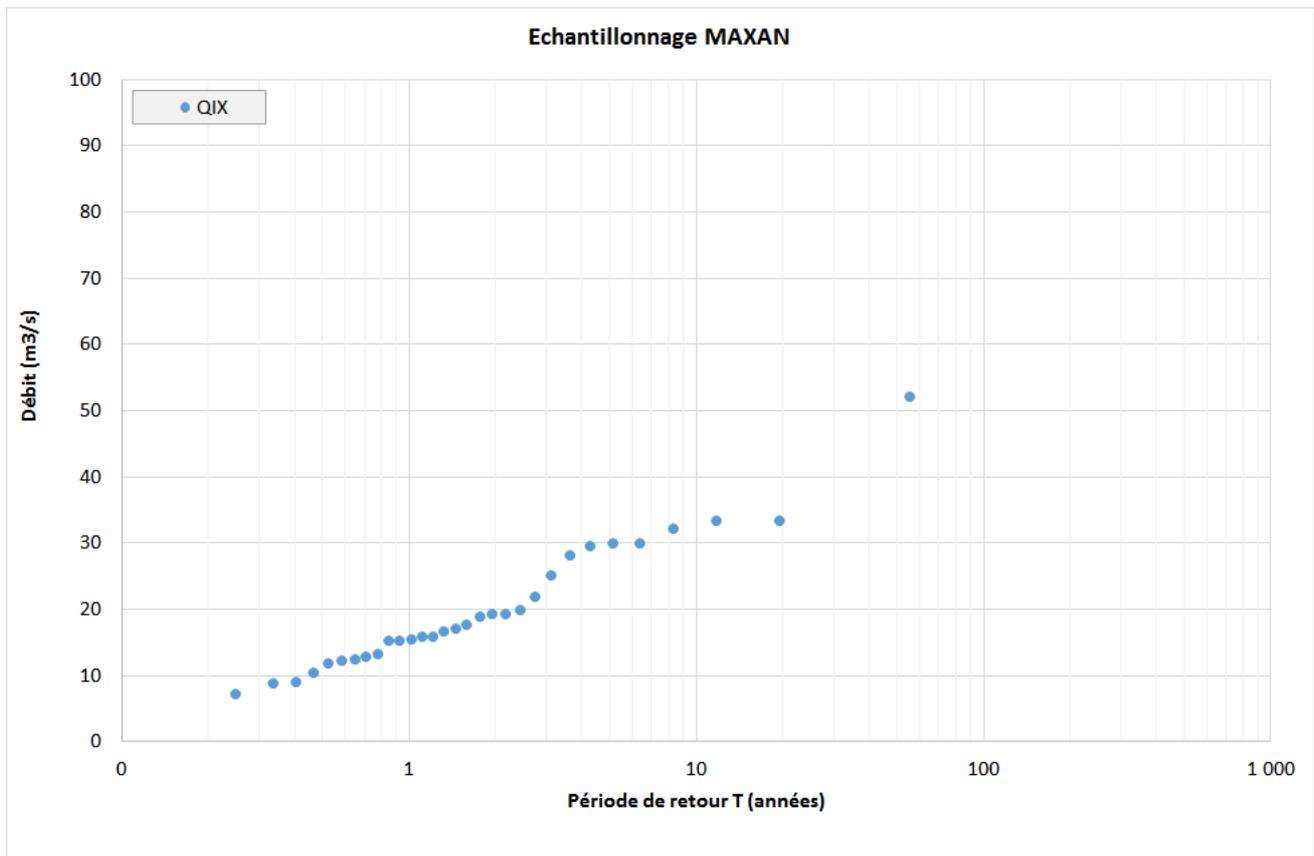


Figure 42: Échantillon des débits de pointe sur la station de Wimille

5.4.2.4 Ajustement d'une loi de probabilité

Il s'agit maintenant d'ajuster la loi de Gumbel représentative des valeurs extrêmes pour l'échantillon constitué. Comme l'indique la figure suivante, il est dès lors possible d'estimer les quantiles de crues des débits instantanés maximaux.

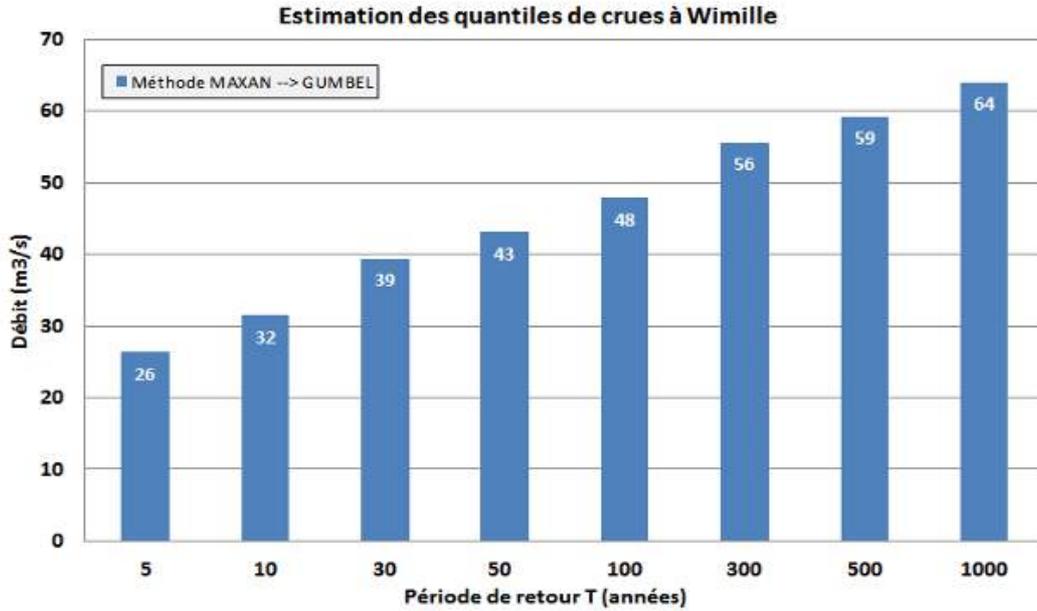


Figure 43: Estimation des quantiles de crues QIX à Wimille selon la méthode d'ajustement de la loi de Gumbel

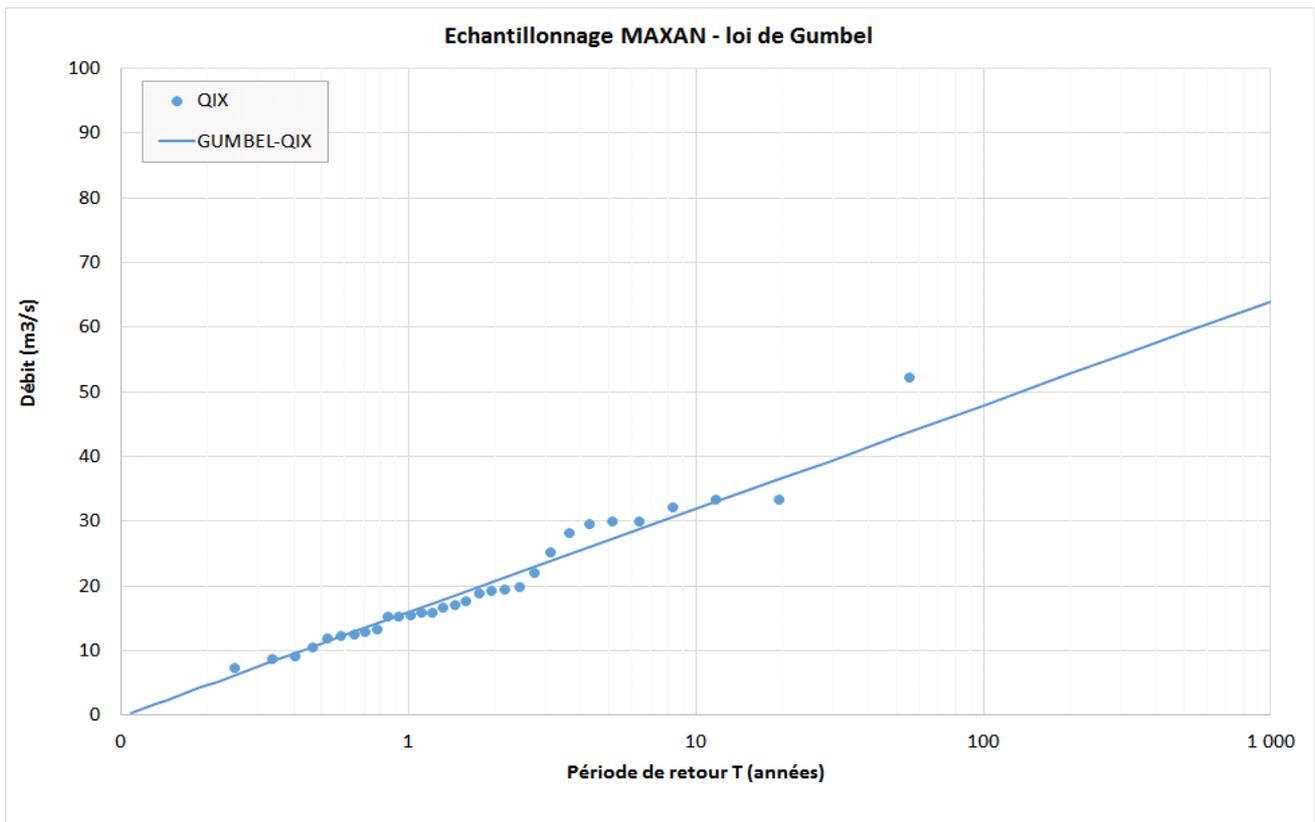


Figure 44: Ajustement de la loi de Gumbel sur l'échantillon en QIX (débits maximaux) sur la station de Wimille

La figure précédente présente l'ajustement ainsi obtenu de la loi de Gumbel pour les débits maximaux (QIX).

La corrélation entre la loi de Gumbel ajustée et les valeurs de l'échantillon est satisfaisante pour les événements fréquents allant jusqu'à une période de retour de 10 ans environ. Au delà, d'une crue d'occurrence 50 ans, il semble que la loi tende à sous estimer les débits extrêmes. A titre d'exemple pour une période de retour de 50 ans environ, la loi de Gumbel sous estime de 10 m³/s la valeur du débit de pointe au regard de celle obtenue suite à l'échantillonnage MAXAN.

5.4.2.5 *Extrapolation des débits rares selon la méthode du Gradex esthétique*

Comme mis en exergue au sein du paragraphe précédent, il apparaît nécessaire d'extrapoler les débits rares sur la base d'autres approches.

La méthode du Gradex « esthétique » a été retenue pour extrapoler les valeurs QIX pour des périodes de retour moyennes à rares. Rappelons que cette dernière a été développée pour palier à la surestimation des débits de pointe issus du Gradex « classique » conçu par EDF.

Le bassin versant du Wimereux ne possédant pas de poste pluviométrique, les statistiques (gradex des pluies) de la station de Desvres déjà retenue pour l'analyse hydrologique de la Liane, sont également retenues sur le Wimereux. De plus, ce choix est conforté par les comportements analogues de ces deux bassins versants.

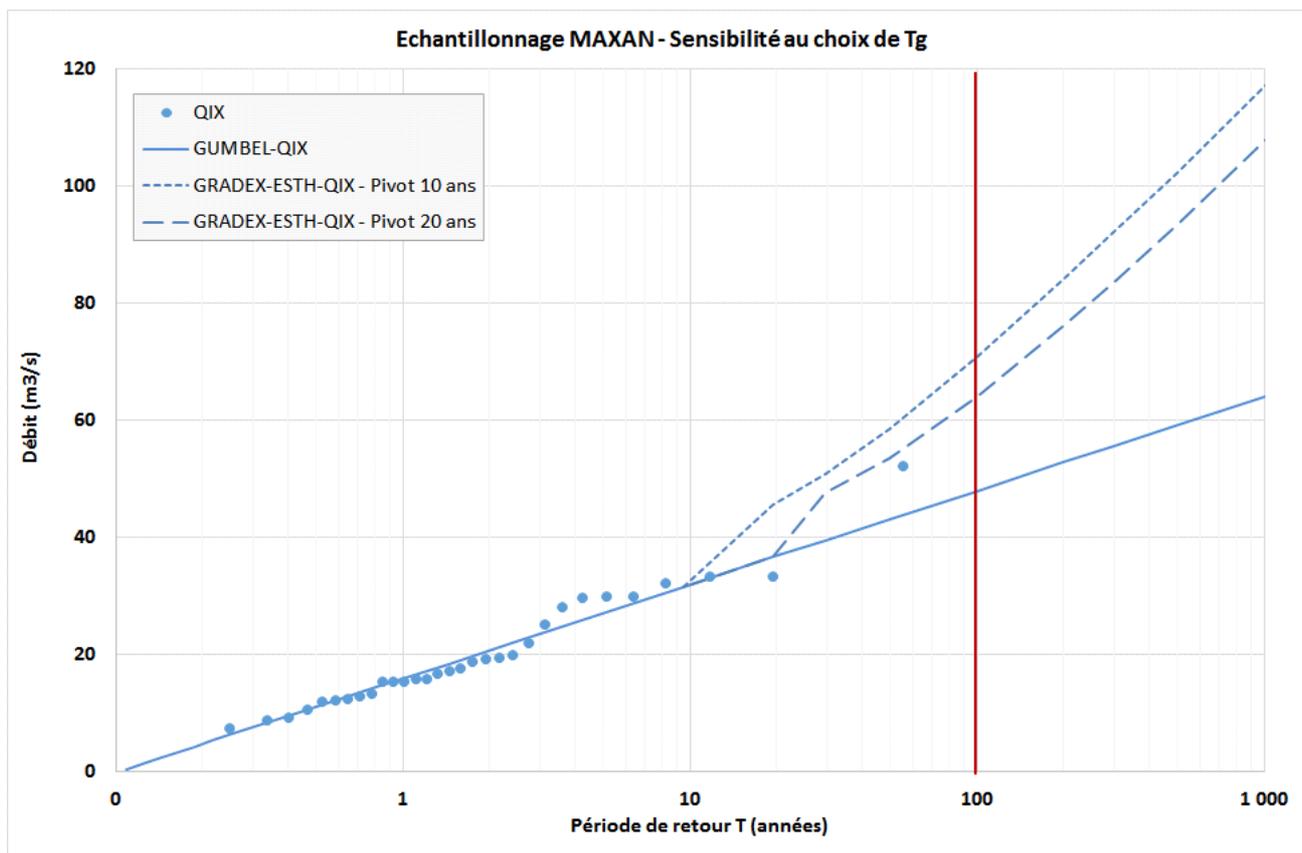


Figure 45: Sensibilité des extrapolations Gradex esthétique sur les débits maximaux (QIX) du Wimereux à Wimille selon le choix de la période de retour pivot Tg

La figure précédente représente la sensibilité des extrapolations de QIX (débits maximaux) selon la période de retour pivot.

Comme constaté au cours de l'analyse fréquentielle de la Liane, plus la période de retour pivot est faible, plus la valeur des débits rares donc de faible occurrence sera grande. Cette remarque peut aussi est visualisée au sein de la figure suivante qui reprend les estimations des débits de pointe (QIX) selon les différentes méthodes exploitées.

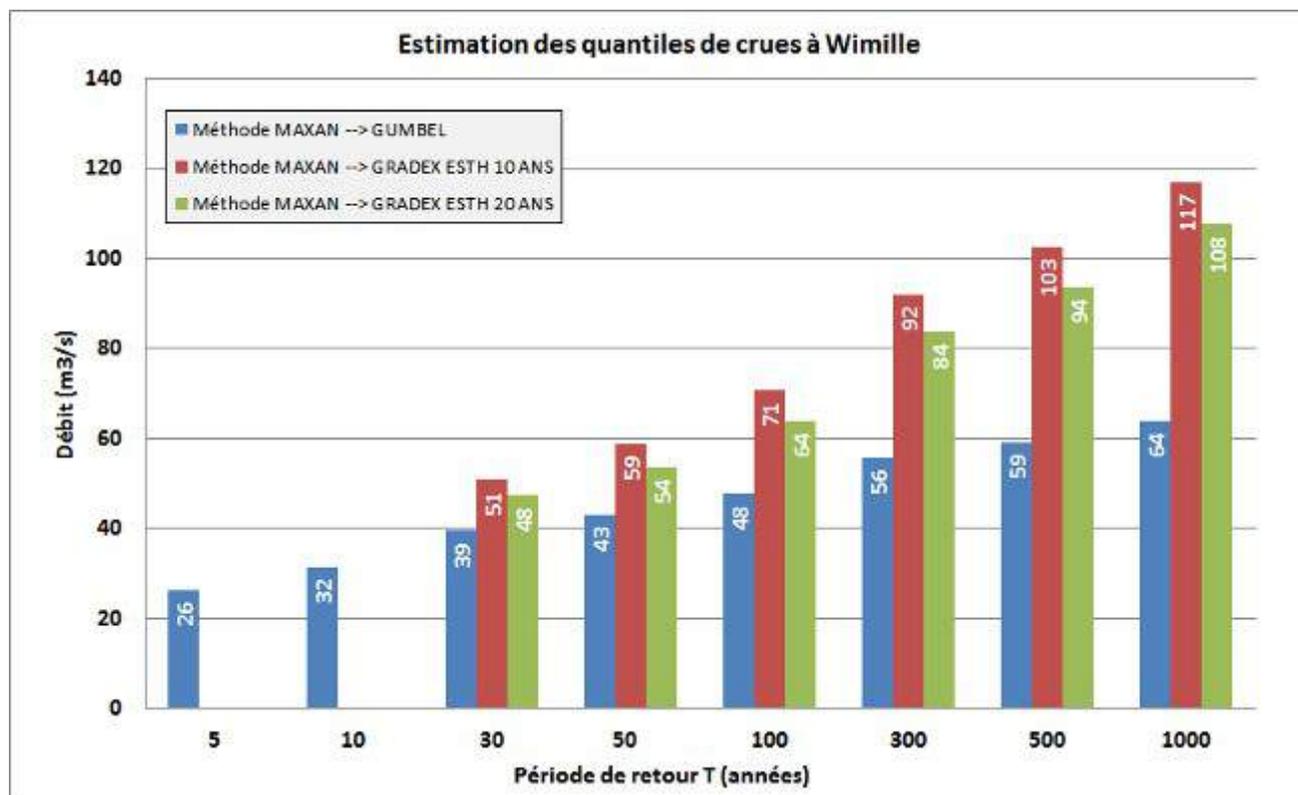


Figure 46: Estimation des quantiles de crues QIX (débits maximaux) à Wimille selon les différentes méthodes

Une fois encore, comme cela a été mentionné sur la Liane à Wirwignes, le propos ici n'est pas de déterminer quelles sont les valeurs les plus représentatives, mais plutôt d'illustrer la variabilité importante des débits rares notamment.

Néanmoins, il semble en première approche, que les estimations issues de la méthode du Gradex esthétique, basée sur une saturation progressive du bassin versant à partir d'une période de retour de 20 ans, pourraient être un bon compromis.

5.4.3 Analyse ponctuelle de la Slack à Rinxent

5.4.3.1 Présentation de la chronique disponible

La station hydrométrique de Rinxent (E5105710), de type à échelle, a été mise en service le 17 janvier 1980, et devrait présenter de ce fait 34 années de données.

La figure ci-après présente l'ensemble de la chronique de débit sur la station de Rinxent fournie par la DREAL Nord-Pas-de-Calais, autorisant la distinction des principaux épisodes de crues recensés à partir de 1989. Des lacunes sont à constater en 1993, de 1995 à 1997. Cette remarque implique que les données sont à exploiter avec beaucoup de précaution, tout comme les résultats issus de l'analyse fréquentielle de la Slack.

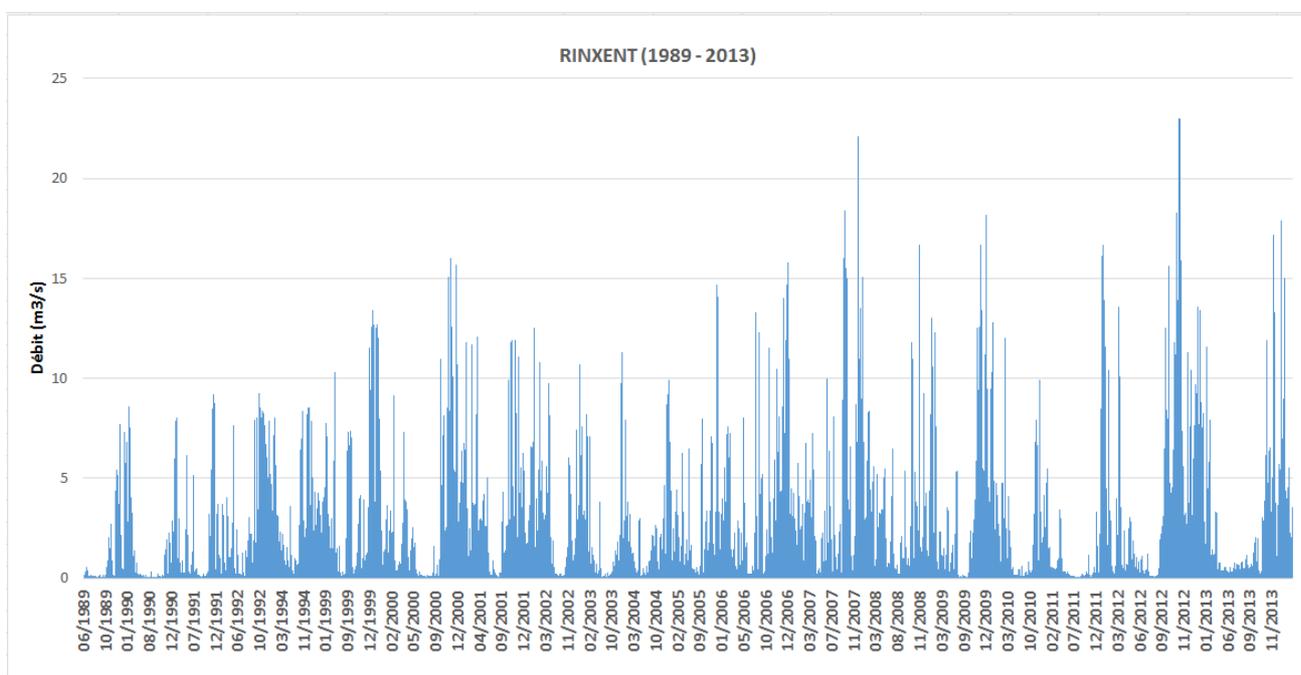


Figure 47 : Chronique des débits sur la station de Rinxent sur la Slack (Source : données banque HYDRO procédure QTVAR)

La figure ci-dessous répartissant sur les douze mois de l'année les événements de crues permet de déterminer la saisonnalité de ces épisodes. Comme pour les deux autres bassins versant du boulonnais, les crues recensées sont principalement à caractère automnal et hivernal.

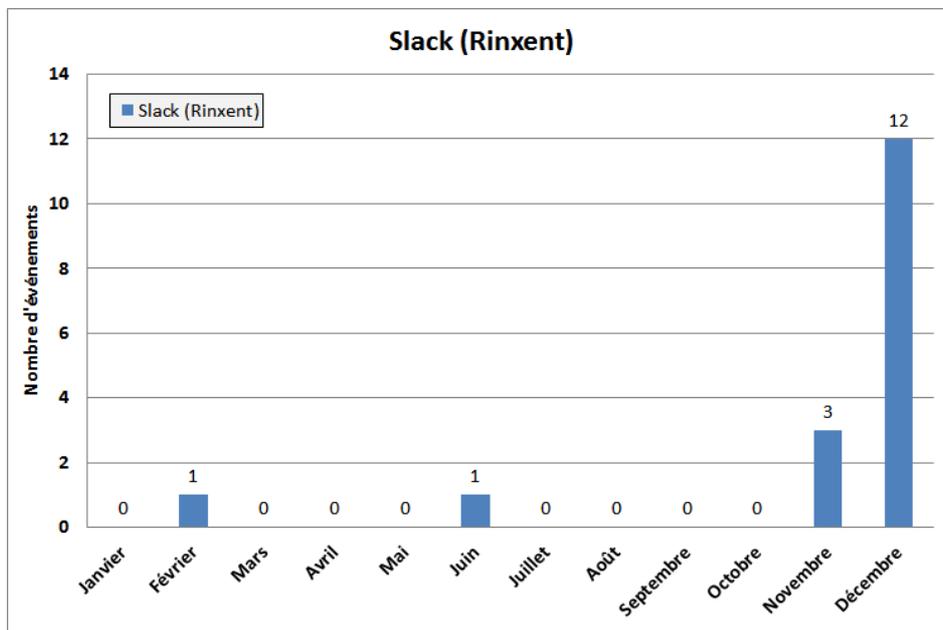


Figure 48: Répartition des crues maximales annuelles (n=17) au cours de l'année sur la station de Rinxent sur la Slack

5.4.3.2 Qualité des données

Les informations mise en ligne via le site de la banque HYDRO valident les débits comme bons à partir de 1989 lorsque ces derniers sont disponibles. Rappelons cependant que près de la moitié des années pour lesquelles les débits sont validés bons est cependant incomplète. Des lacunes quant à l'estimation du débit, à partir de la mesure de hauteur d'eau et de la courbe de tarage, est à souligner pour l'année 1993 et la période allant de 1995 à 1997.

