

INSTITUTION INTERDEPARTEMENTALE
NORD – PAS-DE-CALAIS
POUR L'AMENAGEMENT DE LA VALLEE
DE LA SENSEE

Etude de faisabilité de la baisse du
niveau d'eau du canal de la Scarpe
amont en vue de prévenir et de gérer
les inondations du Douaisis

**Phase 1 : Analyse des conditions
d'apparition d'une situation de crise**

33914 | juin 2014 | MCM/LPU



hydratec
groupe setec



hydratec
groupe setec

Immeuble Central Seine
42-52 quai de la Rapée
75582 Paris Cedex 12

Email : hydra@hydra.setec.fr

T : 01 82 51 64 02

F : 01 82 51 41 39

Directeur d'affaire : BST

Responsable d'affaire : LPU

N°affaire : 01628995

Fichier : 33914_Scarpe-canal-fais-baisse_v3.docx

Version	Date	Etabli par	Vérifié par	Nb pages	Observations / Visa
1	Janvier 2014	MCM	BST/LPU	75	
2	Mars 2014	MCM	BST/LPU	137	
3	Juini 2014	MCM			Prise en compte des remarques de la CAD, CUA, VNF, ...

TABLE DES MATIERES

1	Contexte et objectif de la mission	11
1.1	Contexte	11
1.2	Objectifs	11
1.3	Aire d'étude	11
1.4	Etudes antérieures	12
1.5	Enquêtes et visites de terrain.....	13
2	Présentation du secteur d'étude	15
2.1	Présentation générale du territoire	15
2.2	Contexte géologique	20
2.3	Contexte hydrogéologique	23
2.3.1	Présentation des masses d'eau	23
2.3.2	Données piézométriques.....	23
2.3.3	Relation nappe-rivière ou nappe-canal	25
2.4	Mode d'occupation du sol du bassin versant de la Scarpe canalisée.....	28
2.5	Analyse typologique du canal	31
2.5.1	Données topographiques recueillies	31
2.5.2	Caractéristiques géométriques du canal.....	34
2.5.3	Détermination des débits maxima pouvant transiter d'un bief à l'autre	37
2.6	Plans d'eau en bordure du canal de la Scarpe.....	38
2.7	Problème d'eutrophisation dans la Scarpe canalisée et faucardage associé.....	40
3	Analyse des événements historiques	42
3.1	Détermination des évènements remarquables.....	42
3.2	Inventaire des mesures recueillies pour ces deux événements.....	42
3.2.1	Mesures de débits et de cotes	42
3.2.2	Mesures pluviométriques	45
3.3	Evénement du 4 juillet 2005.....	46
3.3.1	Lieux des débordements	46
3.3.2	Pluviométrie	49
3.3.3	Hydrométrie	52
3.3.4	Situation de la nappe.....	54
3.3.5	Manœuvres au niveau du canal	55
3.3.6	Eutrophisation du canal.....	56
3.4	Evénement de début août 2008.....	56
4	Modélisation de la Scarpe canalisée et modèle pluie-débit	61
4.1	Démarche mise en oeuvre.....	61
4.1.1	Cours d'eau modélisés	61

4.1.2	Evènements modélisés et situation prise en compte.....	63
4.1.3	Topographie utilisée pour la construction du modèle	63
4.1.4	Modélisation hydraulique et modélisation hydrologique	63
4.1.5	Présentation du logiciel HYDRARIV utilisé	64
4.2	Modélisation hydrologique	65
4.2.1	Données pluviométriques utilisées.....	65
4.2.2	Découpage en sous-bassins versants	66
4.2.3	Mise en œuvre du modèle pluie/débit.....	67
4.3	Présentation du modèle hydraulique	71
4.3.1	Domaine filaire.....	71
4.3.2	Domaine casier.....	71
4.3.3	Singularités.....	72
4.3.4	Conditions limites aval.....	74
4.3.5	Présentation du modèle de la Scarpe canalisée dans Hydrariv	74
4.4	Calage des modèles hydrologique et hydraulique.....	76
4.4.1	Données disponibles	76
4.4.2	Méthode de calage	76
4.4.3	Paramètres de calage	76
4.4.4	Résultats du calage.....	77
4.5	Exploitation du modèle – Tests complémentaires réalisés	85
4.5.1	Problème d'eutrophisation dans le canal	85
4.5.2	Tests avec pluies de différentes période de retour.....	89
5	Synthèse : détermination des conditions de formation des événements dommageables	96