La qualité globale des mesures de hauteurs d'eau est quant à elle réputée bonne aussi bien en situation de basses eaux que de hautes eaux.

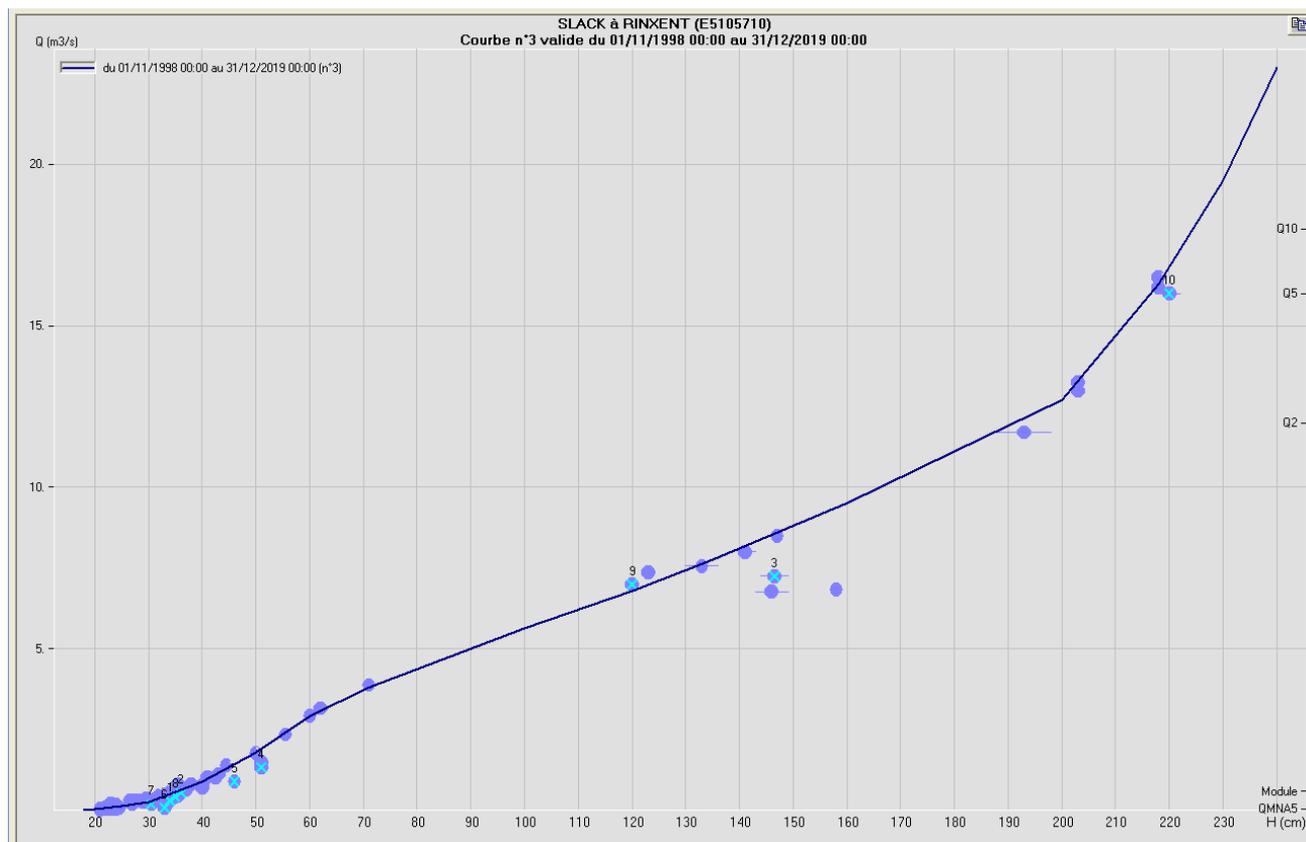


Figure 49: Jaugeages et courbe de tarage sur la station de Rinxent sur la Slack depuis 1998 (source : DREAL Nord-Pas-de-Calais)

La courbe de tarage fournie par la DREAL utilisée depuis 1998, correspond relativement bien aux points de jaugeages effectués sur la station. Soulignons néanmoins que l'estimation des débits relatifs à des périodes de moyennes eaux allant de 90 à 170 cm, ne comporte que très peu de points de jaugeages et que la loi de tarage définie ne passe pas sur l'ensemble de ces derniers. En hautes eaux, des jaugeages ont été effectués jusqu'à une crue d'occurrence 5 ans selon la DREAL (17 m³/s).

A nouveau, n'ayant pas en notre possession les courbes de tarage antérieures, l'analyse de la qualité des données et principalement des débits estimés n'est possible.

5.4.3.3 Échantillonnage des débits

Un échantillonnage de type MAXAN à été réalisé pour les débits issus de la chronique de débit de la rivière de la Slack à Rinxent.

Rappelons que de par les lacunes que présente la chronique de débit, et la méconnaissance quant à l'estimation des débits à partir des courbes de tarages pour les années antérieures à 1998, cet échantillon est soumis à de fortes incertitudes.

Les débits instantanés maximaux (QIX) issus de l'échantillonnage MAXAN à partir des données disponibles comporte 17 valeurs, et sont représentés ci-dessous.

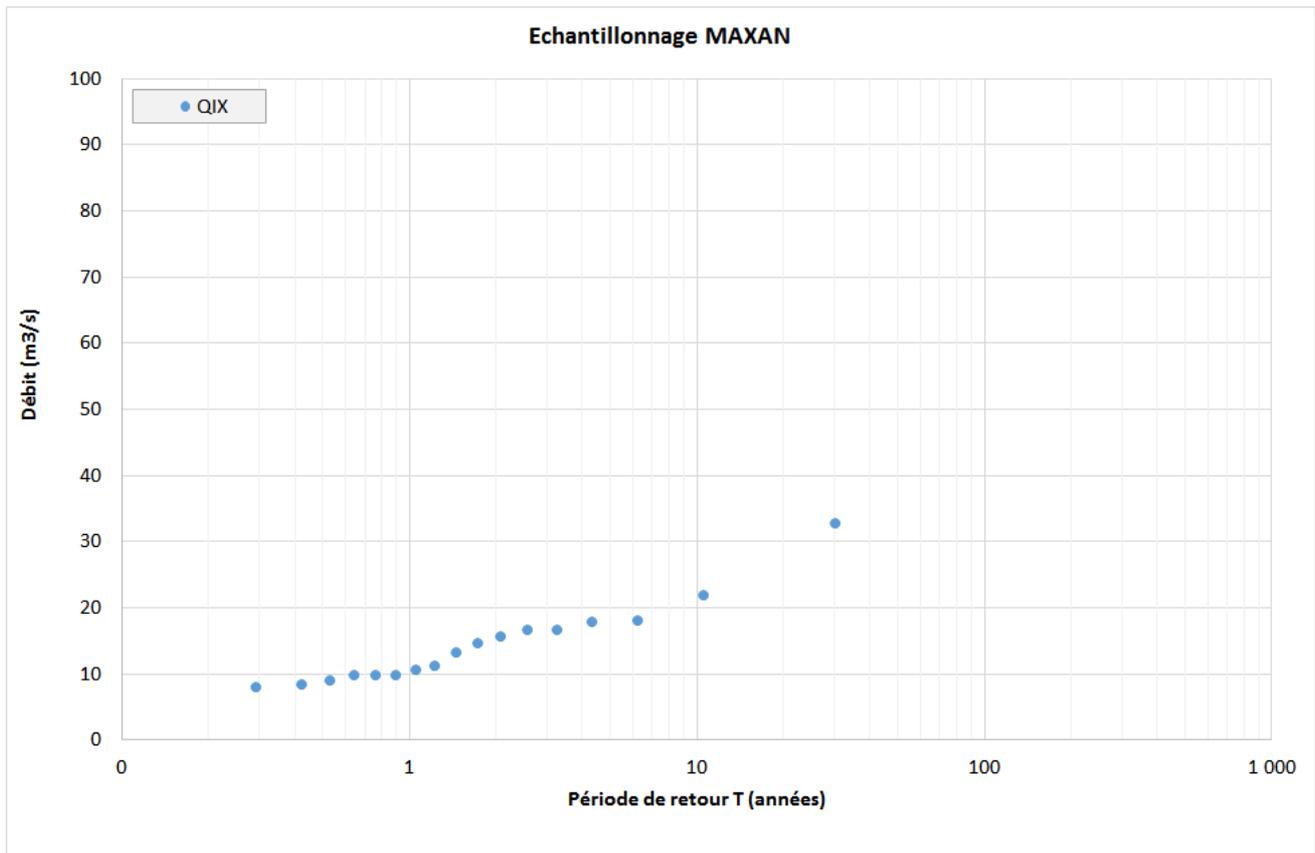


Figure 50: Échantillon des débits de pointe sur la station de Rinxent

5.4.3.4 Ajustement d'une loi de probabilité

Afin d'estimer les quantiles de crues des débits de pointe de la Slack, il convient d'ajuster la loi de Gumbel sur l'échantillon précédemment réalisé.

Toutefois, la pertinence de l'ajustement statistique est fortement dépendant du nombre de valeurs constituant l'échantillon. Dans le cas présent, la taille de ce dernier étant petite ($n = 17$), les résultats (débits instantanés maximaux pour différentes périodes de retour, ...) issus de cet ajustement sont donc à prendre avec précaution.

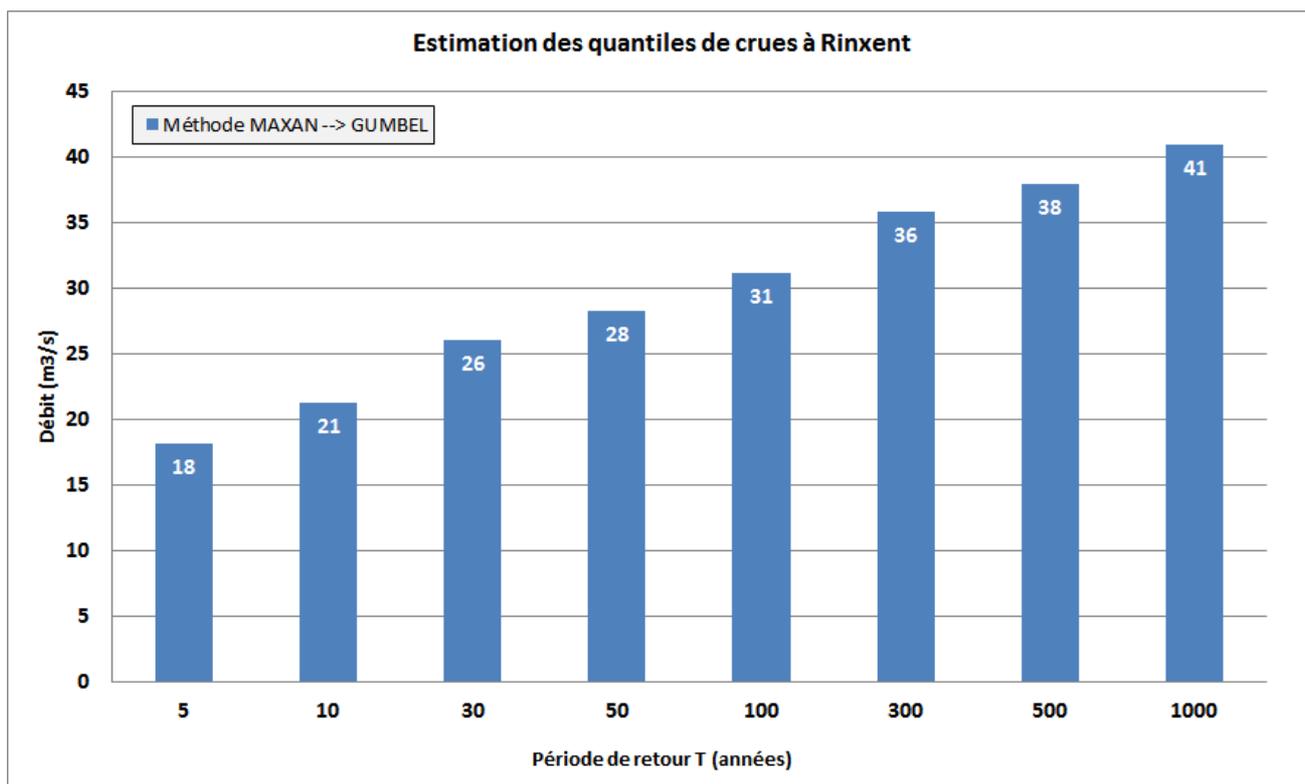


Figure 51: Estimation des quantiles de crues QIX (débits maximaux) à Rinxent selon la méthode d'ajustement de la loi de Gumbel

La figure ci-après présente l'ajustement ainsi obtenu de la loi de Gumbel sur les débits maximaux QIX.

La corrélation entre la loi de Gumbel et les valeurs des échantillons est bonne pour les événements dits fréquents. Au-delà des épisodes dont l'occurrence est estimée à 10 ans, la loi semble sous-estimer les débits comme l'indique la valeur de l'échantillon de période de retour 30 ans, dont le débit associé est de 32.8 m³/s, l'approche statistique donne quant à elle un débit de 26 m³/s.

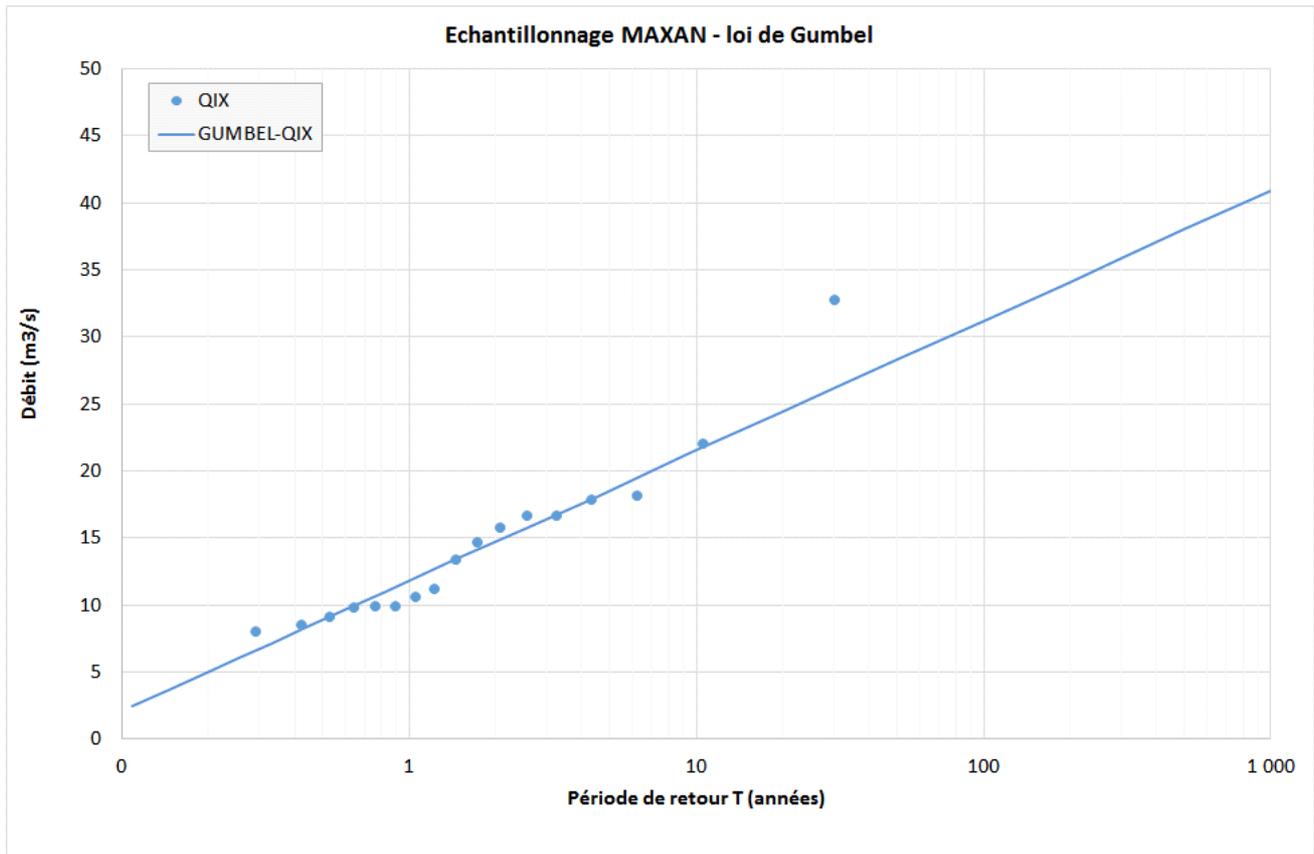


Figure 52: Ajustement de la loi de Gumbel sur l'échantillon en QIX (débits maximaux) sur la station de Rincent

5.4.3.5 Extrapolation des débits rares selon la méthode du Gradex esthétique

Aussi, il apparaît intéressant d'extrapoler les débits de faible occurrence à l'aide de la méthode du Gradex « esthétique ».

Comme pour le bassin versant du Wimereux, celui de la Slack ne possède pas de poste pluviométrique. Dès lors, la station de Desvres a été retenue comme pour les deux précédents bassins versants. L'objectif étant d'avoir un gradex des pluies représentatif du bassin versant étudié.

La sensibilité des extrapolations de QIX (débits maximaux) selon la période de retour pivot est visualisable sur la figure page suivante.

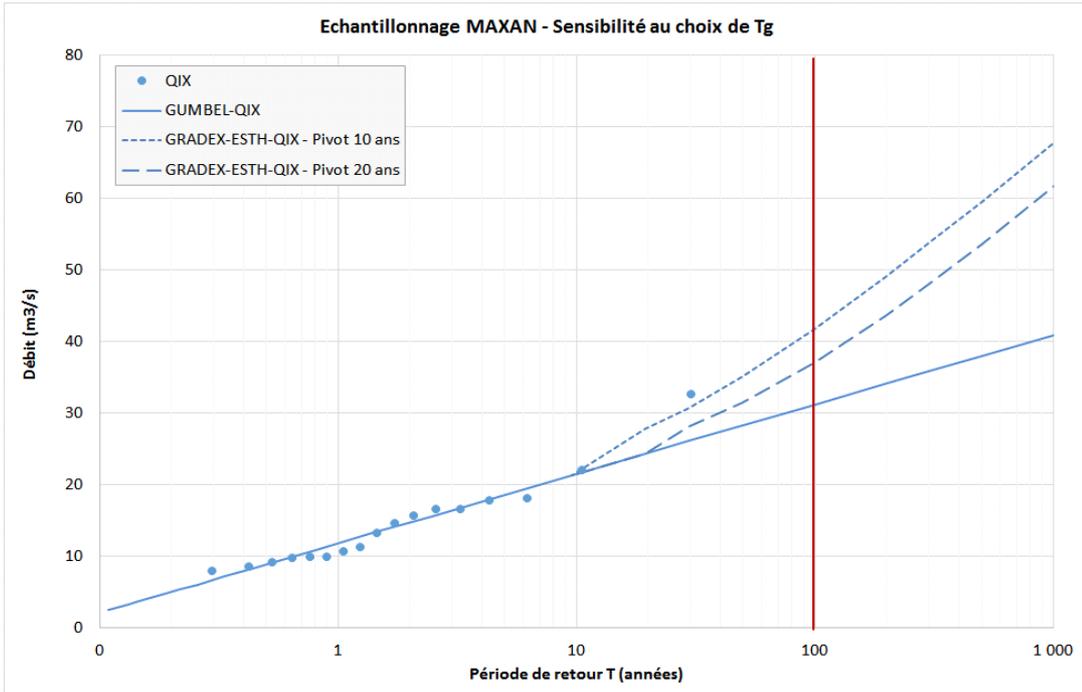


Figure 53: Sensibilité des extrapolations Gradex esthétique sur les débits maximaux (QIX) de la Slack à Rinxent selon le choix de la période de retour pivot Tg

La deuxième figure ci-après indique quant à elle l'ensemble des quantiles de crues estimés suite à l'application des différentes méthodes présentées dans l'étude.

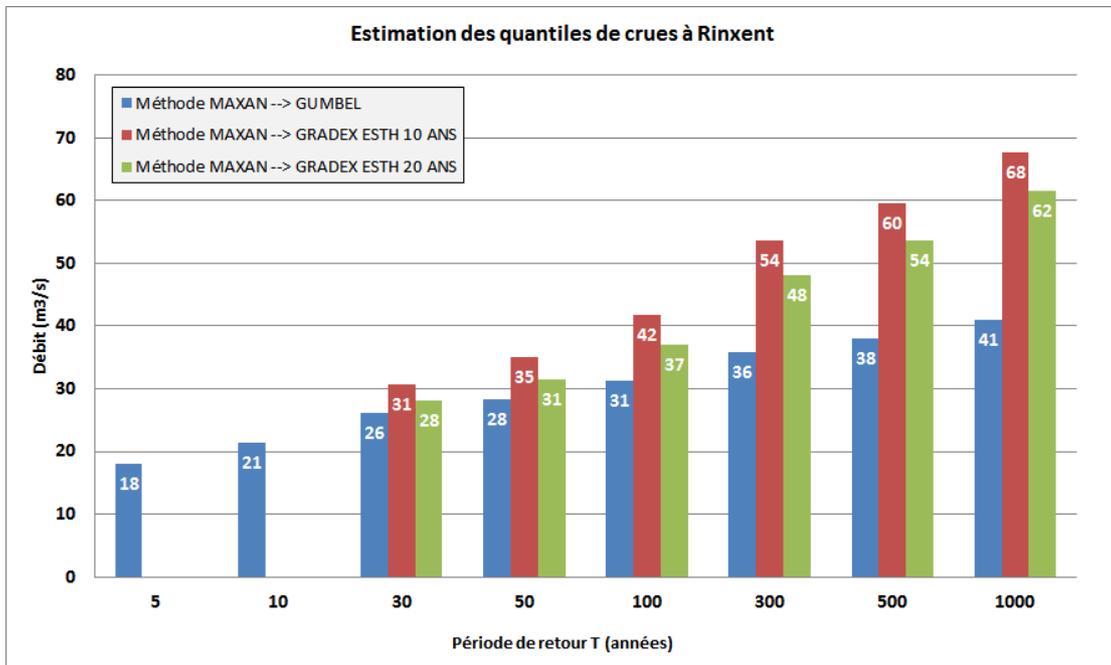


Figure 54: Estimation des quantiles de crues QIX à Rinxent selon les différentes méthodes

5.4.4 Bilan et conséquences sur la suite de l'étude : définition de scénarios de référence

L'analyse réalisée a mis en évidence que les cours d'eau du Boulonnais répondaient à des épisodes prolongés de pluie de type automnal et hivernal. **Elle permet de dégager des valeurs de débits caractéristiques cohérentes entre elles.**

Le tableau ci-après récapitule les estimations des débits instantanés maximaux selon différentes périodes de retour (10, 50, 100 et 1000 ans) pour la Liane à Wirwignes, le Wimereux à Wimille et la Slack à Rinxent. Figurent aussi les débits spécifiques, débits par km² de bassin versant, qui permettent de comparer les cours d'eau entre eux. Ces valeurs sont également comparées aux toutes dernières estimations de la DREAL Nord-Pas-de-Calais. Les écarts sont liés à des méthodes d'ajustement différentes, mais les ordres de grandeur sont cohérents et dans la fourchette d'incertitude usuelle pour ce type d'analyse fréquentielle.

Cours d'eau		Liane à Wirwignes	Wimereux à Wimille	Slack à Rinxent
Superficie (km ²)		100	78	38
T = 10 ans	Débit (m ³ /s)	57	31	21
	Débit spécifique (m ³ /s/km ²)	0.57	0.40	0.55
T = 50 ans PROLOG	Débit (m ³ /s)	84 - 89	54 - 59	31 - 35
	Débit spécifique (m ³ /s/km ²)	0.84 - 0.89	0.69 - 0.76	0.82 - 0.92
T = 50 ans DREAL	Débit (m ³ /s)	106	68	46
	Débit spécifique (m ³ /s/km ²)	1.06	0.87	1.21
T = 100 ans PROLOG	Débit (m ³ /s)	99 - 107	64 - 71	37 - 42
	Débit spécifique (m ³ /s/km ²)	0.99 - 1.07	0.82 - 0.91	0.97 - 1.11
T = 100 ans DREAL	Débit (m ³ /s)	134	88	60
	Débit spécifique (m ³ /s/km ²)	1.34	1.13	1.58
T = 1000 ans PROLOG	Débit (m ³ /s)	164 - 175	108 - 117	62 - 68
	Débit spécifique (m ³ /s/km ²)	1.64 - 1.75	1.38 - 1.50	1.63 - 1.79

Tableau 35 : Estimation des débits caractéristiques des cours d'eau du Boulonnais

L'estimation « PROLOG » correspond à l'analyse statistique faite dans le cadre de cette étude, en choisissant la méthode de GUMBEL pour l'estimation du débit décennal et celle du Gradex « esthétique » (pivot 10 ou 20 ans) pour les débits d'occurrence plus faible.

L'estimation « DREAL » correspond à une analyse statistique faite par la DREAL Nord-Pas-de-Calais en utilisant la loi de Fréchet. Pour le débit décennal, la loi de Fréchet donne des débits similaires à la loi de Gumbel.

A la vue des résultats, on peut tirer les conclusions suivantes :

- le Wimereux présente des débits spécifiques légèrement inférieurs à ceux de la Liane et de la Slack mais l'ensemble reste cohérent ;
- sur la Liane à Wirwignes, le débit décennal est estimé à 57 m³/s ; rappelons que sur 40 ans, on a

mesuré 4 fois des débits supérieurs à 52 m³/s ;

- même dans l'hypothèse basse, le débit centennal estimé de la Liane à Wirwignes (99 m³/s) est supérieur au débit centennal retenu à l'époque dans le PPRI (70 m³/s) ;
- même dans l'hypothèse haute, le débit centennal estimé du Wimereux à Wimille (88 m³/s) est inférieur au débit centennal utilisé dans le cadre des études d'élaboration du PPRI (100 m³/s).

Ces débits estimés permettent ainsi de fixer des ordres de grandeur des débits objectifs pour la modélisation pluie-débit à venir.

Trois modèles pluie-débit seront donc élaborés à l'échelle du bassin versant de la Liane, du Wimereux et de la Slack et couplés aux modèles hydrauliques pour la Liane et le Wimereux seulement, afin de représenter la réponse hydrologique du bassin à des épisodes pluvieux d'intensité croissante, en vue de caractériser par la suite les conditions de propagation des crues puis les débordements engendrés, pour différentes gammes de crues.

Le cahier des charges évoquait les crues de périodes de retour 10, 20, 50, 100 et extrême. Sachant les incertitudes liées à l'extrapolation des débits rares, fortement dépendants de la méthode utilisée (voir tableau précédent), notre approche viserait à se rapprocher de celle demandée par la Directive Inondation, en raisonnant sur la base de trois scénarios : fréquent (10 – 30 ans) / moyen (100 -300 ans) / extrême (500 – 1000 ans) et non pas sur une période de retour donnée.

Ces aspects seront validés lors de la définition des scénarios de référence, une fois le calage des modèles hydrologiques réalisé.

5.5 Modélisation pluie-débit à l'échelle des bassins versants

5.5.1 Objectifs et limites de la modélisation pluie-débit

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

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

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

5.5.2 Le découpage en sous-bassins versants

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

5.5.2.1 Préparation du Modèle Numérique de Terrain (MNT)

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

Cette étape se fait à l'aide du logiciel SAGA GIS par le module Terrain Analysis > Preprocessing. Plusieurs méthodes sont possibles pour éliminer ces « puits ». Nous avons choisi la méthode « Fill Sinks (Planchon et Darboux 2001) ».

A l'issue de cette étape, le MNT est donc exploitable.

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

5.5.2.2 Création d'une grille d'accumulation

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

La grille d'accumulation est obtenue avec le module *Terrain Analysis > Hydrology > Catchment Area*. La méthode « *Catchment Area (Parallel)* » a été appliquée sur le MNT corrigé.

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

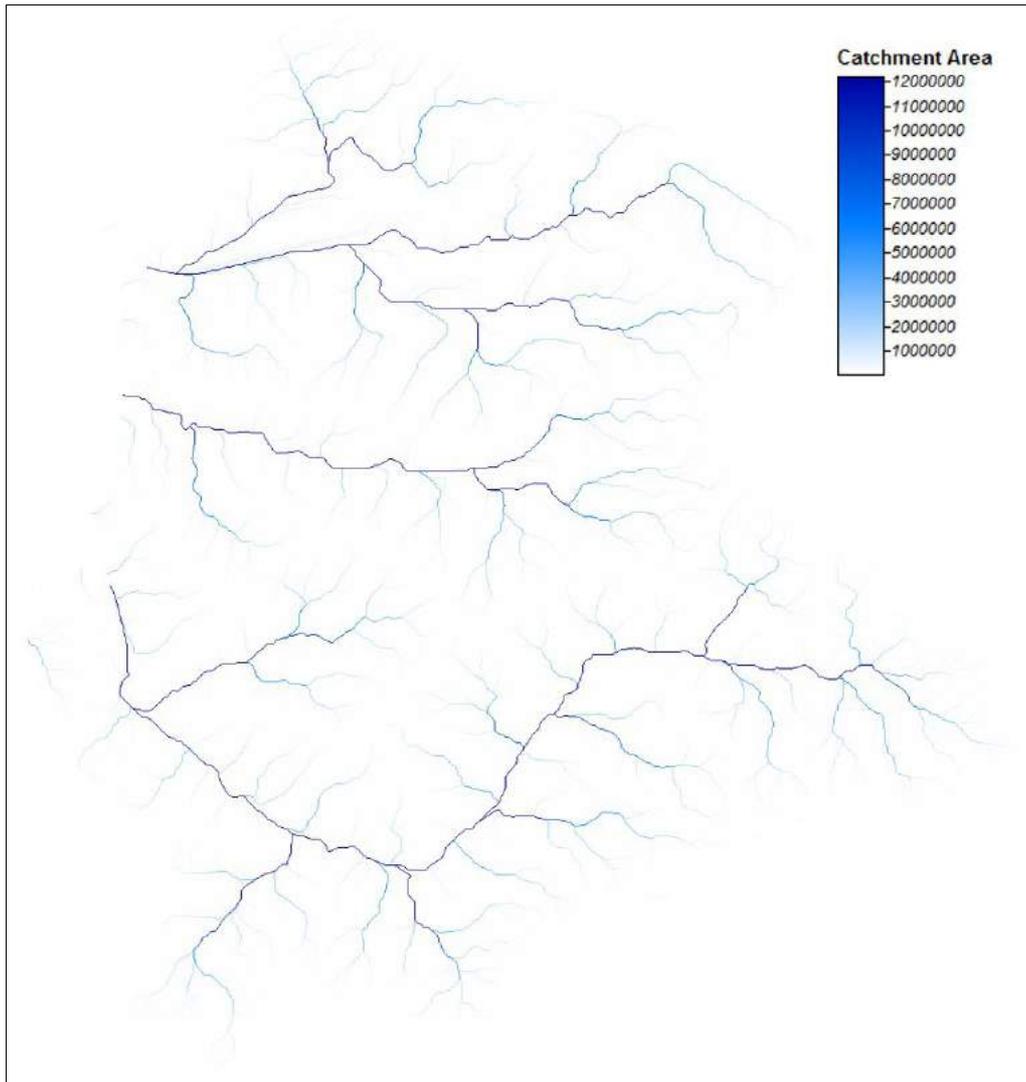


Figure 55- Grille d'accumulation obtenue sous SAGA GIS

On retrouve bien ci-dessus le tracé de la Liane, du Wimereux et de la Slack.

5.5.2.3 Création du réseau hydrographique

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

Le module *Terrain Analysis > Channels > Channel Network* permet à partir du MNT corrigé (Elevation) et de la grille d'accumulation (Initiation Grid) de construire une grille représentant le réseau hydrographique, une grille représentant la direction d'écoulement, et un fichier vecteur, représentant le réseau hydrographique sous forme de ligne.

Deux paramètres sont à déterminer au cours de cette étape :

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

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

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

On peut ainsi obtenir un réseau hydrographique très fin, ou un peu plus grossier, comme présentés respectivement dans les figures suivantes.

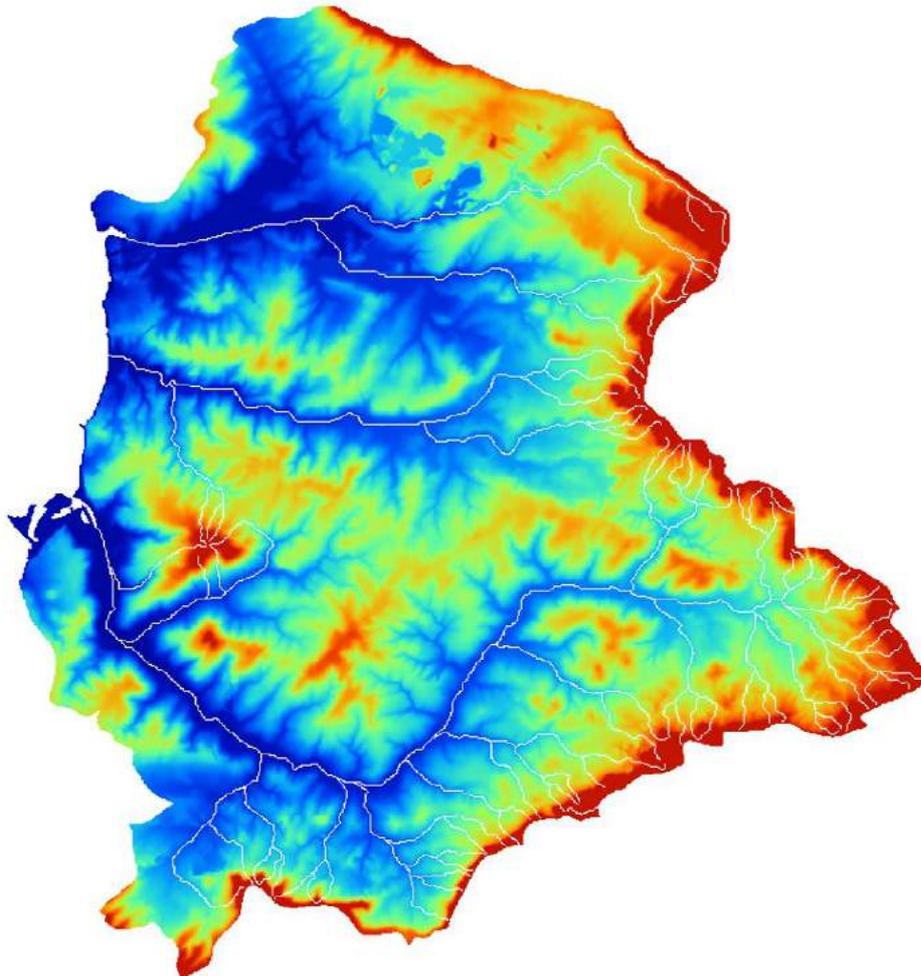


Figure 56- Réseau hydrographique grossier obtenu sous SAGA GIS

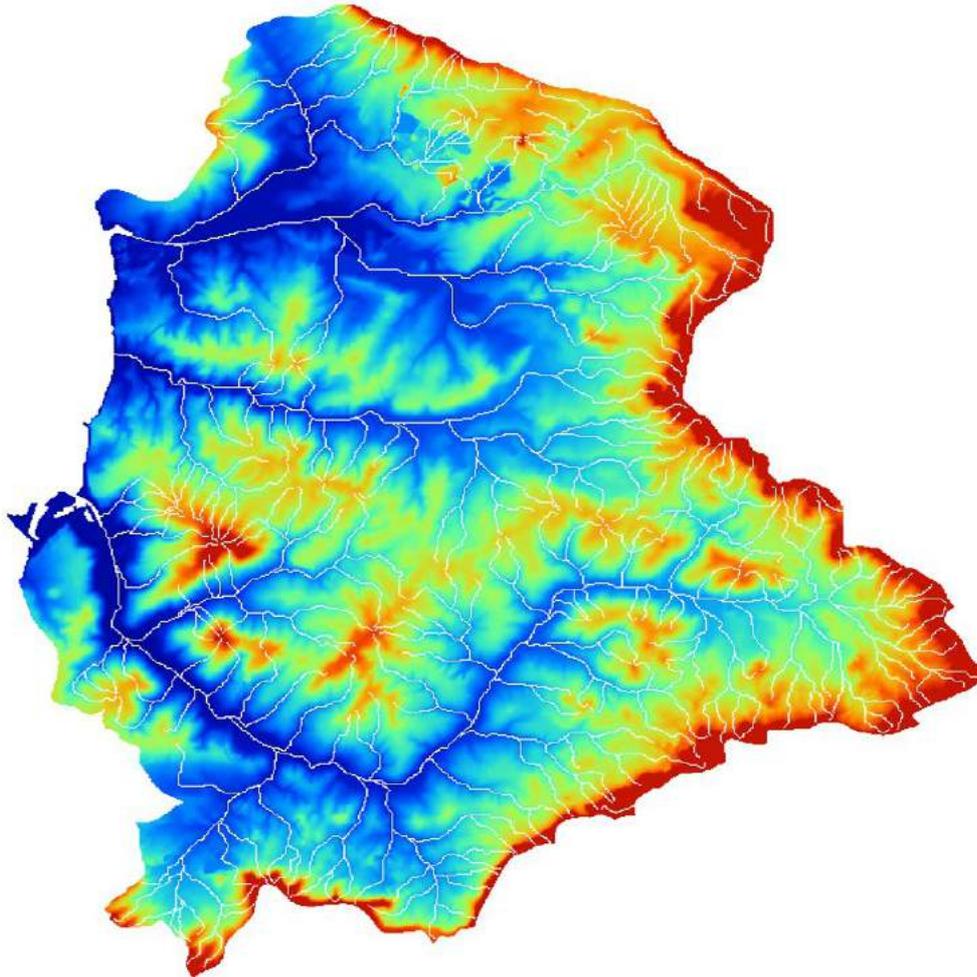


Figure 57- Réseau hydrographique fin obtenu sous SAGA GIS

5.5.2.4 Découpage automatique des sous-bassins versants

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

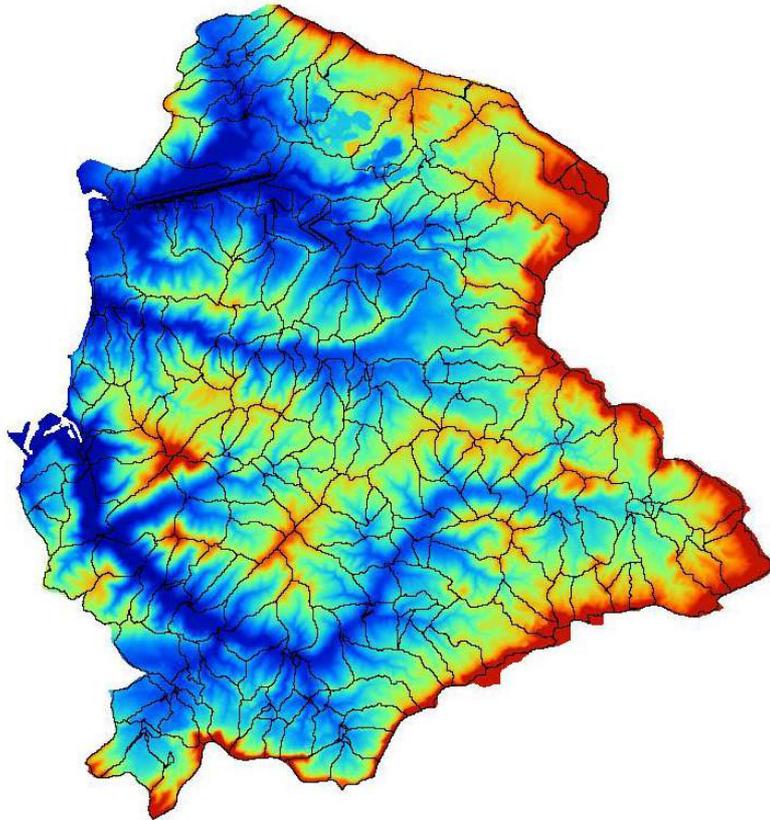


Figure 58- Découpage topographique des sous bassins versants par SAGA GIS

5.5.2.5 Correction manuelle du découpage

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

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

5.5.2.6 Découpage final en sous bassins versants d'apports

Au final, le bassin versant de la Liane est découpé en 159 sous-bassins versants, celui du Wimereux en 69 et celui de la Slack en 64, représentés ci-après.

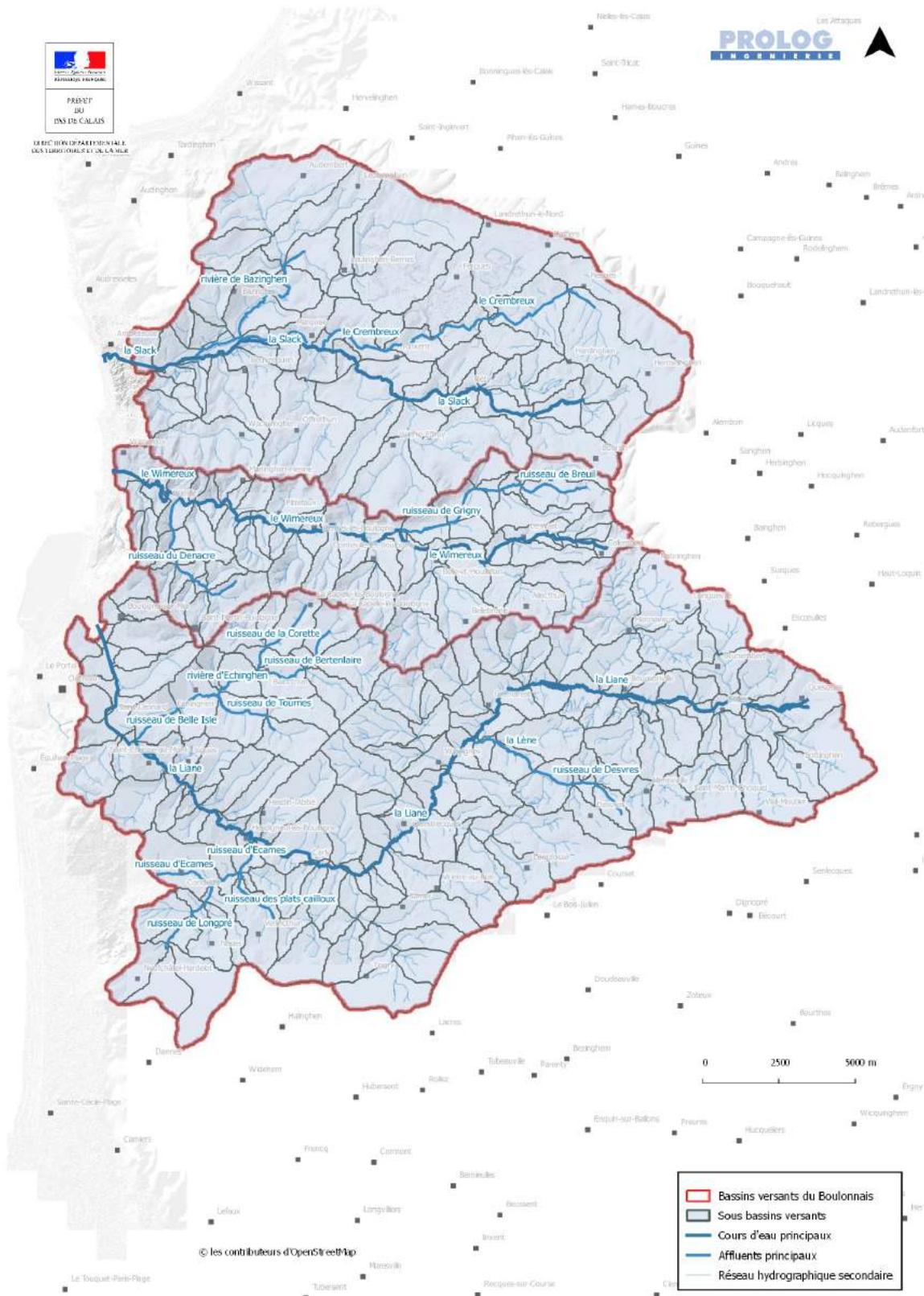


Figure 59 - Découpage en sous-bassins des bassins versants de la Liane, du Wimereux et de la Slack

5.5.3 Caractéristiques physiques des sous-bassins versants

En termes de **superficies**, les sous-bassins versants du Boulonnais s'échelonnent entre :

- 10 ha et 100 ha pour le bassin versant de la Liane avec une valeur moyenne de 40 ha soit 0.2% de la surface totale du bassin versant ;
- 20 ha et 360 ha pour le bassin versant du Wimereux avec une valeur moyenne de 110 ha soit 1.4% de la surface totale du bassin versant ;
- 25 ha et 850 ha pour le bassin versant de la Slack avec une valeur moyenne de 240 ha soit 1.5% de la surface totale du bassin versant.

Leurs **longueurs hydrauliques**, c'est à dire la distance maximale parcourue par une goutte d'eau depuis son point de chute jusqu'à l'exutoire, sont comprises entre :

- 0.2 km et 5.3 km pour le bassin versant de la Liane (pour rappel, la longueur totale du bassin versant depuis l'amont jusqu'à l'estuaire est de l'ordre de 40 km) ;
- 0.2 km et 3.4 km pour le bassin versant du Wimereux (pour rappel, la longueur totale du bassin versant depuis l'amont jusqu'à l'estuaire est de l'ordre de 20 km);
- 0.3 km et 5.7 km pour le bassin versant de la Slack (pour rappel, la longueur totale du bassin versant depuis l'amont jusqu'à l'estuaire est de l'ordre de 20 km).

La topographie des bassins versants du Boulonnais est caractérisée par une forte déclivité, de l'ordre de 3-4% en moyenne. Les **pentés moyennes** des sous-bassins versants sont plus marquées sur la Liane et le Wimereux, comme le montre la figure suivante.

Le **temps de concentration** de ces sous-bassins versants est également un paramètre essentiel qui va déterminer la durée au bout de laquelle on considérera que toute la surface du sous-bassin contribue au débit de pointe observé à son exutoire. Le choix de la période intense des pluies de projet qui seront simulées dans le modèle hydraulique par la suite se basera notamment sur ce critère de temps de concentration afin de retenir une pluie à même de mettre à contribution tout le bassin versant.