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1-1 : Aire d'étude.....	12
Figure 2-1 : Situation et ouvrages au niveau d'Athies	15
Figure 2-2 : Plan de situation des 10 biefs de navigation de la Scarpe canalisée	16
Figure 2-3 : Bassins versants de la Scarpe amont et territoires associés.....	18
Figure 2-4 : Evolution de la surface du bassin versant de la Scarpe canalisée.....	19
Figure 2-5 : Log synthétiques des formations au droit de la Scarpe	20
Figure 2-6 : Extraits des cartes géologiques d'Arras et Douai (BRGM).....	21
Figure 2-7 : Carte géologique du bassin versant de la Scarpe canalisée	22
Figure 2-8 : Carte des masses d'eau souterraines.....	23
Figure 2-9 : Courbes statistiques du piézomètre de Maroeuil 00263X0129	24
Figure 2-10 : Indicateur BSH pour l'année 2005	24
Figure 2-11 : Crue du Crinchon le 7 juillet 2001 (extrait d'internet du site privé de Monsieur Lagache d'Archicourt)	25
Figure 2-12 : Potentiel d'échange entre les éléments rivières/drains et la nappe de la craie.....	27
Figure 2-13 : Graphique de répartition de l'occupation des sols sur le BV de la Scarpe.....	29
Figure 2-14 : Mode d'occupation des sols au niveau du bassin versant de la Scarpe canalisée.	30
Figure 2-15 : Evolution du bassin versant (rural, urbain, eau) le long de la Scarpe canalisée.....	31
Figure 2-16 : Récapitulatif des données topographiques au niveau de la Scarpe canalisée	33
Figure 2-17 : Zoom du plan topographique en amont de l'écluse de St-Nicolas	34
Figure 2-18 : Schéma du rectangle de navigation	35
Figure 2-19 : Profils en long de la Scarpe canalisée amont	36
Figure 2-20 : Exemple de profil bathymétrique.....	36
Figure 2-21 : Plan de situation des marais et autres zones d'expansion de crue potentielles	39
Figure 2-22 : Synthèse chronologique d'utilisation du Marais des Crêtes	40
Figure 3-1 : Synthèse de la station de Brebières (extrait de la Banque Hydro).....	43
Figure 3-2 : Evènement de juillet 2005 – Cote à Duisans et débit à Brebières.....	44
Figure 3-3 : Evènement d'août 2008 – Cote à Duisans et débit à Brebières	44
Figure 3-4 : Stations Météo-France au niveau du bassin versant de la Scarpe canalisée	45
Figure 3-5 : Cartographie des désordres observés le 04/07/05 à Courchelettes.....	46
Figure 3-6 : Coupe schématique au niveau de Courchelettes	47
Figure 3-7 : Zone inondée à Courchelettes le 04/07/2005 (source : étude [2]).....	48
Figure 3-8 : Localisation des débordements contenus à Douai en juillet 2005.....	49
Figure 3-9 : Carte Météo-France du 4 juillet 2005	50
Figure 3-10 : Pluie horaire des 3 et 4 juillet 2005 à Saulty et Wancourt	51
Figure 3-11 : Hydrogrammes à Duisans et à Brebières	52
Figure 3-12 : Evolution du volume de la crue au-dessus d'un débit donné pour l'évènement de juillet 2005	53