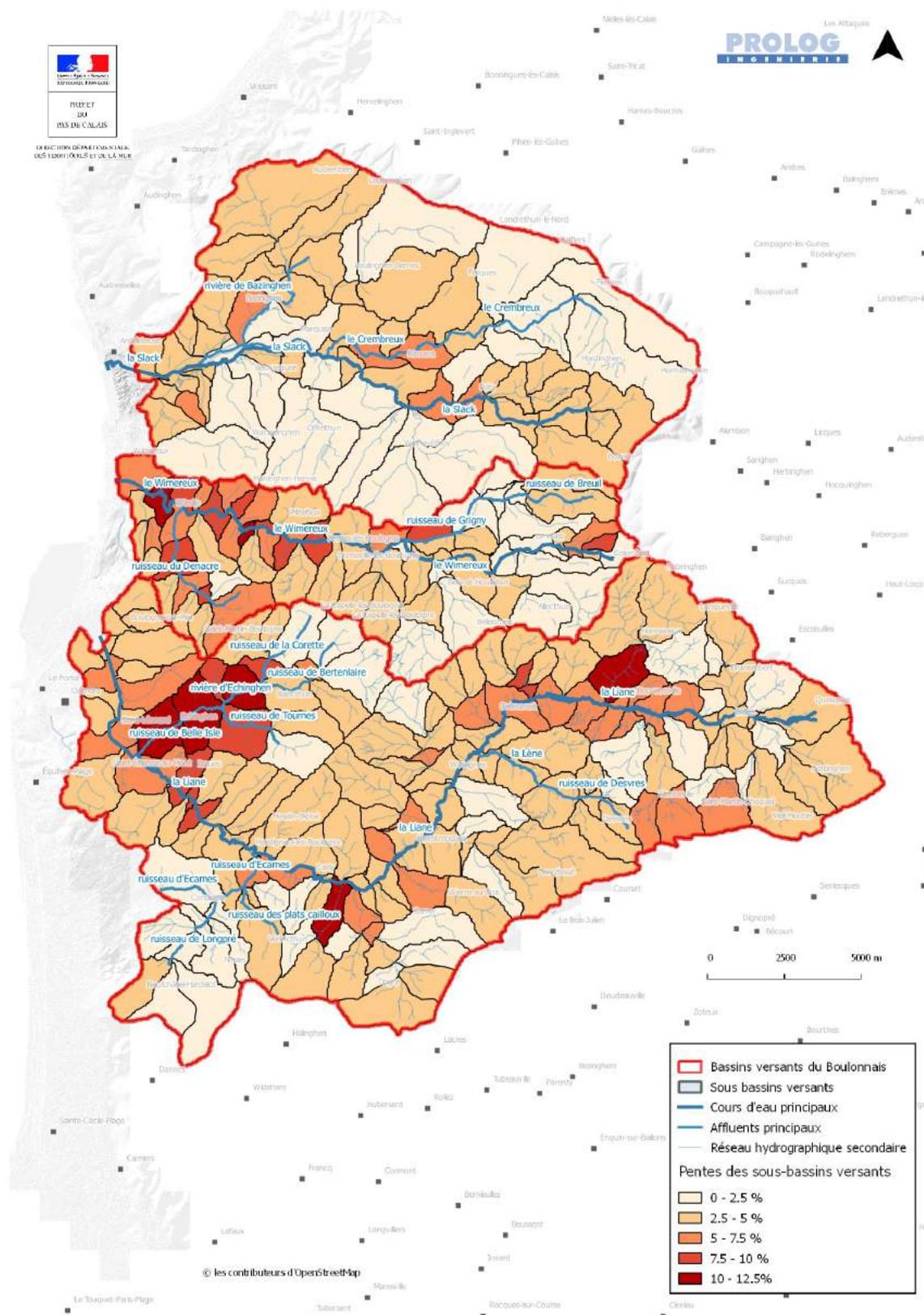


Figure 60 - Pentes moyennes des sous-bassins des bassins versants de la Lièvre, du Wimereux et de la Slack

5.5.4 Mise en œuvre de la méthode pluie-débit

5.5.4.1 Les principes théoriques de l'approche

La modélisation hydrologique de type pluie-débit permet de passer d'un hyétogramme, représentant la pluie tombant sur un bassin versant, à un hydrogramme, représentant le débit restitué par ce bassin versant.

Rappelons qu'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 au ruissellement ;
- 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...

5.5.4.2 Choix de la fonction de production

Les bassins versants du Boulonnais sont caractérisés par une occupation des sols majoritairement rurale, avec une urbanisation concentrée à l'aval pour la Liane (zone urbaine de Boulogne-sur-Mer) et le Wimereux (Wimille-Wimereux) et dans la partie médiane pour la Slack (Marquise-Rinxent). Aussi, deux fonctions de productions seront employées en fonction du type rural ou urbain des sous-bassins versants :

- Fonction du modèle NRCS (National Resources Conservation Service, ex-Soil Conservation Service) particulièrement adaptée aux bassins versants ruraux ;
- Fonction de production à coefficient de ruissellement constant (modèle « fixed » du logiciel Infoworks CM) adaptée aux bassins-versants urbains.

Bassins versants ruraux

La fonction de production du NRCS (*National Resources Conservation Service des Etats-Unis d'Amérique, ex-Soil Conservation Service*) permet de rendre compte des pertes au ruissellement et est normalement particulièrement adaptée aux surfaces rurales peu imperméabilisées.

Les surfaces considérées sont caractérisées par un paramètre CN (Curve Number) qui est utilisé pour représenter la capacité maximale d'infiltration du sol, et qui est fonction de plusieurs facteurs que sont la perméabilité du sol, l'occupation du sol et les conditions antécédentes d'humidité (pluviométrie sur les 5 jours précédents).

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.

Pour chaque combinaison des paramètres pré-cités, les CN sont évalués à partir de l'occupation des sols et de tableaux de valeurs standards (voir annexe 3).

La pluie nette est alors calculée de la façon suivante :

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

Où :

- P_{brute} et P_{nette} sont exprimés en mm ;
- I_a représente les pertes initiales (mm) et correspond à la quantité d'eau qui s'infiltré dans le sol avant le début du ruissellement :

$$I_a = k \times S \text{ avec } k=0,2 ;$$

- S est le paramètre de rétention (mm), calculé à partir du Curve Number : il représente la quantité maximale de pluie absorbée par le sol au cours de l'événement pluvieux :

$$S = 25,4 \times \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right).$$

Les CN sont estimés sur chaque sous-bassin versant en fonction de la répartition des différents types de sols, et sont ajustés sur chaque scénario de crue en fonction des antécédents pluvieux. Les CN constituent l'un des paramètres de calage du modèle hydrologique.

Bassins versants urbains

Pour les secteurs urbains, le modèle hydrologique utilisé est à coefficient de ruissellement constant C_r égal à $C_p \times IMP$ où IMP est le coefficient d'imperméabilisation du sous-bassin versant considéré et C_p le coefficient de production.

Le coefficient de production C_p 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 dépendantes de la pente du sous-bassin versant selon les critères suivants :

- Bassins versants de pente inférieure à 1,5% : 2 mm ;
- Bassins versants de pente comprise entre 1,5% et 3%: 1 mm ;
- Bassins versants de pente supérieure à 3% : 0,5 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 et de la grille de correspondance suivante. Ce coefficient est un des paramètres de calage du modèle hydrologique.

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

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

Tableau 36 - Coefficients d'imperméabilisation retenus pour différents types de surface au sein des bassins versants du Boulonnais

5.5.4.3 Choix de la fonction de transfert

Bassins versants ruraux

La fonction de transfert associée à la fonction de production du NRCS est l'hydrogramme unitaire. Ce modèle repose sur le principe de linéarité de la transformation pluie-débit.

On applique au bassin versant étudié des averses unitaires, c'est-à-dire des pluies d'une durée inférieure au temps de concentration T_c du bassin. L'averse unitaire est choisie de telle sorte qu'elle engendre un volume ruisselé considéré comme volume unitaire, par exemple 1 mm d'eau sur toute la surface du bassin. L'hydrogramme résultant d'une averse unitaire est appelé hydrogramme unitaire.

En appliquant l'hypothèse de linéarité, il est alors aisé de calculer les débits engendrés par différentes averses :

- une averse plus longue que l'averse unitaire est considérée comme une succession d'averses unitaires dont les débits, décalés dans le temps, s'ajoutent ;
- une averse d'intensité différente de celle de l'averse unitaire engendre un hydrogramme dont le rapport à l'hydrogramme unitaire est identique à celui des intensités des pluies.

Les hydrogrammes résultant d'une pluie complexe sont ainsi construits par juxtaposition d'hydrogrammes unitaires, comme l'illustre la figure suivante.

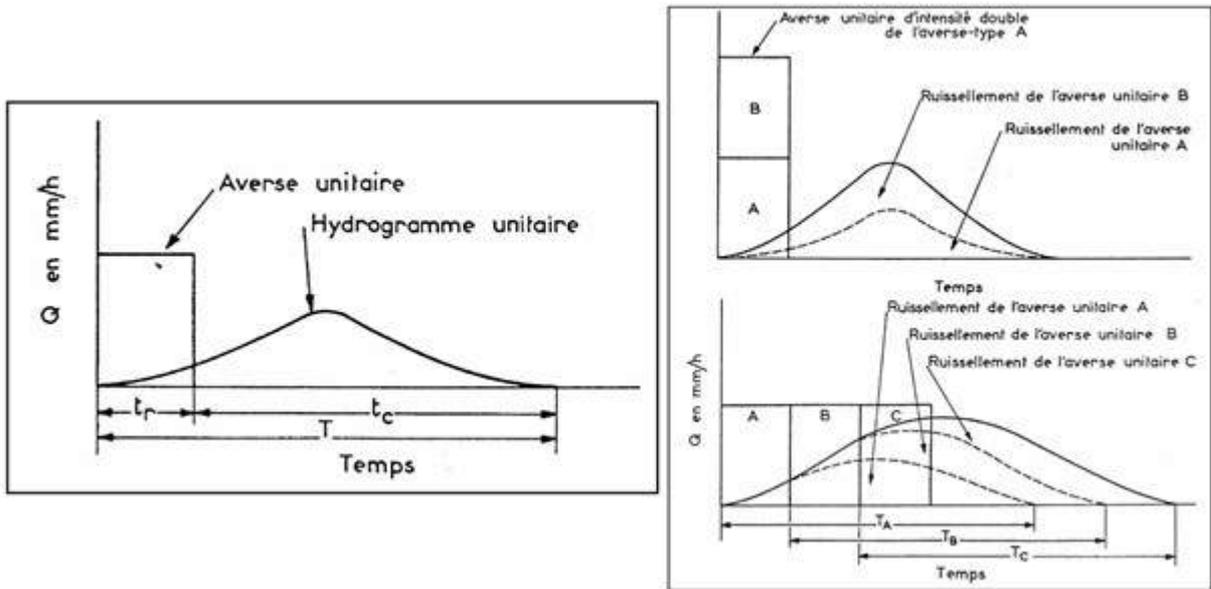


Figure 61 - Principe de juxtaposition des hydrogrammes unitaires pour une averse non unitaire (extrait de Réméniéras, 1972)

L'hydrogramme unitaire est caractérisé au sein du logiciel ICM par :

- le temps de montée au pic **Tp** ;
- le temps de base de l'hydrogramme **Tb** ;
- le débit de pointe **Qmax**.

Ces caractéristiques sont représentées dans la figure suivante.

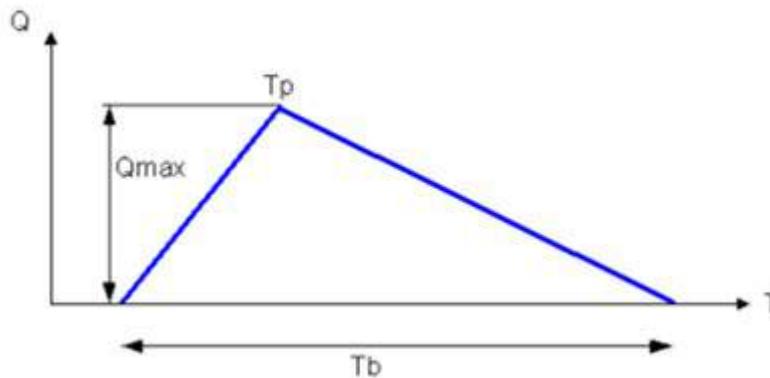


Figure 62 - Caractéristiques de l'hydrogramme unitaire

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

$$Q_{\max} = 2/T_b$$

Où

$$T_b = 2,67 \times T_p$$

Et

$$T_p = f_{ts} + f_{tp} \times T_c$$

Avec :

- **T_c** : temps de concentration du sous-bassin ;
- **f_{ts}** : le facteur pas de temps;
- **f_{tp}** : le facteur de montée au pic.

Ces trois caractéristiques de l'hydrogramme unitaire dépendent donc, par le biais du temps de concentration T_c, des caractéristiques géométriques des bassins versants. 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 :

$$T_c = \frac{1}{0,8} \times 2,7 \times \left(\frac{L}{\sqrt{p}} \right)^{0,221}$$

Avec :

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

Cette formulation donne des valeurs de temps de concentration plus importantes que les formulations classiques (Turazza, Giandotti, Passini, Ventura) couramment employées pour des bassins versants de type semi-ruraux.

Les paramètres de calage sont donc les facteurs **f_{ts}** et **f_{tp}**.

Bassins versants urbains

La fonction de transfert utilisée classiquement 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):

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

Où :

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

6 - Volet Hydraulique : du débit au niveau

Pour rappel, le marché, compte tenu des délais de réalisation relativement courts, ne comprenait pas au départ de phases d'acquisition de données complémentaires. Une phase de collecte de données a donc été réalisée, de la façon la plus exhaustive possible, afin de disposer d'un maximum d'éléments pour la construction des modèles hydrauliques.

Cependant, après la collecte des données disponibles, il a été constaté l'absence de données topographiques sur la Liane amont et sur la Slack amont, sur des linéaires de cours d'eau relativement importants (voir tableau n°s 27 et 28). Une campagne topographique complémentaire a donc été engagée par les services de la DDTM62 sur ces secteurs pour mieux représenter les écoulements. Les données ont été acquises entre la fin d'année 2014 et le début d'année 2015.

Nous rappelons ici que le présent marché intègre la modélisation hydraulique des cours d'eau Liane et Wimereux. La modélisation hydraulique de la Slack est prévue dans l'étude du SYMSAGEB, actuellement en cours également, et qui s'appuiera en revanche sur les bases hydrologiques déterminées dans le cadre de la présente phase n°1.

6.1 Présentation des données utilisées

Les données nécessaires à l'analyse du comportement hydraulique des cours d'eau sont de plusieurs ordres :

- des données bathymétriques et topographiques, collectées auprès de la DDTM62, de la DREAL Nord-Pas-de-Calais, de l'IGN et du SYMSAGEB, sur les bassins versants du Boulonnais, et les lits mineurs et majeurs de la Liane, du Wimereux et de la Slack ;
- des données d'ouvrages collectées auprès du SYMSAGEB, du Conseil Général du Pas-de-Calais et du Parc Naturel Régional des Caps et Marais d'Opale ;
- des données limnimétriques, collectées auprès du SYMSAGEB et issues de la banque HYDRO du Ministère de l'Écologie et du Développement Durable, sur les stations sur la Liane, le Wimereux et la Slack ;
- les observations du marégraphe de Boulogne-sur-Mer, propriétaires du SHOM, de la région Nord-Pas de Calais et du port de Boulogne-sur-Mer et mises à disposition sur le site des Réseaux de référence des observations marégraphiques (REFMAR ®) ;
- des photographies de crues prises à l'occasion des événements majeurs, collectées auprès de la DDTM62, de la DREAL Nord-Pas-de-Calais et du SYMSAGEB.

6.1.1 Données topographiques

6.1.1.1 Bassins versants et lits majeurs

Les données topographiques disponibles sont :

- le MNT RGE de la BD ALTI de l'IGN (mailles de 25 m avec une précision d'environ 50 cm) ;
- les courbes de niveau à pas de 5 m de la BD ALTI de l'IGN ;

- les levés LIDAR du 29 mars 2014 réalisés par AERODATA (mailles d'un mètre avec une précision inférieure à 10 cm).

A noter que **la précision des MNT est variable notamment dans les zones en présence de végétation** (forêts, cultures...). Le LIDAR du Boulonnais a été réalisé en plusieurs phases. Le LIDAR du bassin versant de la Liane fut le premier disponible, suivi des bassins versants du Wimereux et de la Slack.

6.1.1.2 Lits mineurs des cours d'eau

Les levés géomètres réalisés dans le cadre des PPRi de la Liane et du Wimereux ont été mis à disposition.

Pour la Liane, 126 profils en travers ont été extraits du modèle CARIMA, mis en place par SOGREAH dans le cadre de l'élaboration du PPRi. Ils s'étendent de Wirwignes à la mer et datent de 1995, 2003 ou 2008 suivant les secteurs (voir tableau ci-dessous et carte ci-après).

Des levés complémentaires (97 profils) ont été également réalisés suite aux lacunes constatées et évoquées précédemment. Ils concernent la Liane, de Quesques à Wirwignes. Ils figurent dans un atlas cartographique en annexe 1.

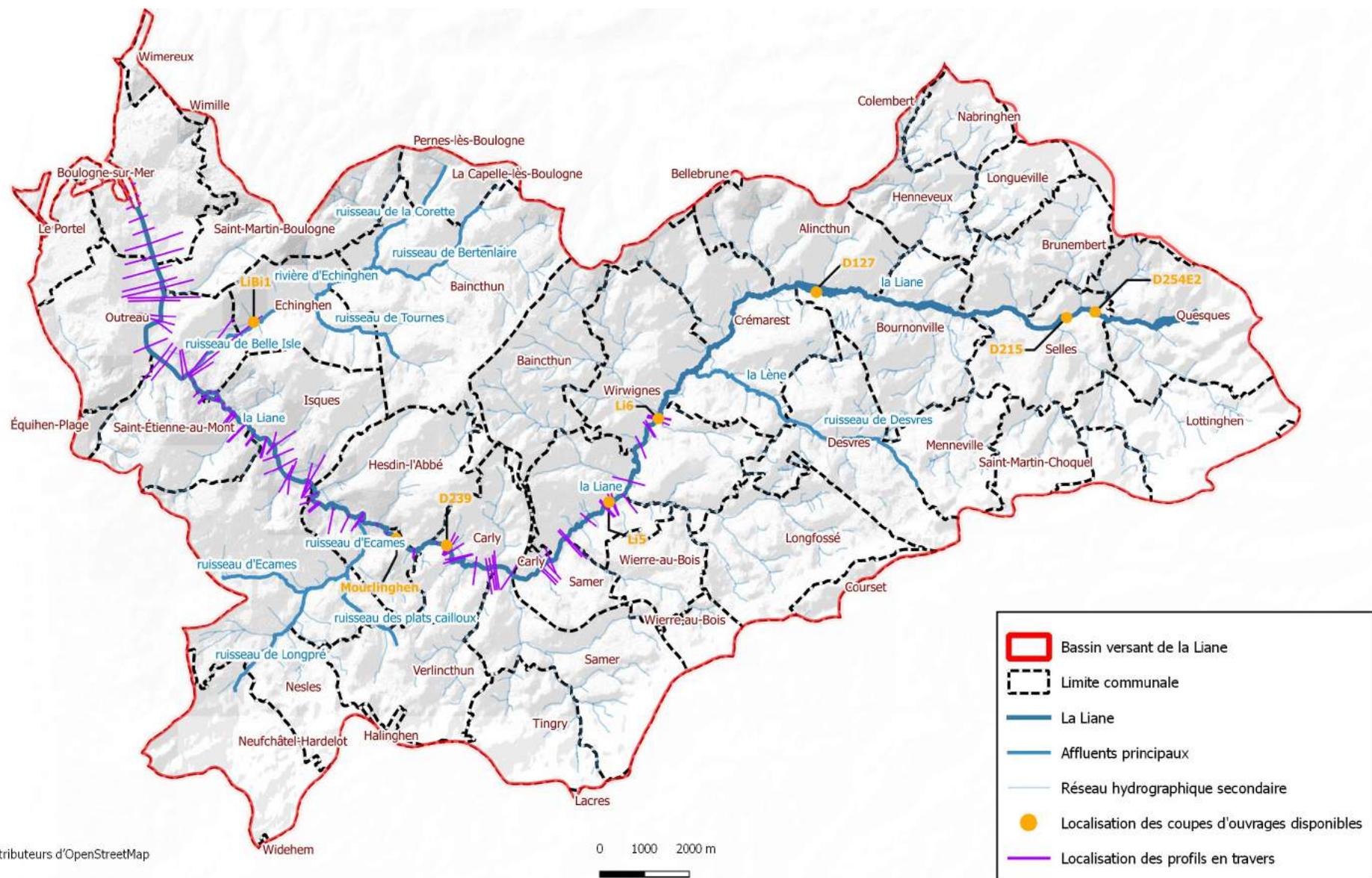
SECTEUR		Linéaire	Année des levés
DEBUT	FIN	km	
Quesques (source)	Amont pont RD341 Wirwignes	17.5	2014 (en cours)
Amont pont RD341 à Wirwignes	Confluence ruisseau d'Isques	11.5	1995
Confluence ruisseau d'Isques	Difffluence Pont-de-Briques	1.7	2003 et 1995 corrigé
Difffluence Pont-de-Briques	Confluence Pont-de-Briques	0.8 (deux bras)	2008
Confluence Pont-de-Briques	Pont RD901E3 (RN142) à Saint-Léonard	2.5	2003 et 1995 corrigé
Pont RD901E3 (RN142) à Saint-Léonard	Mer	2.8	1995

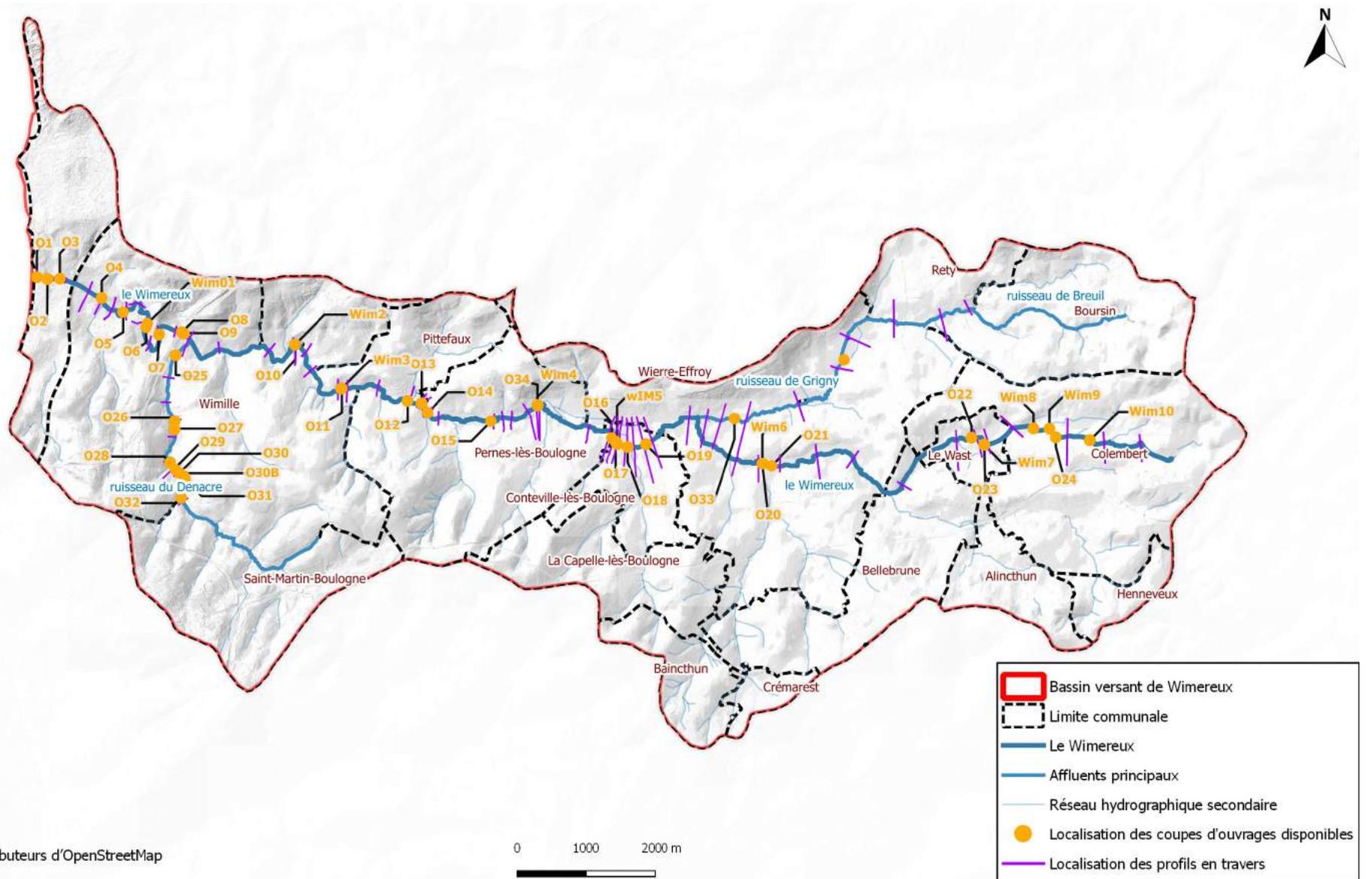
Tableau 37 - Bilan des profils en travers de la Liane

Pour le Wimereux, 76 profils au format Autocad sont disponibles, de Colembert (source) jusqu'à la mer, et datent de 2010 (voir carte ci-après).

Pour la Slack, nous avons récupéré, auprès du SYMSAGEB, un plan topographique du canal Napoléon, suite aux travaux de 2009, et 61 profils, datant de 2010, de la basse vallée de la Slack (entre Marquise et le bourg de Slack), sur la Slack, le Bazinghen et la Fausse Rivière.

Des levés complémentaires ont également été réalisés (15 profils). Ils concernent la Slack, de Hardinghen à Marquise, et le Crembreux dans la traversée de Marquise. Ils figurent dans un atlas cartographique en annexe 2.





© les contributeurs d'OpenStreetMap

Figure 64 - Localisation des profils en travers et coupes d'ouvrages disponibles sur le Wimereux

SECTEUR		Linéaire	Année des levés
DEBUT	FIN	km	
Hardinghen (source)	Amont Pont Pierré à Marquise	12	2014 (en cours)
Amont Pont Pierré à Marquise	Pont de la Slack RD237 à Slack	6.1	2010
Pont de la Slack RD237 à Slack	Écluse Marmin	1	2009

Tableau 38 - Bilan des profils en travers de la Slack

6.1.2 Données d'ouvrages

6.1.2.1 Les ouvrages hydrauliques

Des plans topographiques sur les principaux ouvrages hydrauliques nous ont été transmis et se répartissent de la manière suivante sur les trois cours d'eau :

- **la Liane** : le SYMSAGÉB a fourni 36 plans concernant la Liane et ses affluents ;
- **le Wimereux** : le SYMSAGÉB a fourni 16 plans d'ouvrages hydrauliques concernant le Wimereux et ses affluents (10 concernent le linéaire du Wimereux modélisé) auxquels s'ajoutent 32 plans topographiques issus de l'étude PPRi ;
- **La Slack** : le SYMSAGÉB a fourni 25 plans concernant la Slack et ses affluents.

Un plan topographique, datant d'août 2012, du barrage Marguet à l'aval de la Liane, au niveau de Boulogne-sur-Mer, a été fourni par le Conseil Régional du Pas-de-Calais.

Le Parc Naturel Régional des Caps et Marais d'Opale nous a fourni un levé de l'écluse Marmin, datant de 2014, à l'aval de la Slack.

6.1.2.2 Les ouvrages de franchissement

La majorité des levés topographiques d'ouvrage de franchissement concernent le Wimereux (29 plans sont issus de l'étude PPR et un a été fourni par le Conseil Général du Pas-de-Calais). Seuls 4 levés topographiques de ponts ont été fournis par le Conseil Général pour la Liane.

Les ouvrages du modèle CARIMA de la Liane ont été extraits. Ils concernent le linéaire compris entre Wirwignes et la mer.

Des levés d'ouvrages complémentaires ont également été réalisés. Ils concernent la Liane, de Quesques à Wirwignes, et la Slack, de Colembert à Marquise.

6.1.3 Données limnimétriques

Le SYMSAGEB a fourni les mesures de hauteur d'eau disponibles au niveau de leurs stations situées sur la Liane et la Slack, et ses affluents :

- Echinghen (Ruisseau d'Echinghen) ;
- Hesdigneul-lès-Boulogne (Ruisseau d'Écames) ;
- Hesdin-l'Abbé, Pont-de-Briques et Samer (Liane) ;
- Bassin d'Hermite ;
- Pont Pierré et pont de la Slack (Slack) ;
- Otove et Rouge-Berne (Bazinghen).

Les chroniques de mesures disponibles sont données dans le tableau ci-dessous. Pour chacune d'entre-elles demeurent cependant des périodes pour lesquelles les mesures sont indisponibles.

STATIONS DE MESURES	Début des données	Fin des données
Echinghen	16/10/2006	06/12/2010
Hesdigneul	08/10/2004	22/03/2011
Hesdin-l'Abbé	16/10/2006	11/01/2011
Pont de Briques	22/11/2006	01/08/2007
Samer	24/10/2006	12/03/2011
Hermite	11/10/2011	30/06/2014
Pont Pierré	20/05/2009	22/07/2014
Pont de la Slack	20/05/2009	14/08/2009
	18/07/2010	18/08/2010
Rouge-Berne	28/05/2009	22/07/2014
Otove	23/07/2009	22/07/2014

Tableau 39 - Bilan des données limnimétriques du SYMSAGEB

NB : Les stations de la Slack comportent de nombreuses lacunes, en particulier durant les crues de novembre 2009 et novembre 2012.

Comme pour les débits, les hauteurs d'eau des stations hydrométriques, gérées par la DREAL Nord-Pas-de-Calais et implantées sur les trois cours d'eau concernés, ont été extraites de la banque HYDRO du Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie.

6.1.4 Photographies de crues

De nombreuses photographies prises lors de crues de la Liane, du Wimereux et de la Slack ont été fournies. Ces dernières constituent des éléments importants pour le calage des modèles hydrauliques, tout en restant conscient que l'heure de prise de vue ne correspond généralement pas au pic de la crue.

Dans le cadre du PPRi de la Liane, nous disposons de photos des crues de décembre 2008 et novembre 2009. Concernant le Wimereux, des photos sont disponibles pour les crues de décembre 2000, mars 2007, novembre 2009 et novembre 2012.

Des photographies aériennes de la crue de la Slack de novembre 2009 sont également disponibles.

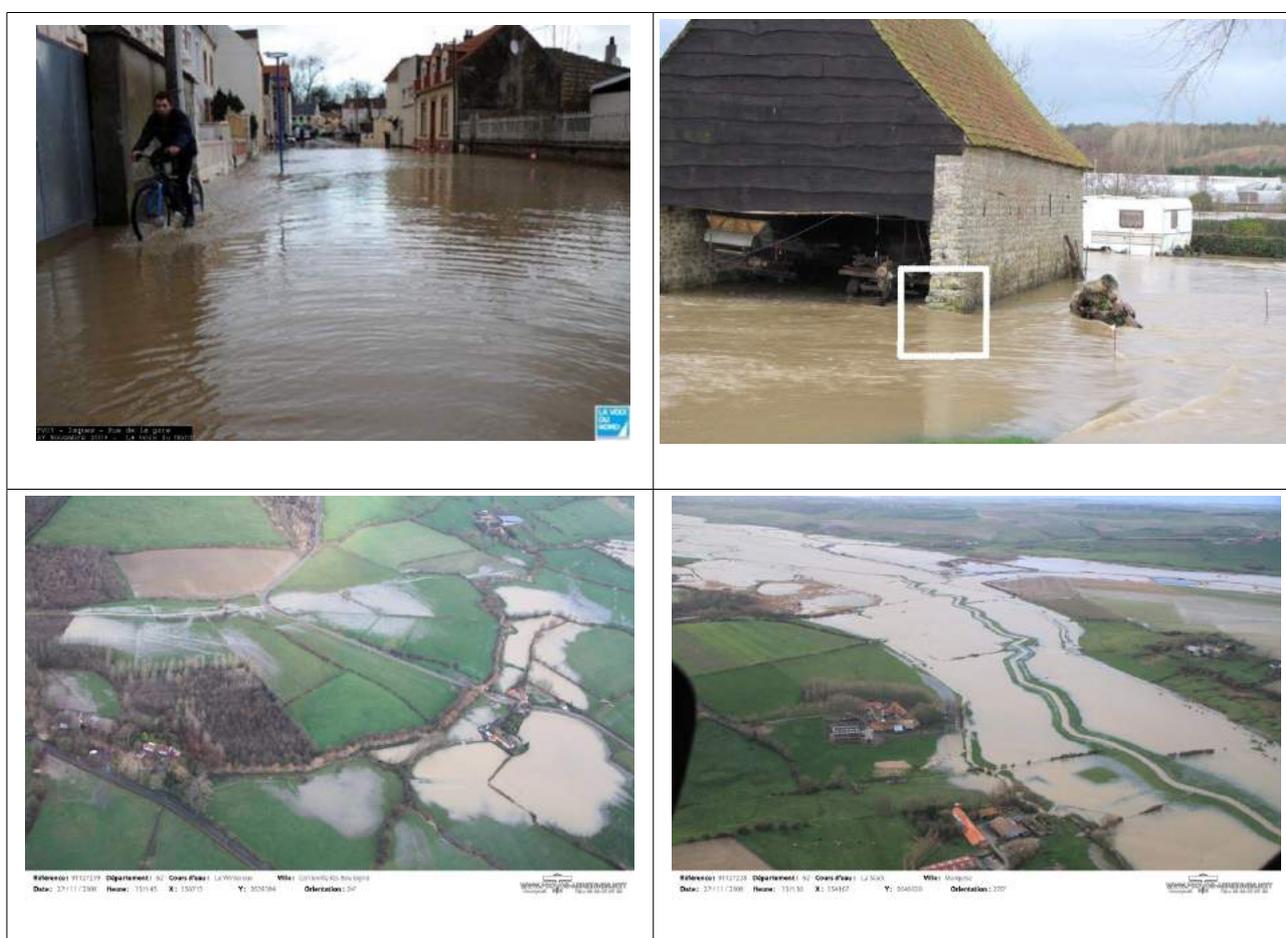


Tableau 40 - Exemples de photographies prises lors des crues de novembre 2009 de la Liane à Isques (en haut à gauche) et à Hesdin-l'Abbé (en haut à droite), du Wimereux à Conteville-lès-Boulogne (en bas à gauche) et de la Slack à Marquise (en bas à droite)

6.2 Méthodes utilisées pour la modélisation hydraulique

Du point de vue de la modélisation hydraulique, utilisée pour rappel afin d'évaluer les niveaux d'eau et de cartographier les zones inondées pour différents scénarios de crue, nous rappelons ici que le présent marché intègre la modélisation hydraulique des cours d'eau Liane et Wimereux. La modélisation hydraulique de la Slack est quant à elle prévue dans l'étude du SYMSAGEB, actuellement en cours également, et qui s'appuiera en revanche sur les bases hydrologiques déterminées dans le cadre de la présente étude.

Rappelons également que des données topographiques complémentaires ont été acquises sur le cours amont de la Liane (amont Wimille) et sur la Slack, afin que les modèles mis en œuvre puissent couvrir l'intégralité des cours d'eau.

6.2.1 Généralités

La problématique du point de vue de la modélisation peut se poser en ces termes :

- le modèle mis en œuvre doit reproduire de manière fiable le fonctionnement hydraulique du secteur d'étude, que ce soit dans la restitution correcte du fonctionnement hydraulique global (combinaison des contributions des différentes zones d'apport) ou des conditions locales d'écoulement (reproduction des emprises inondées, des niveaux observés, etc...) ;
- la caractérisation des aléas inondation nécessite une représentation homogène des écoulements à l'échelle des cours d'eau considérés, pour garantir la cohérence des emprises inondées pour une même crue d'amont en aval.

L'approche retenue au regard des données mises à notre disposition, se base sur une modélisation dite couplée 1D/2D, qui est la plus adaptée compte tenu des contraintes évoquées :

- **le lit mineur des cours d'eau est représenté 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 du 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 moment. Aussi, la résolution de ces équations prend en compte la section mouillée, ainsi que la pente des biefs et la rugosité du fond du lit.

Ces hypothèses simplificatrices sont admissibles dans le lit mineur des cours d'eau et permettent de couvrir des linéaires importants en conservant des temps de calcul 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 ;

- **le lit majeur des cours d'eau est quant à lui représenté par un schéma dit bidimensionnel**, où il n'est fait aucune hypothèse concernant les directions prises par les écoulements, ou encore les phénomènes d'inondation prédominants, à l'inverse des approches unidimensionnelles de modélisation des inondations. 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 est dès lors bi-dimensionnel (selon les direction x et y) des écoulements ;

- **l'ensemble des ouvrages (fixes, mobiles) ou d'obstacles** venant perturber les écoulements, que ce soit en lit mineur ou en lit majeur, peuvent être intégrés à la modélisation. Leur impact sur les écoulements étant calculé sur la base d'équations théoriques ou empiriques (lois de seuil, lois d'orifice, ...) ;
- **la connexion entre ces espaces 1D et 2D** se produit principalement au droit des hauts de berge, point de transition naturel entre ces deux fonctionnements distincts, les écoulements en lit mineur d'une part, et la propagation des eaux débordées en lit majeur d'autre part. Cette connexion s'effectue à chaque pas de temps de calcul, et est représentée par une loi de surverse prenant en compte la cote des hauts de berge comme niveau de débordement.

Cette modélisation a été réalisée en régime transitoire, à l'aide du logiciel ICM², développé par la société INNOVYZE.

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 autres dimensions (x et y) des écoulements.
2 Integrated Catchment Modelling : Modélisation Intégrée des Bassins Versants

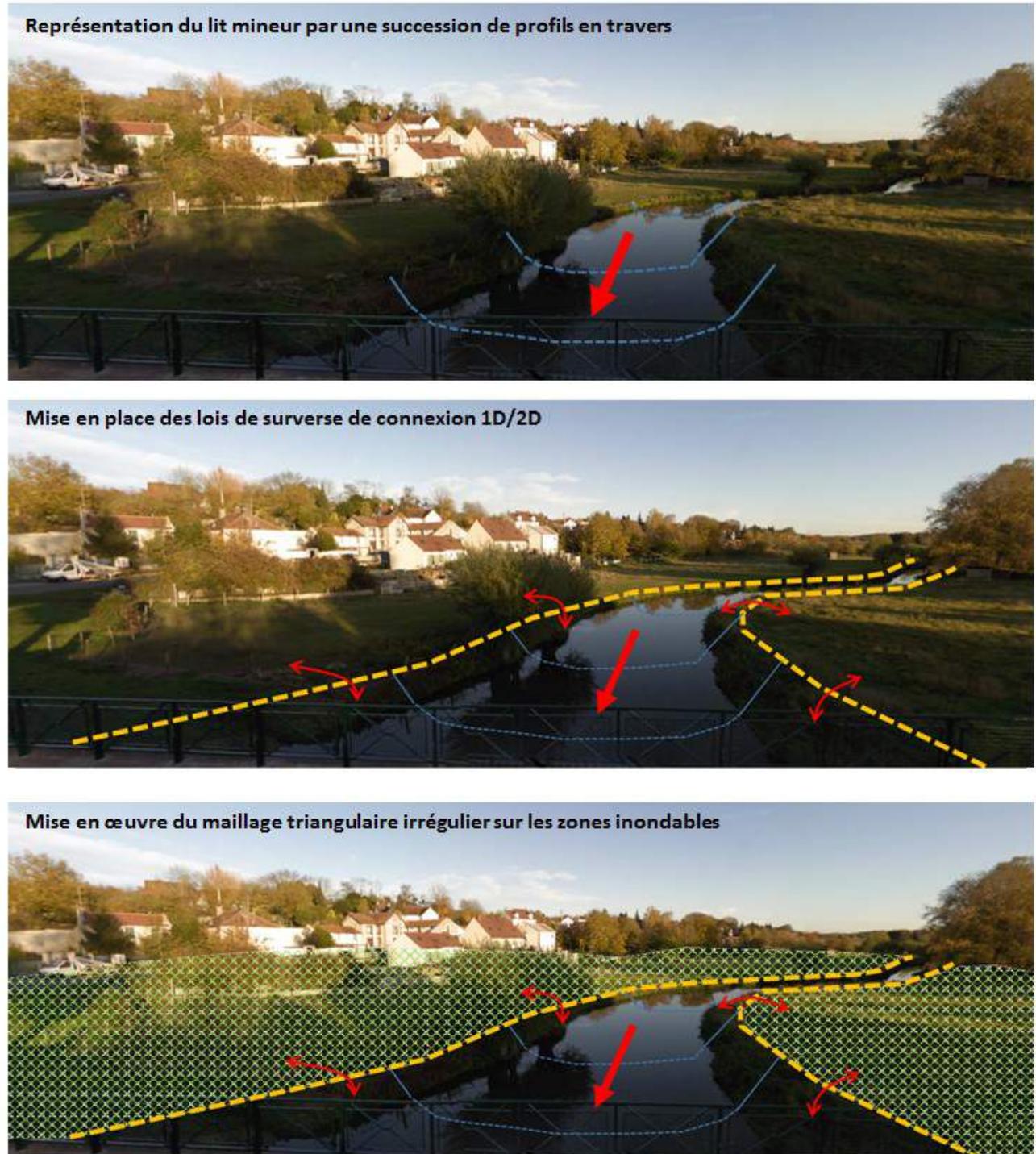


Figure 65 : Principe de construction du modèle hydraulique 1D/2D

6.2.2 Construction du modèle hydraulique

6.2.2.1 *Élaboration du Modèle Numérique de Terrain*

L'élaboration du Modèle Numérique de Terrain (MNT) est une étape préliminaire indispensable à la construction du modèle hydraulique, puisqu'il sera exploité :

- dans la mise en œuvre du modèle hydraulique pour la définition des cotes de surverse des hauts de berges et de l'altimétrie des mailles de calcul ;
- dans la cartographie des niveaux de submersion, une fois les calculs effectués.

Les données brutes (pas d'espace de 1 m) LIDAR étant lourdes à utiliser, un MNT a été créé au pas d'espace de 2 m à partir de ces données. Cette précision est suffisante pour la modélisation envisagée. Les données brutes pourront cependant servir à la modélisation plus fine des obstacles dans le lit majeur (remblais routiers par exemple, voir paragraphe 6.2.2.3).

6.2.2.2 *Modélisation des écoulements en lit mineur*

Modélisation des biefs de rivières

Les biefs de rivière sont construits à partir des profils en travers présentés au sein du paragraphe 6.1.1.2. Ces biefs couvrent le lit mineur des cours d'eau, jusqu'aux points de surverse vers le lit majeur.

Les cours d'eau modélisés sont :

- le Wimereux depuis la commune de Colembert jusqu'à la Manche, soit sur un linéaire de 21 km ;
- la Liane depuis la commune de Quesques jusqu'à la Manche, soit sur un linéaire de 36 km.

Même si la modélisation hydraulique de la Slack n'est pas prévue, quelques profils en travers ont été intégrés pour assurer la propagation des débits et la validation du calage à la station de Rinxent, seul point de mesure hydrométrique du bassin versant.

Modélisation des ouvrages en lit mineur

De nombreux ouvrages ponctuent le cours du Wimereux, de la Slack ainsi que de la Liane. Ceux-ci doivent être caractérisés par des levés précis afin de pouvoir les modéliser de manière synthétique mais représentative des perturbations hydraulique qu'ils engendrent. Les ouvrages relatifs à chaque bassin versant sont décrits dans le paragraphe 6.1.2.

Ces ouvrages sont construits sur la base de données d'origines diverses (coupes géomètres, carnets d'ouvrage, plans ...). Ces informations ont ensuite été consolidées sur la base de visites de terrain, permettant de mieux appréhender le fonctionnement de l'ouvrage, son impact sur l'écoulement ainsi que sur la ligne d'eau.

6.2.2.3 *Modélisation des débordements en lit majeur*

A l'exception des secteurs sans enjeux où le lit majeur est peu étendu, tous les écoulements en zone inondable sont représentés par une modélisation bidimensionnelle, basée sur un maillage de calcul bidimensionnel. Chaque maille est un élément de calcul qui représente la topographie, et prend en compte la rugosité du sol.

Les différentes données d'entrée, nécessaires à la construction du maillage, sont les suivantes :

- **la topographie**, qui caractérise le relief, les pentes et obstacles du modèle ;
- **l'occupation des sols**, qui permet de définir leur rugosité ;
- **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, leurs dimensions optimales, 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 permette de représenter les phénomènes étudiés, 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 calcul³ (i.e. l'intervalle entre deux calculs) minimal. Plus ce pas de temps est petit, plus le nombre de calcul sera élevé, et plus le temps de calcul global sera élevé.

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

Prise en compte de la topographie

La donnée de base du maillage de calcul est la topographie. Chaque maille de calcul générée récupère l'altitude des ses trois sommets à partir du MNT, pour déterminer une cote moyenne assignée à la maille. C'est la différence d'altitude entre les mailles qui dirigera les écoulements calculés par le modèle.

Afin d'optimiser le nombre de mailles, le tracé de celles-ci suit les variations de la topographie. Ainsi, dans les zones plates, sans obstacles, les mailles seront élargies puisqu'une grande maille suffira à représenter les phénomènes. A l'inverse, dans les zones où la topographie varie, les mailles se resserrent selon un critère de différence d'altitude entre deux mailles contiguës.

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

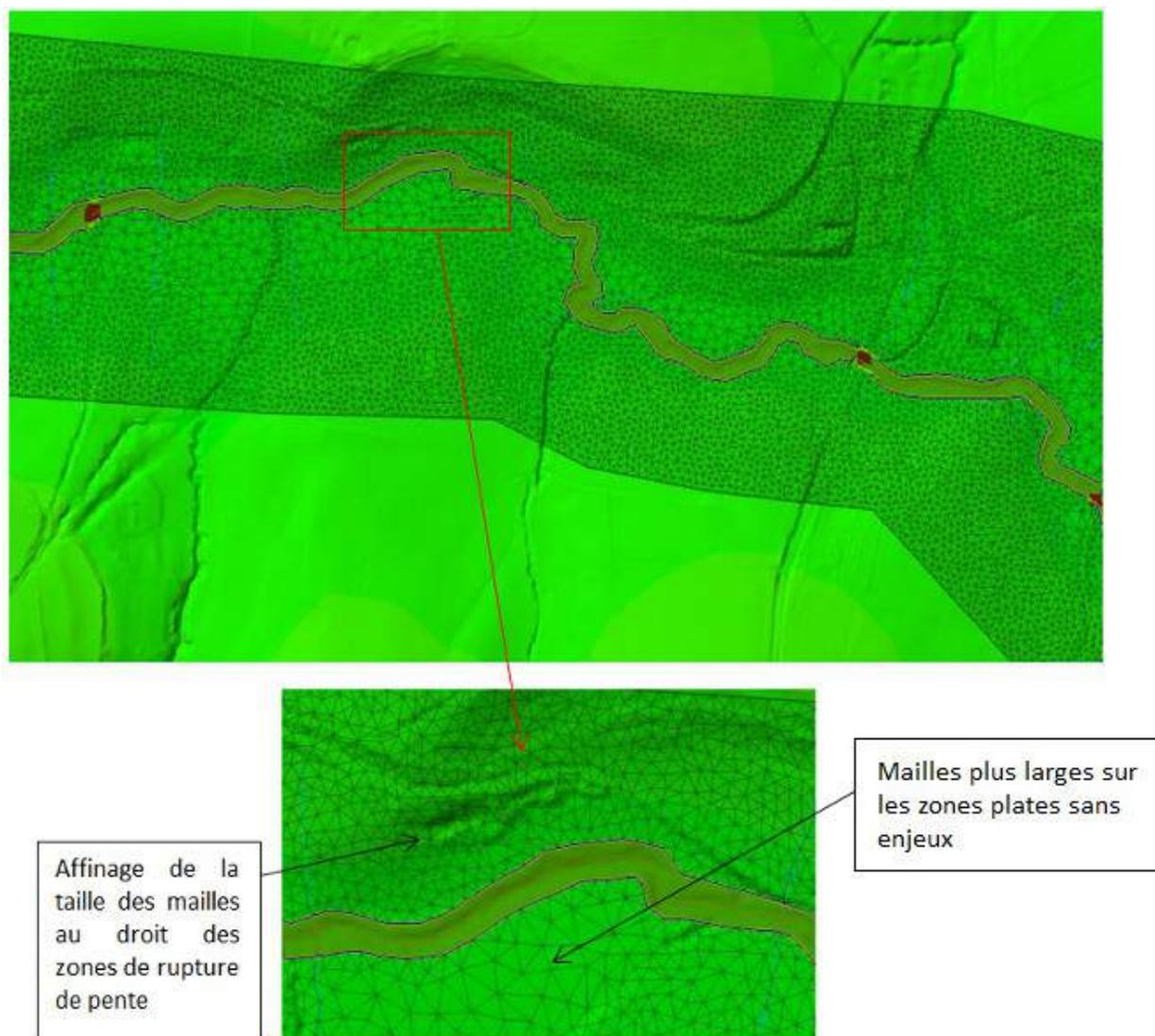


Figure 66: Principe du maillage 2D suivant la topographie

Cette première étape permet de prendre automatiquement en compte les obstacles de dimensions importante, les variations importantes de la topographie, et de s'assurer d'une variation limitée de l'altitude entre deux mailles de calcul.

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, connue à partir de la base de données SIGALE.

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

Les valeurs suivantes sont exploitées dans la modélisation, après calage du modèle.

Type d'occupation du sol	Valeur de rugosité utilisée Strickler [$m^{1/3}/s$]
Zones urbaine, commerciale et industrielle	16
Forêt	11
Plans d'eau	60
Espaces ouverts (forêts, prairie, zones agricoles)	20
Axes routiers, infrastructures portuaires	40
Carrières, chantiers	15
Friches industrielle	25

Tableau 41: Valeurs de rugosité selon le type d'occupation du sol

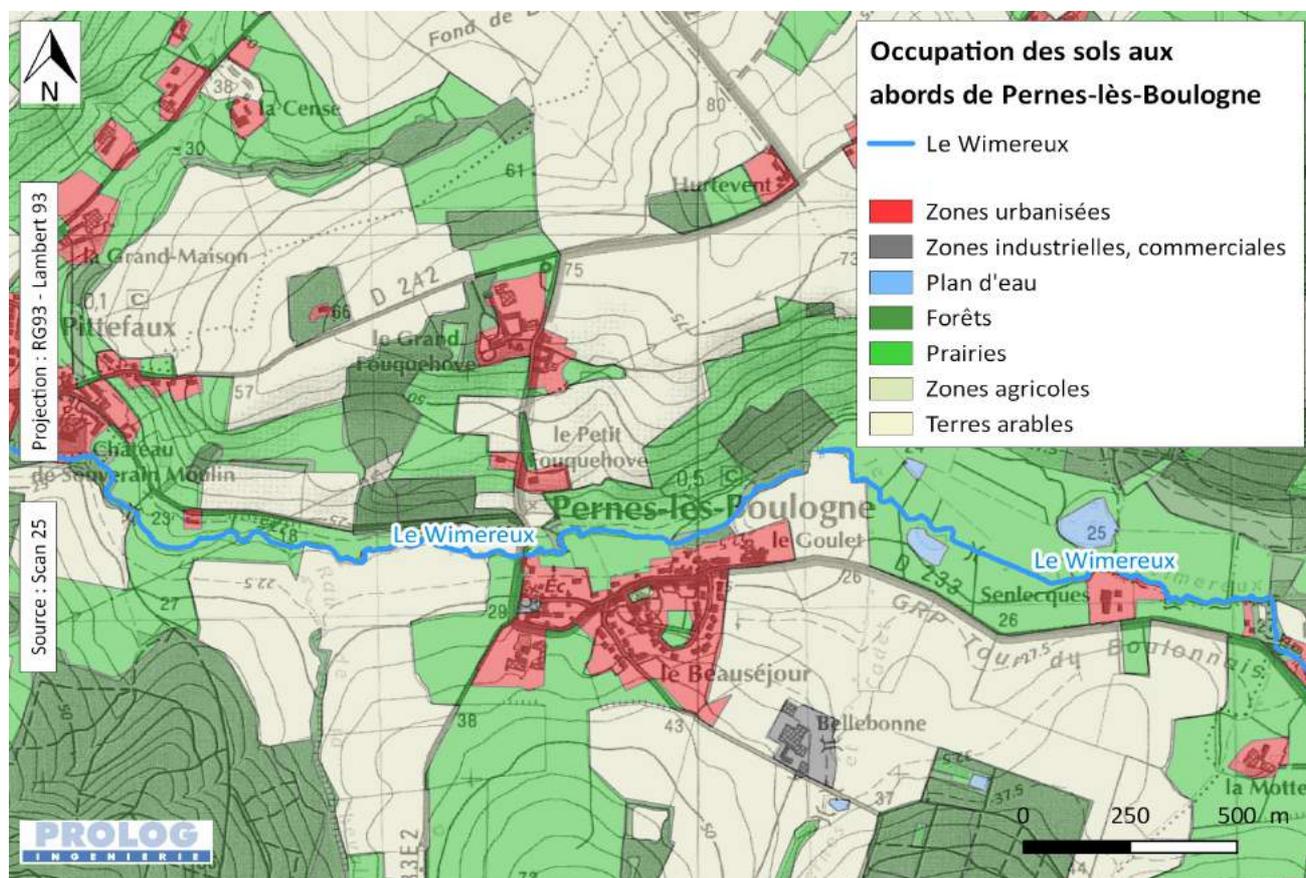


Figure 67: Vue des zones de rugosité différenciée dans le secteur de Pernes-lès-Boulogne

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'infrastructure ou de digues, il est par conséquent nécessaire d'intégrer des éléments de modélisation spécifiques.

Les cas de figure suivants sont représentés dans le modèle mis en œuvre :

- surverse d'un remblai routier ou d'une digue en terre, représentée par une loi de seuil avec des coefficients adaptés à des seuils larges, et prenant en compte le profil longitudinal irrégulier de l'ouvrage ;
- intégration sous les remblais des éventuels ouvrages de passage.

Ces éléments sont directement intégrés au maillage bidimensionnel sans discontinuité.

Remarque : Le modèle du Wimereux ne comporte d'obstacle ou d'ouvrage en lit majeur ayant une influence notable sur les écoulements. Ce paragraphe sera donc complété et illustré lors de la réalisation du modèle de la Liane.

Prise en compte du bâti

La modélisation des trois bassins versants étant simplifiée, les bâtis au sein des zones urbanisées ne sont pas intégrés au présent modèle.

6.2.2.4 Prise en compte des affluents

Le découpage fin en sous bassins versants d'apport ne suffit pas à garantir une modélisation pluie-débit précise. La représentation même schématique, de la dynamique de transfert de ces apports vers les trois fleuves du Boulonnais est primordiale pour bien reproduire la dynamique des crues à l'échelle du réseau hydrographique principal.

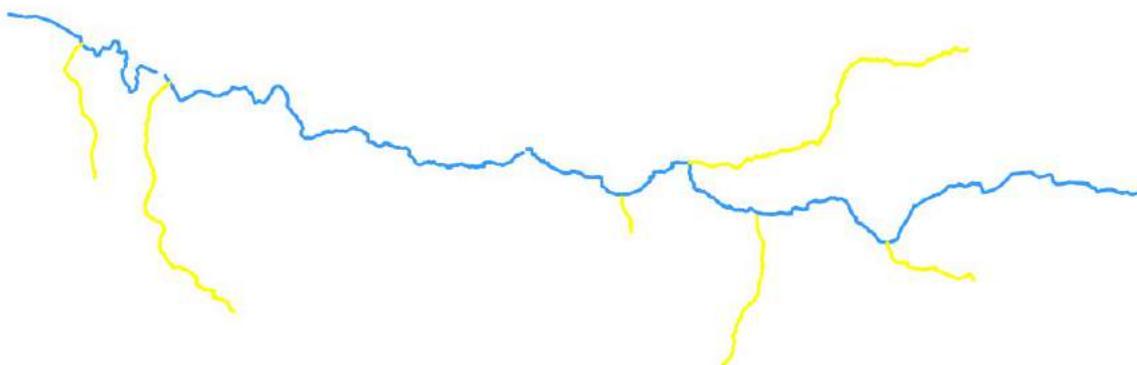


Figure 68: Modélisation sommaire des affluents (en jaune) du Wimereux (en bleu)

Dans cette optique, les principaux affluents de la Liane et du Wimereux, ont été intégrés au modèle sous la forme d'un réseau d'éléments modélisant les écoulements de façon simplifiée, en ne prenant en compte que la pente des vallées, ainsi que la rugosité moyenne sur chaque tronçon. Aussi, chaque bassin versant d'apport n'étant pas directement relié au cours d'eau principal est ainsi connecté à ces éléments de calcul simplifié.

6.2.3 Conditions aux limites du modèle

6.2.3.1 Conditions aux limites amont

L'objet de l'approche pluie-débit précédemment exposée dans le rapport, avec ses nombreuses limites et incertitudes liées au fonctionnement complexe du bassin versant, est d'exploiter directement le profil des précipitations pour produire les hydrogrammes d'apport en sortie des bassins versants. Ces hydrogrammes sont calculés directement lors des simulations hydrauliques en fonction des événements pluvieux considérés. Ils sont ensuite injectés selon le bassin versant au niveau des différents points d'apports de la Liane et du Wimereux ou des affluents représentés par la méthode simplifiée.

6.2.3.2 Conditions aux limites aval

Un limnigramme (marégramme ou niveau à l'amont du barrage Marguet) est imposé à l'exutoire des trois modèles réalisés.

Pour les crues de calage, l'évolution de la marée à Boulogne-sur-Mer a été utilisée pour le modèle du Wimereux. Pour celui de la Liane, les niveaux à l'amont du barrage Marguet ont été considérés.

Pour les scénarios, suite à un test de sensibilité portant sur l'influence de la marée sur la dynamique de l'onde de crue et les emprises inondables sur le Wimereux, il a été convenu de retenir comme condition aval un marégramme dont les caractéristiques sont les suivantes :

- une marée moyenne (coefficient 70) ;
- la prise en compte du cycle des marées ;
- la correspondance pic marée – pic crue.

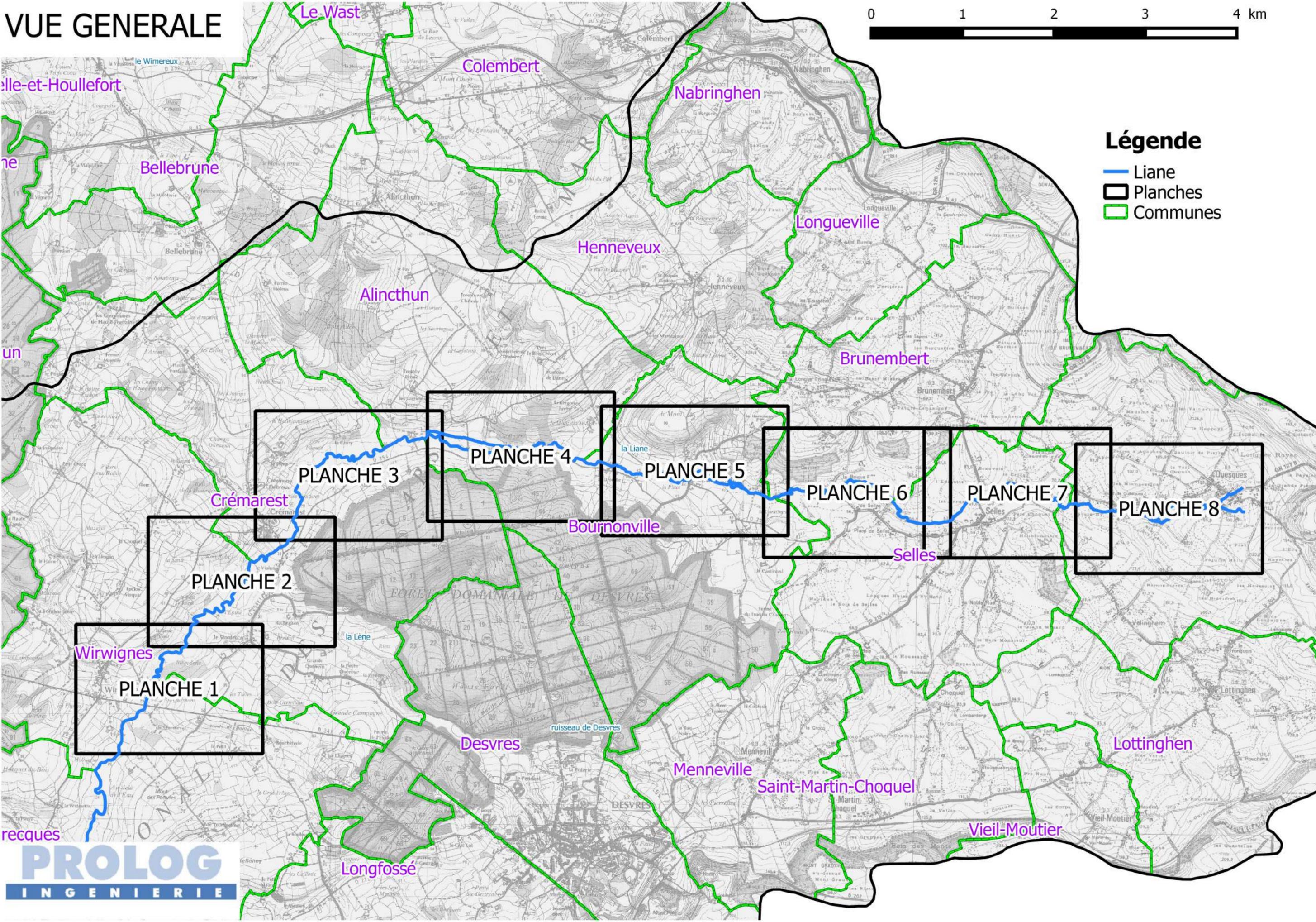
Pour le cas particulier de la Liane, la régulation du barrage Marguet en fonction du niveau de la mer et du niveau à l'amont de ce dernier a été mise en place.

Tous ces éléments seront détaillés dans les livrables n°2 (Liane) et n°3 (Wimereux).

ANNEXES

Annexe 1 – Levés complémentaires de la Liane en amont de Wirwignes

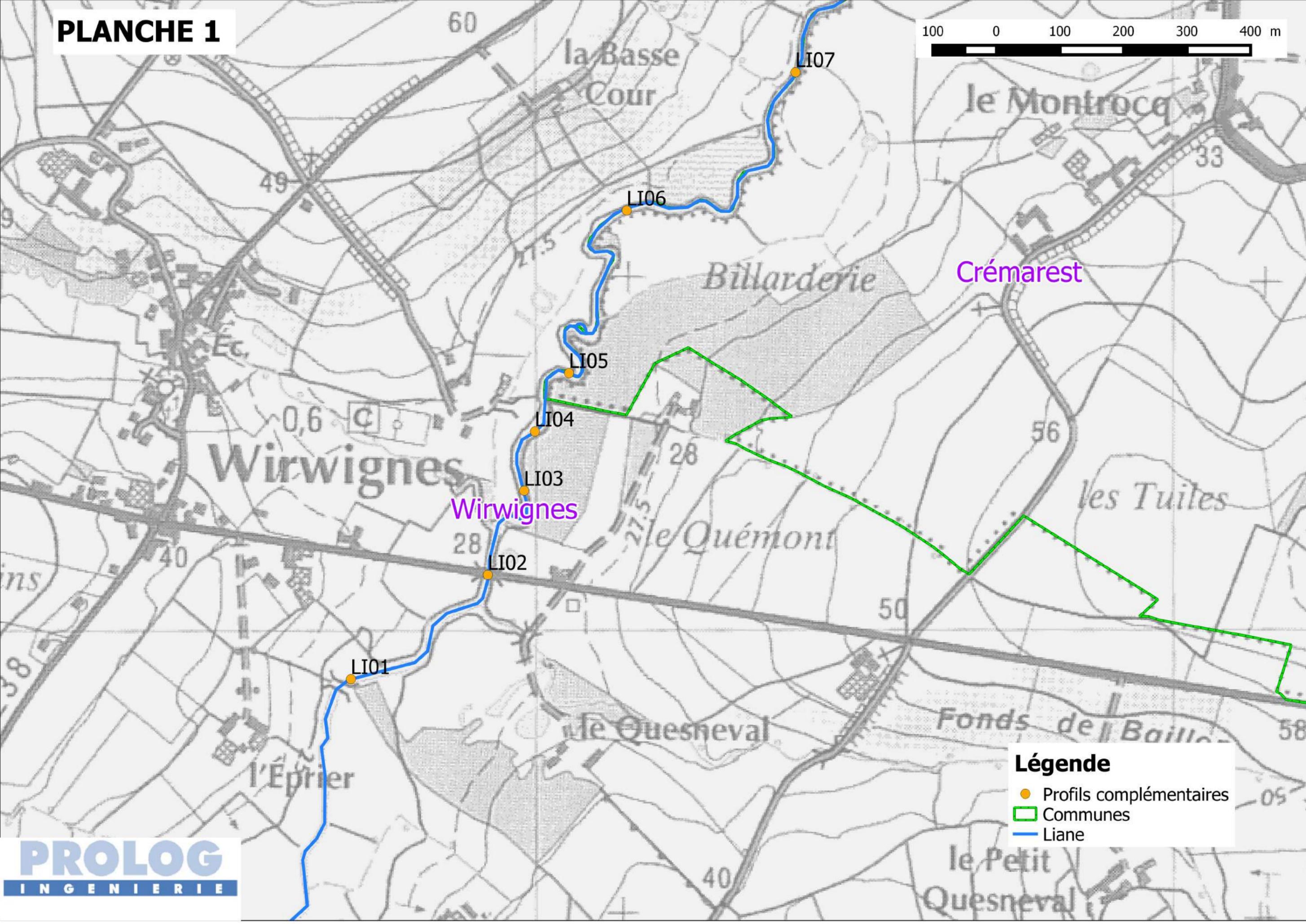
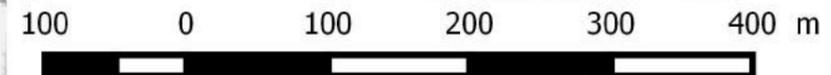
VUE GENERALE



Légende

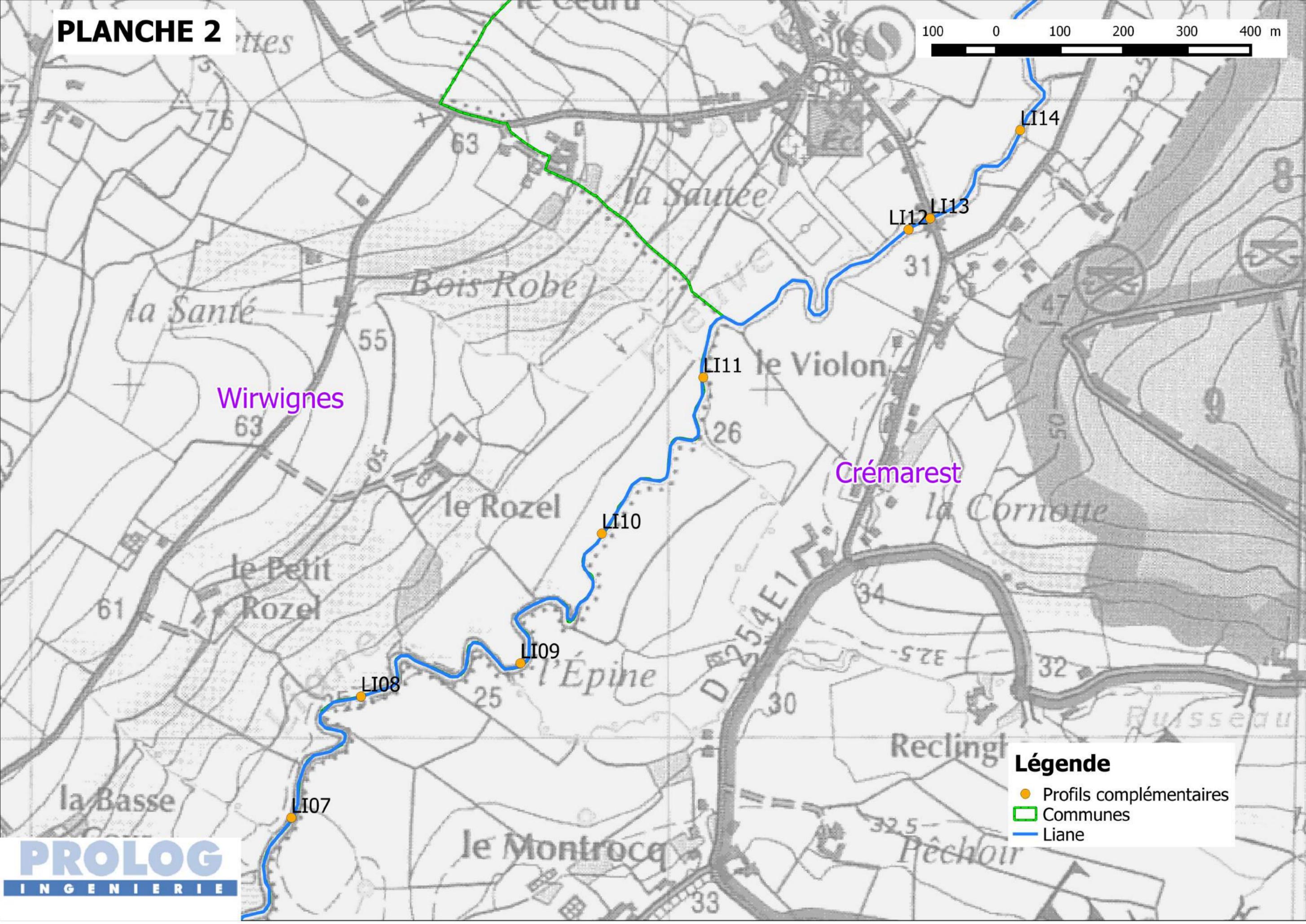
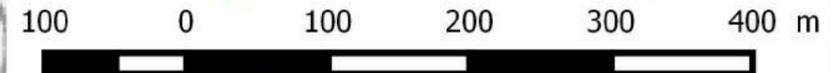
- Liane
- ▭ Planches
- ▭ Communes

PLANCHE 1



- Légende**
- Profils complémentaires
 - Communes
 - Liane

PLANCHE 2



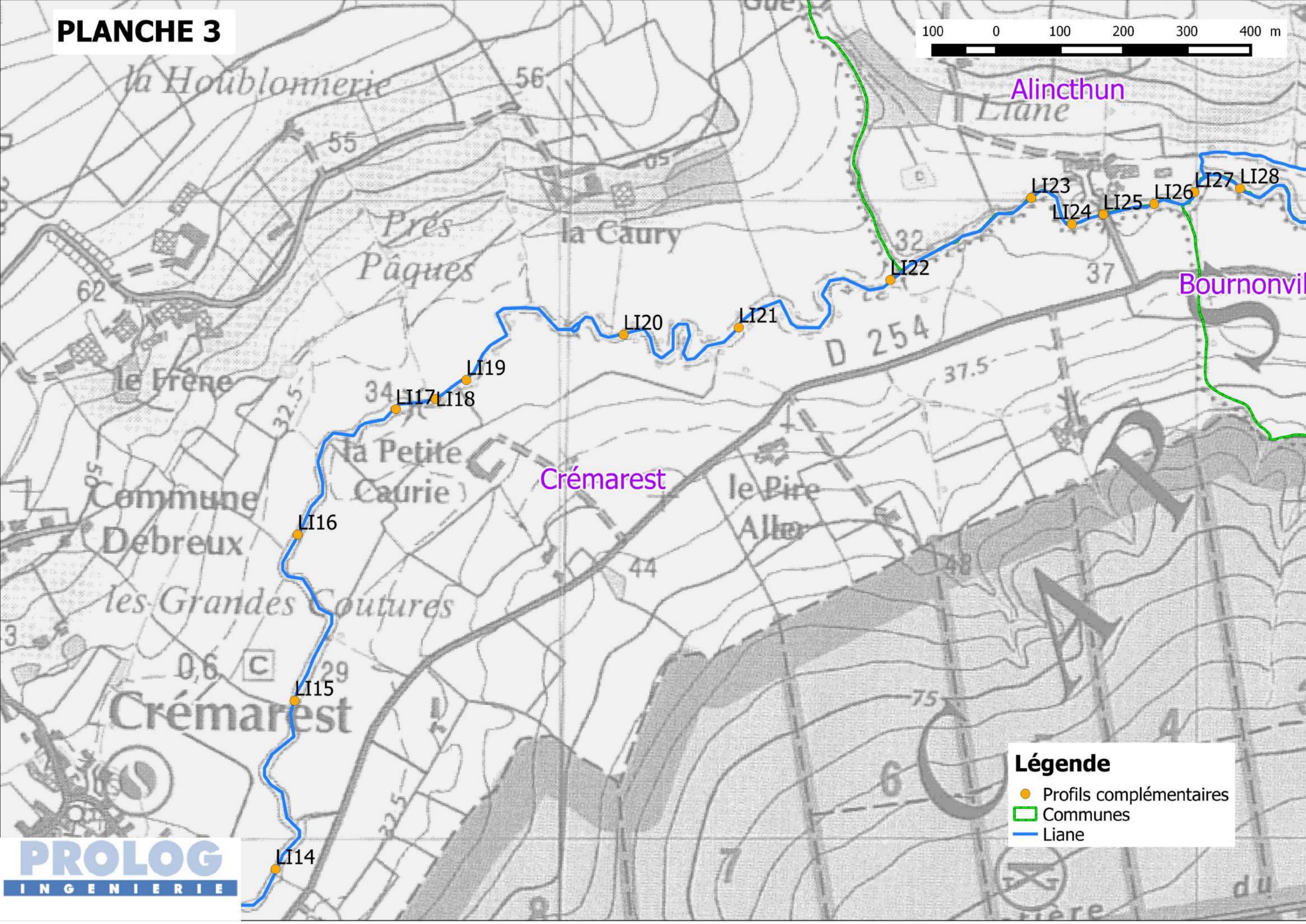
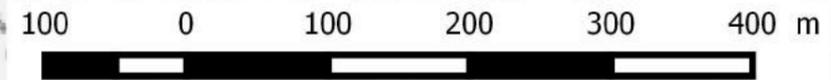
Wirwignes

Crémarest

Légende

- Profils complémentaires
- ▭ Communes
- Liane

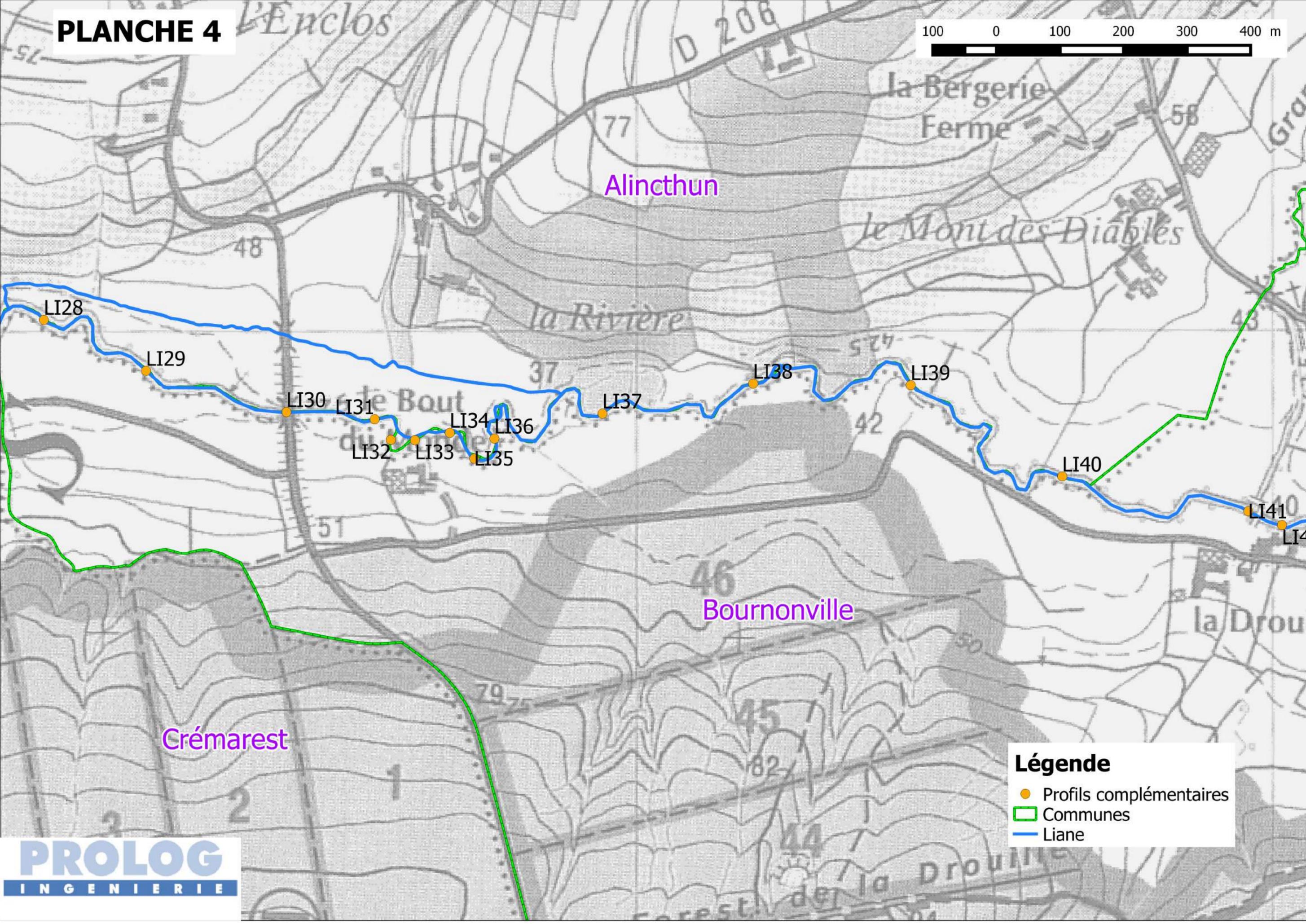
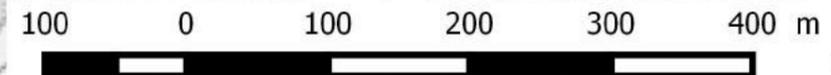
PLANCHE 3



Légende

- Profils complémentaires
- Communes
- Liane

PLANCHE 4



Alincthun

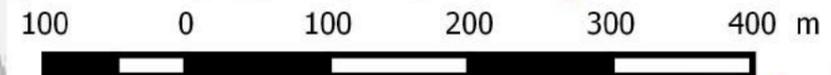
Bournonville

Crémarest

Légende

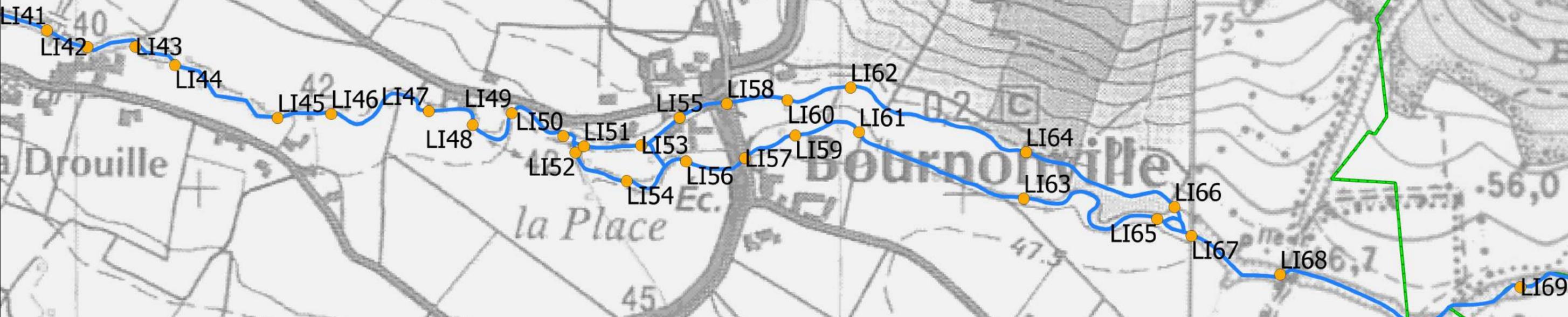
- Profils complémentaires
- ▭ Communes
- Liane

PLANCHE 5



Alincthun

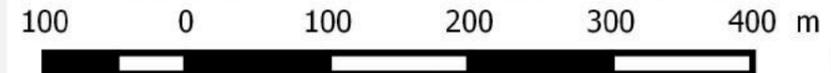
Brunember



Légende

- Profils complémentaires
- Communes
- Liane

PLANCHE 7



Brunembert

Quesques

Selles

Légende

- Profils complémentaires
- ▭ Communes
- Liane

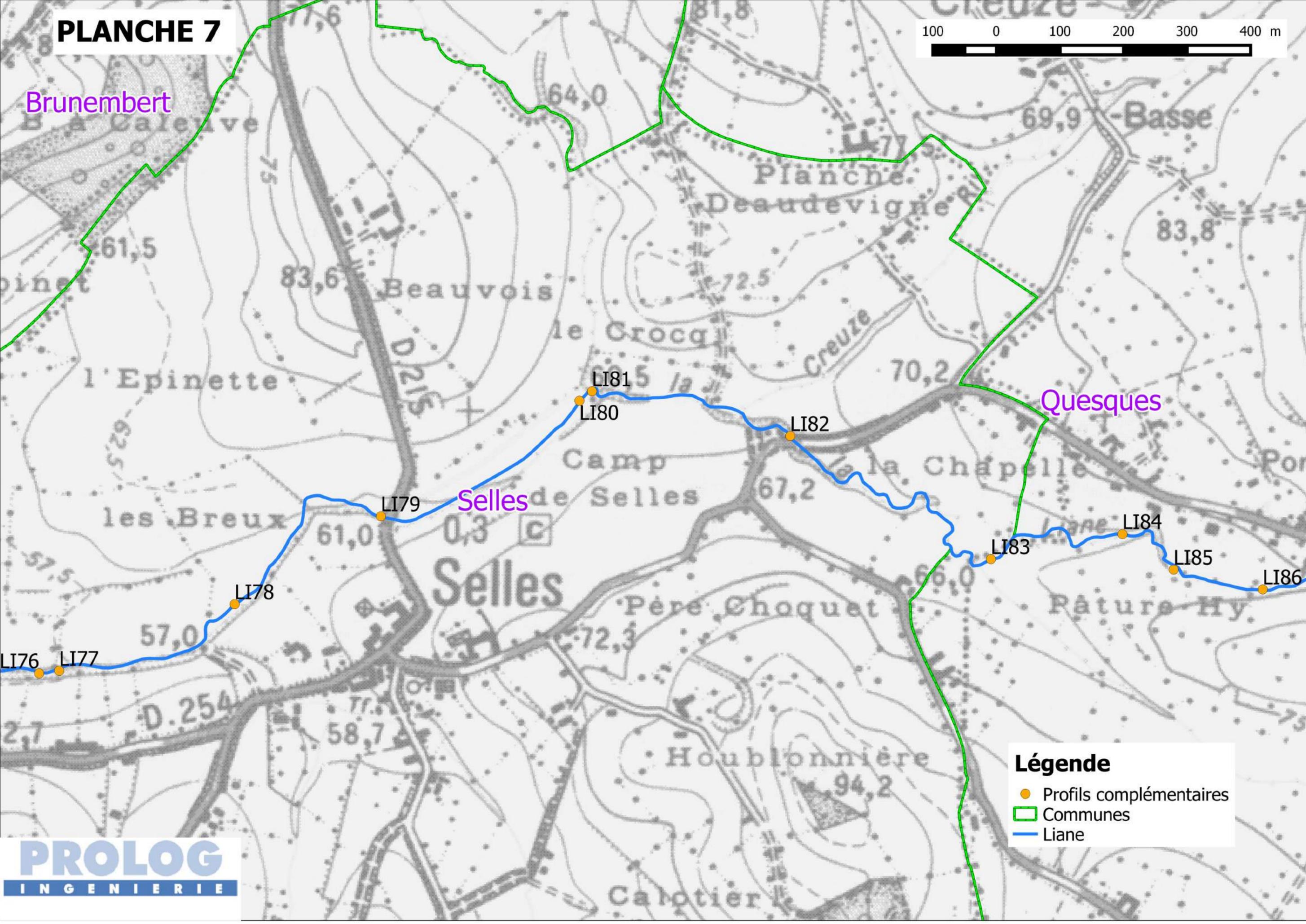
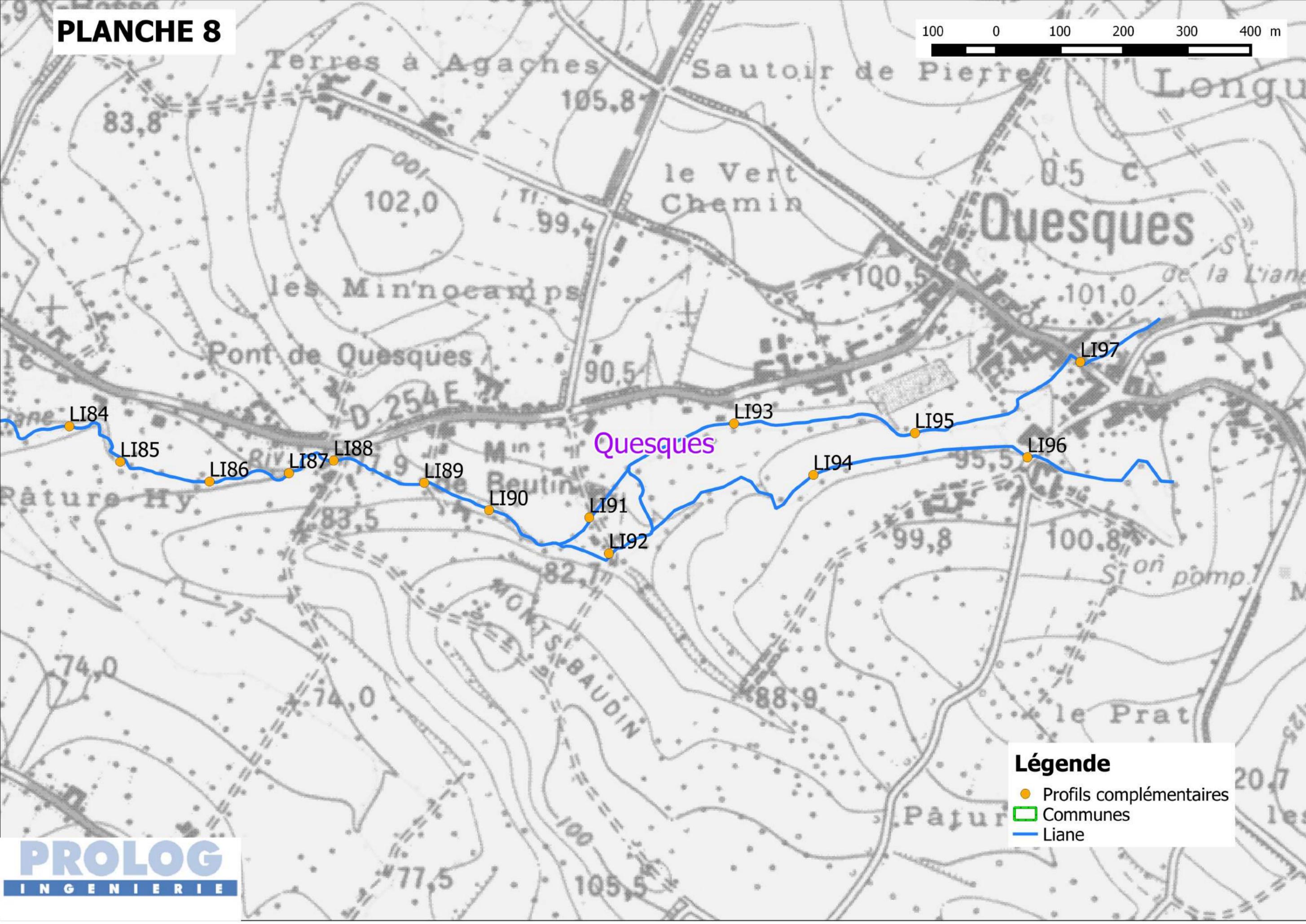
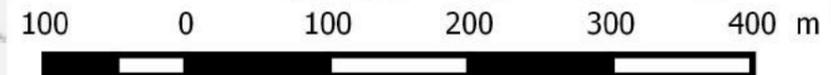


PLANCHE 8

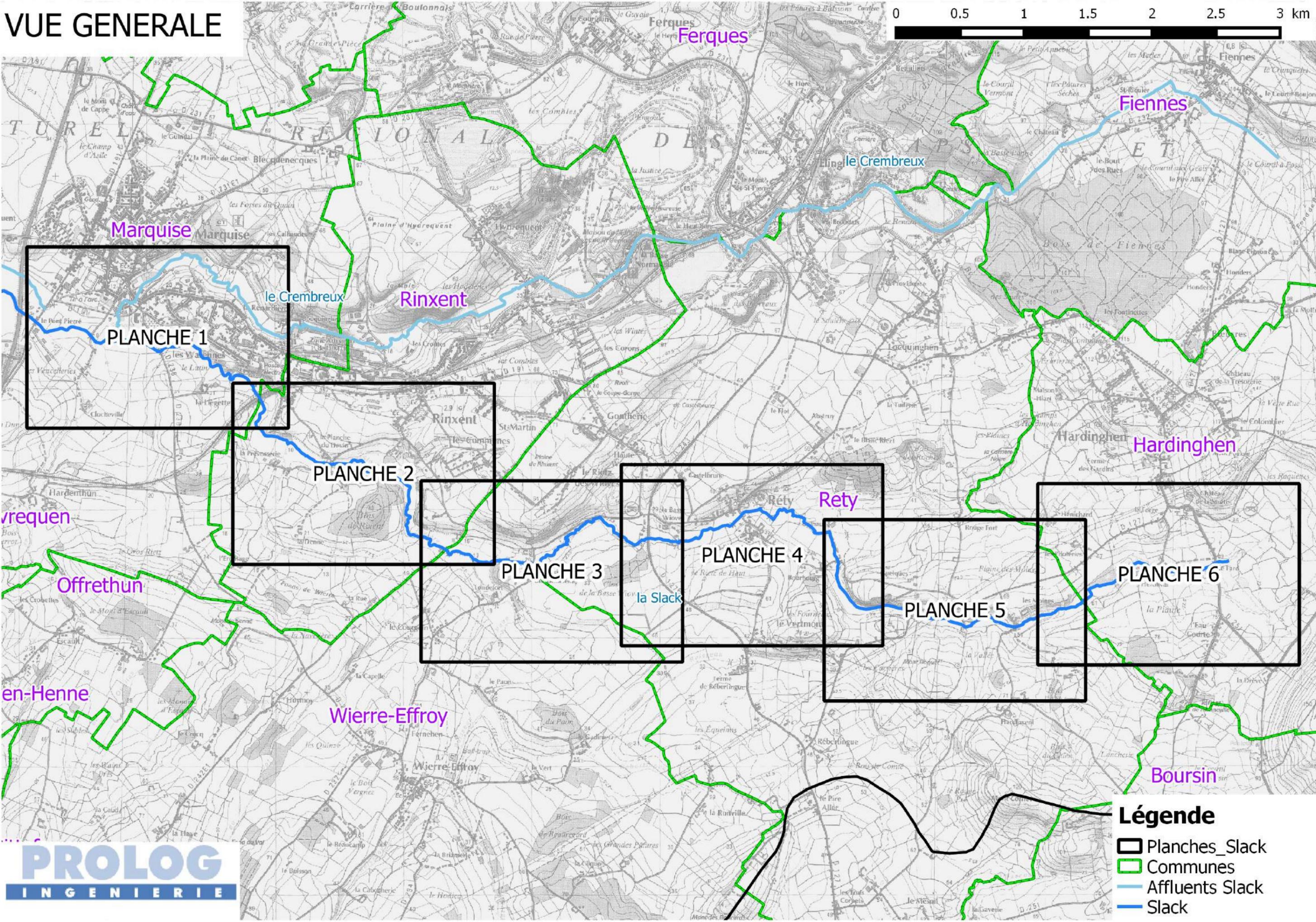
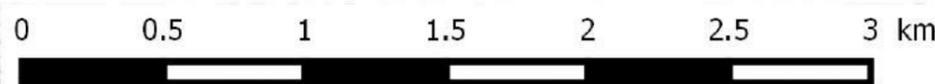


Légende

- Profils complémentaires
- Communes
- Liane

Annexe 2 – Levés complémentaires de la Slack en amont de Marquise

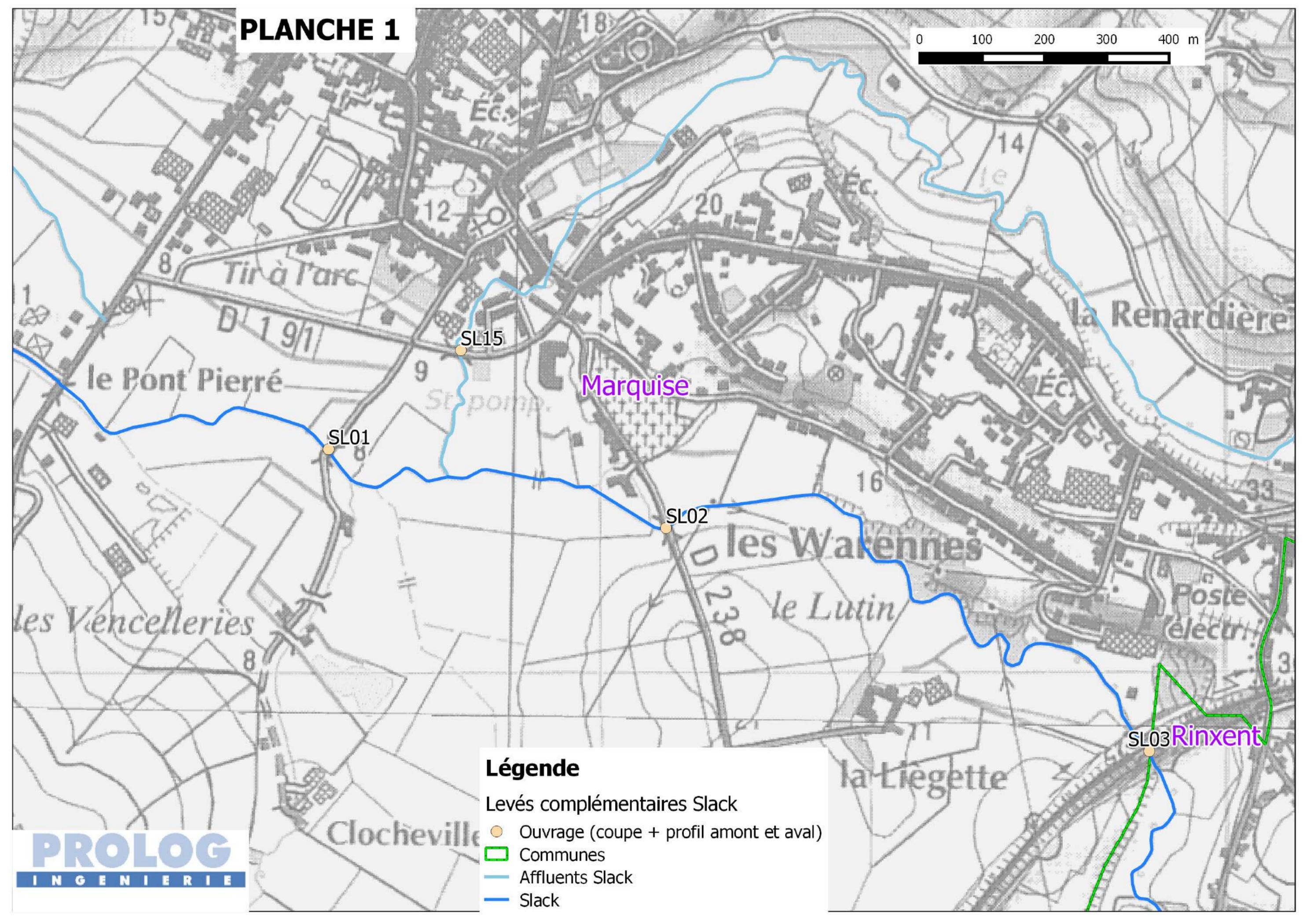
VUE GENERALE



- Légende**
- Planches_Slack
 - Communes
 - Affluents Slack
 - Slack

PLANCHE 1

0 100 200 300 400 m



Marquise

la Renardière

les Wavernies

Rinxent

Légende

Levés complémentaires Slack

-  Ouvrage (coupe + profil amont et aval)
-  Communes
-  Affluents Slack
-  Slack

PLANCHE 2



Marquise

SL03

Rinxent

les Commat

la Prévoiserie

la Planche du Devin

Rinxent

SL04

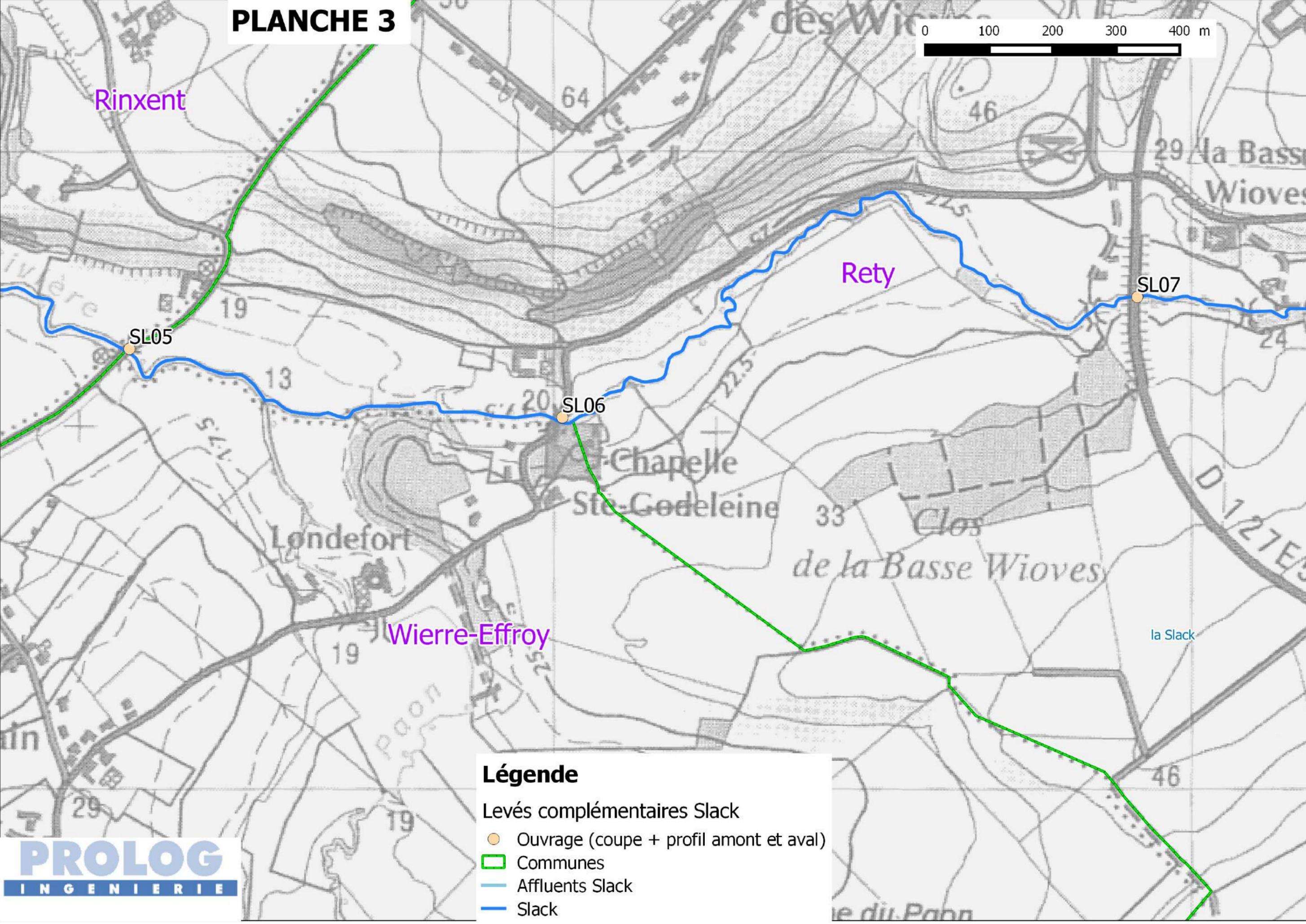
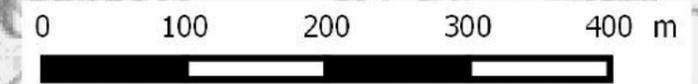
Bois de Rixent

Rety

Légende

- Levés complémentaires Slack
-  Ouvrage (coupe + profil amont et aval)
-  Communes
-  Affluents Slack
-  Slack

PLANCHE 3

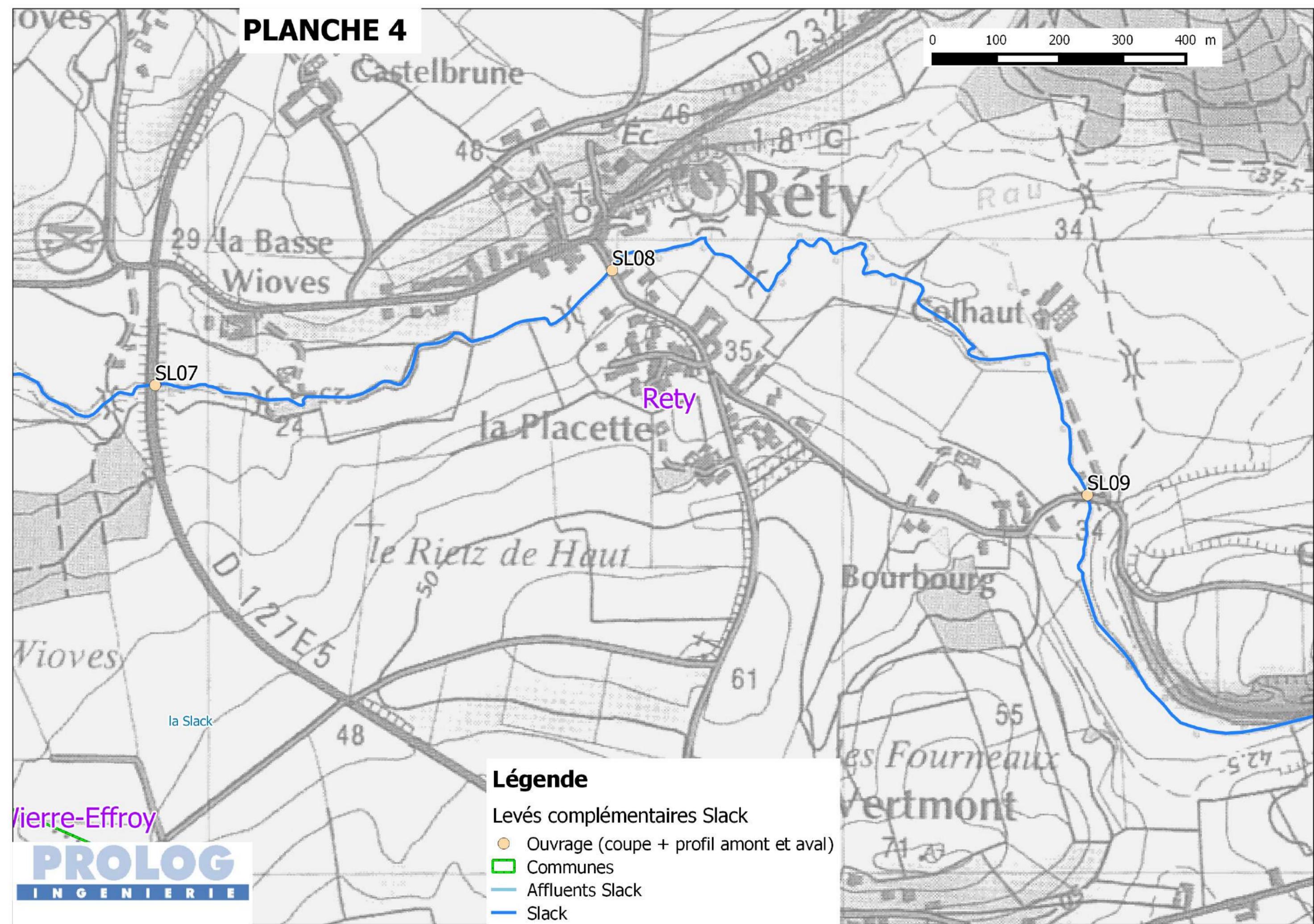


Légende

- Levés complémentaires Slack
- Ouvrage (coupe + profil amont et aval)
- ▭ Communes
- Affluents Slack
- Slack

PLANCHE 4

0 100 200 300 400 m



Légende

Levés complémentaires Slack

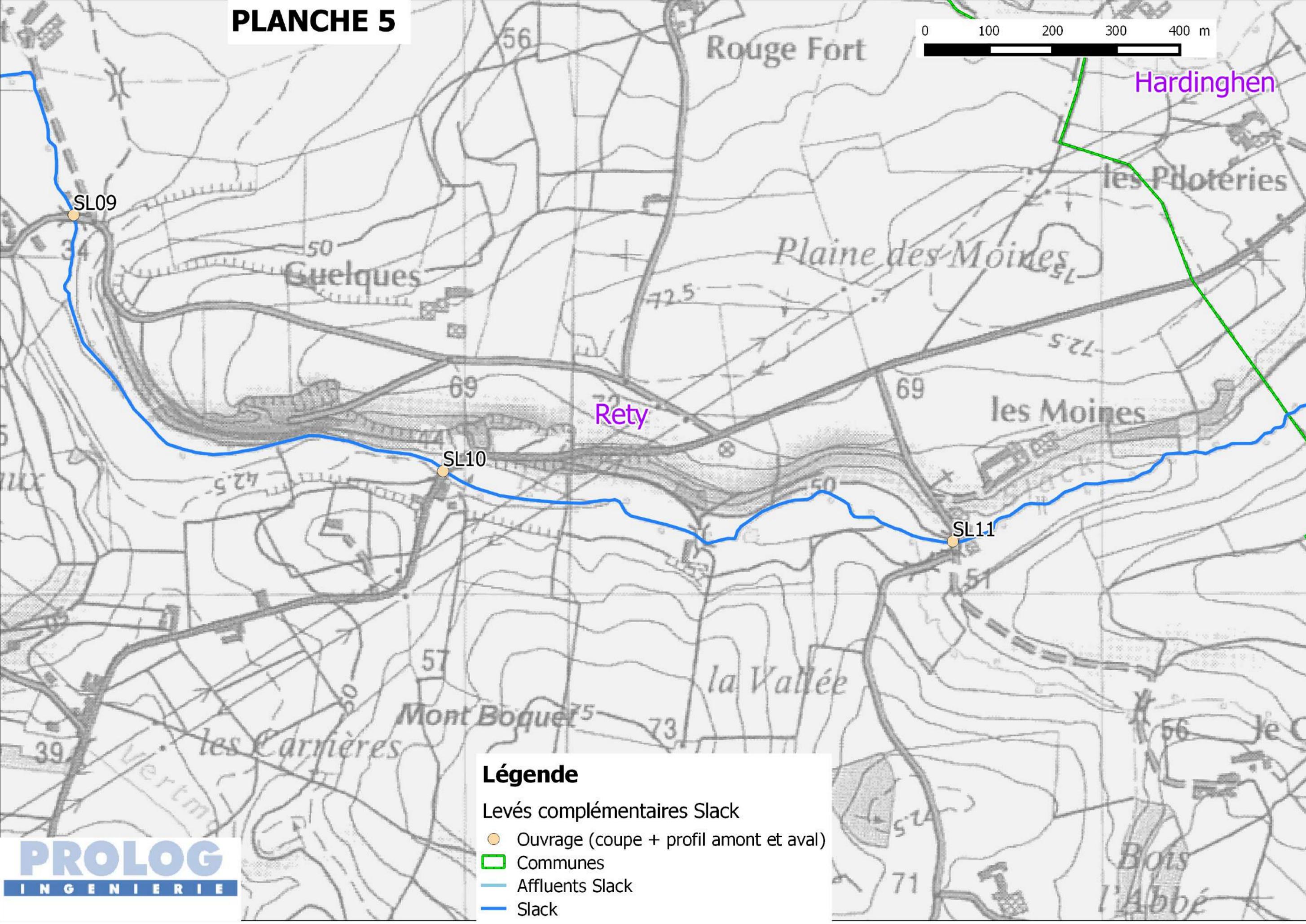
- Ouvrage (coupe + profil amont et aval)
- Communes
- Affluents Slack
- Slack

Vierre-Effroy

PROLOG
INGENIERIE

PLANCHE 5

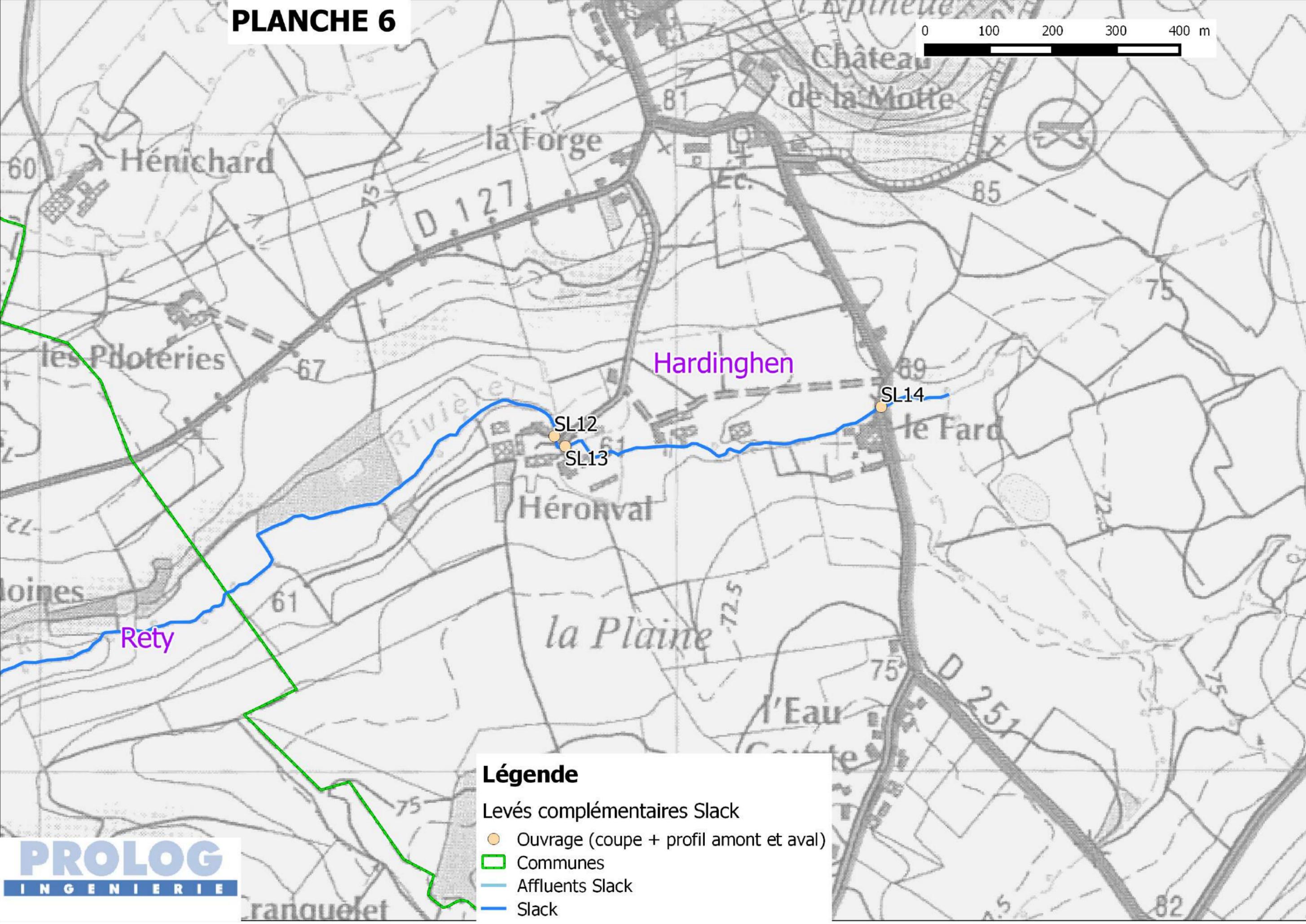
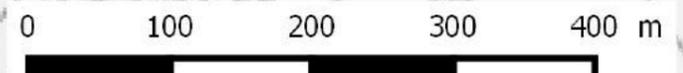
0 100 200 300 400 m



Légende

- Levés complémentaires Slack
- Ouvrage (coupe + profil amont et aval)
- ▭ Communes
- Affluents Slack
- Slack

PLANCHE 6



Légende

- Levés complémentaires Slack
-  Ouvrage (coupe + profil amont et aval)
-  Communes
-  Affluents Slack
-  Slack

Annexe 3 – Curve Number (valeurs standards)



You are here: Database Items | Networks | Network Objects | Subcatchments | Setting Runoff Coefficients from GIS Data

Setting Runoff Coefficients from GIS Data

SCS runoff curve numbers or SRM runoff coefficients can be calculated directly from GIS data. To set these values the following data is required:

- Subcatchment boundaries properly defined in the network. Subcatchments should not contain overlapping areas, and there should not be gaps between subcatchments unless these fall outside the catchment area
- A GIS file containing land use data
- A GIS file containing soil type data
- A lookup table (CSV file) of curve number/runoff coefficient appropriate to a particular land use/soil type pair

The GIS data can be read straight from the file. Loading the two files as background layers will allow data to be viewed before carrying out the calculation process.

Only subcatchments that have their **Curve number** or **SRM runoff coefficient** field set to the **#G** flag will be updated.

- ➔ [Data](#)
- ➔ [Instructions](#)
- ➔ [Process](#)

CN Values

CN values for different conditions are available from various sources. Table 1 summarises many of these for the initial CN (for AMC II; see below) dependent on land use, cover quality and soil type. Definitions of these latter two parameters are provided in the accompanying tables (Tables 2 and 3).

[Table 1 Initial CN values for AMC II with various land use, cover quality and soil type](#)

(U.S.A. Bureau of Agriculture)

Land Cover Class	Land Treatment/practice/treatment	Stormflow Potential	Hydrological Soil Group			
			A	B	C	D
Fallow	1 = Straight row		77	86	91	94
	2 = Straight row	High	75	84	89	92
	3 = Straight row + conservation tillage	Low	74	83	87	90
Row Crops	1 = Straight row					
	2 = Straight row		72	81	88	91
	3 = Straight row + conservation tillage	Low	67	78	85	89
	4 = Straight row + conservation tillage	High	71	79	86	89
	5 = Planted on contour	Low	64	75	82	85
	6 = Planted on contour	High	70	79	84	88
	7 = Planted on contour + conservation tillage	Low	65	75	82	86
	8 = Planted on contour + conservation tillage	High	69	78	83	87
	9 = Planted on contour + winter rainfall region	Low	64	74	80	84
		High	66	74	80	82
	10 = Conservation structures	Low	62	71	78	81
	11 = Conservation structures + conservation tillage	High	65	73	79	81
12 = Conservation structures + conservation tillage	Low	61	70	76	79	

Garden Crops	1 = Straight row	Low	45	66	77	83
	2 = Straight row	High	68	75	81	84

Land Cover Class	Land Treatment/practice/treatment	Stormflow Potential	Hydrological Soil Group			
			A	B	C	D
Small Grain	1 = Straight row					
	2 = Straight row					
	3 = Straight row + conservation tillage	High	65	76	84	88
	4 = Straight row + conservation tillage	Low	63	75	83	87
	5= Planted on contour	High	64	74	82	86
	6= Planted on contour	Low	60	72	80	84
	7 = Planted on contour + conservation tillage	High	63	74	82	85
	8 = Planted on contour + conservation tillage	Low	61	73	81	84
	9 = Planted on contour + winter rainfall region	High	62	73	81	84
		Low	60	72	79	82
		Low	63	70	78	81
		Low	61	72	79	82
		High	59	70	78	81
Close seeded legume or rotational meadow	10 = Conservation structures	Low	60	71	78	81
	11 = Conservation structures	High	58	69	76	79
	12 = Conservation structures + conservation tillage	Low				
	13 = Conservation structures + conservation tillage	High	66	77	85	89
	1 = Straight row	Low	58	72	81	85
	2 = Straight row	High	64	75	83	85
	Low	55	69	78	83	
	High	63	73	80	83	
	Low	51	67	76	80	

Land Cover Class	Land Treatment/practice/treatment	Stormflow Potential	Hydrological Soil Group			
			A	B	C	D
Sugar Cane	1 = Straight row: trash burnt		43	65	77	82
	2 = Straight row: trash mulch		45	66	77	83
	3 = Straight row: limited cover		67	78	85	89
	4 = Straight row: partial cover		49	69	79	84
	5= Straight row: complete cover		39	61	74	80
	6= Conservation structures: limited cover		65	75	82	86
	7 = Conservation structures: partial cover		25	59	75	83
	8 = Conservation structures: complete cover		6	35	70	79
Range and	1 = Range in poor condition	High	68	79	86	89
	2 = Range in fair condition	Moderate	49	69	79	84
	3 = Range in good condition	Low	39	61	74	80

Pasture	4 = Pasture planted on contour	High	47	67	81	88
	5= Pasture planted on contour	Moderate	25	59	75	83
	6= Pasture planted on contour	Low	6	35	70	79
Irrigated Pasture		Low	35	48	65	70
Meadow		Low	30	58	71	81
Wood and Scrub	1 = Woods	High	45	66	77	83
	2 = Woods	Moderate	36	60	73	79
	3 = Woods	Low	25	55	70	77
	4 = Brush - winter rainfall region	Low	28	44	60	66
Orchards	1 = Winter rainfall region, understory of crop cover		39	53	66	71

Land Cover Class	Land Treatment/practice/treatment	Stormflow Potential	Hydrological Soil Group			
			A	B	C	D
Forests & Plantation	1 = Humus depth 25mm; compactness:	Compact	52	72	82	87
	2 = Humus depth 25mm;	Moderate	48	68	78	85
	3 = Humus depth 25mm;	Loose / friable	37	60	71	77
	4 = Humus depth 50mm; compactness:	Compact	48	68	78	85
	5 = Humus depth 50mm;	Moderate	42	65	75	81
	6 = Humus depth 50mm;	Loose / friable	32	57	67	74
	7 = Humus depth 100mm; compactness:	Compact	41	64	74	80
	8 = Humus depth 100mm;	Moderate	34	59	69	75
	9 = Humus depth 100mm;	Loose / friable	23	50	61	67
	10 = Humus depth 150mm; compactness:	Compact	37	60	71	77
	11 =Humus depth 150mm;	Moderate	30	56	66	72
	12 = Humus depth 150mm;	Loose / friable	18	47	57	65
Urban/ Suburban Land Uses	1 = Open spaces, parks, cemeteries	75% grass cover	39	61	74	80
	2 = Open spaces, parks, cemeteries	75% grass cover	49	69	79	84
	3 = Commercial/business areas	85% impervious	89	92	94	95
	4 =Industrial districts	72% impervious	81	88	91	93
	5 = Residential lot: size 500m ²	65% impervious	77	85	90	92
	6 = Residential: lot size 1000m ²	38% impervious	61	75	83	87
	7 = Residential: lot size 1350m ²	30% impervious	57	72	81	86
	8 = Residential: lot size 2000m ²	25% impervious	54	70	80	85
	9 = Residential: lot size 4000m ²	20% impervious	51	68	78	84
	10 = Paved parking lots, roofs etc		98	98	98	98
	11 = Streets/roads: tarred, with storm sewers, curbs		98	98	98	98
	12 = Streets/roads: gravel		76	85	89	91
13 = Streets/roads: dirt		72	82	87	89	
14 = Streets/roads: dirt-hard surface		74	84	90	92	

 [Table 2 Definition of cover quality](#)

 [Table 3 Definition of soil type](#)

 [Table 4 Summary of CN values depending on AMC values](#)

AMC	Total 5-day antecedent rainfall (mm)	
	Dormant Season	Growing Season
I	<12.5	<35.5
II	12.5 - 28.0	35.5 - 53.5
III	>28.0	>53.5

Finally, the relationship between CN for different AMC classes is shown in Table 5. These relationships are used within the software to adjust the curve number value.

 **Table 5 Relationship between CN for different AMC classes**

CN for AMC II	Corresponding CN for	
	AMC I	AMC III
100	100	100
95	87	99
90	78	98
85	70	97
80	63	94
75	57	91
70	51	87
65	45	83
60	40	79
55	35	75
50	31	70
45	27	65
40	23	60
35	19	55
30	15	50
25	12	45
20	9	39
15	7	33
10	4	26
5	2	17
0	0	0