Figure 3-13 : Superposition de la pluie tombée et de l'hydrogramme à Brebières (04/07/2005)..	53
Figure 3-14 : Limnigramme de la Scarpe en amont de l'écluse Couteaux (source VNF).....	54
Figure 3-15 : Indicateur BSH pour l'année 2005	55
Figure 3-16 : Hydrogrammes à Duisans et Brebières	57
Figure 3-17 : Pluie horaire des 6 et 7 août 2008 à Saulty et Wancourt.....	58
Figure 3-18 : Pluie horaire à Saulty et Wancourt du 3 au 8 août 2008	58
Figure 3-19 : Superposition de la pluie tombée et de l'hydrogramme à Brebières (3 au 8/08/08)	59
Figure 3-20 : Indicateur BSH du piézomètre de Maroeuil (années 2007-2008-2009)	60
Figure 4-1 : Emprise de la modélisation	62
Figure 4-2 : Découpage en sous-bassins versants de la Scarpe canalisée.....	66
Figure 4-3 : Schéma conceptuel du modèle SCS.....	69
Figure 4-4 : Profil en travers représentant la Scarpe canalisée entre St-Nicolas et St-Laurent ...	71
Figure 4-5 : Représentation d'un rétrécissement du canal en aval de St-Laurent.....	72
Figure 4-6 : Modélisation des ouvrages au niveau de St-Laurent-Blangy.....	73
Figure 4-7 : Visualisation du modèle de la Scarpe canalisée dans son environnement Hydrariv	75
Figure 4-8 : Hydrogrammes des différents sous-BV pour la crue de juillet 2005.....	78
Figure 4-9 : Hydrogrammes mesuré et calculé à Brebières pour la crue de juillet 2005	78
Figure 4-10 : Limnigrammes mesuré et calculé à Couteau pour la crue de juillet 2005	80
Figure 4-11 : Profil en long de la ligne d'eau maximale pour la crue de juillet 2005	81
Figure 4-12 : Propagation dans le canal pour la crue de juillet 2005	81
Figure 4-13 : Hydrogrammes des différents sous-BV pour la crue d'août 2008	82
Figure 4-14 : Hydrogrammes mesuré et calculé à Brebières pour la crue d'août 2008.....	83
Figure 4-15 : Profil en long de la ligne d'eau maximale pour la crue d'août 2008	84
Figure 4-16 : Propagation dans le canal pour la crue d'août 2008.....	84
Figure 4-17 : Evolution des niveaux sur le bief Biache - Vitry	86
Figure 4-18 : Hydrogrammes dans les biefs 1 et 9 pour différents Strickler dans le lit mineur.....	89
Figure 4-19 : Exemple de pluie de projet double triangle	91
Figure 4-20 : Evolution des débits de pointe obtenus pour les différentes pluies d'été en fonction de la période de retour de la pluie.....	94
Figure 5-1 : Schéma des temps de propagation entre maxima pluie-pluie, pluie-débit et débit-débit en été	96
Figure 4-3 : Schémas de modélisation coexistant dans HydraRiv	110
Figure 4-4 : Interface du logiciel HydraRiv.....	111
Figure 4-5. Schéma conceptuel d'arborescence d'un sous-réseau hydrologique	112
Figure 4-6 : Schéma conceptuel du modèle pluie-débit dit « SCS »	114
Figure 4-7 : Schéma conceptuel du modèle pluie-débit de nappe, dit « RSVL ».....	115

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1-1 : Liste des personnes contactées	14
Tableau 2-1 : Répartition des différents types d'occupation du sol sur le BV de la Scarpe.....	28
Tableau 2-2 : Caractéristiques des différents biefs de navigation de la Scarpe canalisée.....	35
Tableau 2-3 : Caractéristiques des différents biefs du canal.....	37
Tableau 2-4 : Calcul des débits aux ouvrages pour un niveau au NNN.....	37
Tableau 2-5 : Calcul des débits aux ouvrages pour un niveau à la cote de débordement	38
Tableau 3-1 : Cumuls pluviométriques des 3 et 4 juillet 2005	51
Tableau 3-2 : Données de pluie horaire.....	52
Tableau 3-3 : Cumuls pluviométriques les 6 et 7 août 2008	59
Tableau 4-1 : Modules pluie/débit utilisés pour la modélisation hydrologique	67
Tableau 4-2 : Tableau de correspondance entre les exutoires et les BV.....	74
Tableau 4-3 : Paramètres de calage des différents modules hydrologiques	77
Tableau 4-4 : Ordres de grandeurs du coefficient de Strickler de canaux ou rivières	79
Tableau 4-5 : Résultats avec des coefficients de Strickler de 30, 35, 40 et 25.....	88
Tableau 4-6 : Pluies journalières à la station de Lille	90
Tableau 4-7 : Coefficients de Montana pour des pluies de durée de 24 h à 96 h.....	91
Tableau 4-8 : Nomenclature pour les simulations des pluies d'été	92
Tableau 4-9 : Résultats pour les pluies d'été.....	92
Tableau 4-10 : Coefficients de Montana pour des pluies de durée de 3h à 12h.....	93
Tableau 4-11 : Résultats pour les pluies d'été avec des pluies de durée intense 7h	93

TABLE DES ANNEXES

ANNEXE 1 Compte-rendu des entretiens	99
ANNEXE 2 Profils en long de la Scarpe canalisée avec profondeur maximale et largeur moyenne	100
ANNEXE 3 Synoptique de la Scarpe canalisée	105
ANNEXE 4 Présentation d'Hydrariv et d'HydraBV	109
ANNEXE 5 Fiche climatologique de Cambrai-Epinoy	116
ANNEXE 6 Données sur le modèle hydraulique	119
ANNEXE 7 Modélisation pluies d'été	121
ANNEXE 8 Modélisation pluies d'hiver.....	142

1 CONTEXTE ET OBJECTIF DE LA MISSION

1.1 CONTEXTE

Lors d'événements hydrologiques exceptionnels, les débordements du canal de la Scarpe amont peuvent entraîner des inondations dans l'agglomération de Douai. Ce fut le cas le 4 juillet 2005, où Courchelettes, située en contrebas du canal, s'est vue inondée, et Douai n'a été épargnée que grâce à une rehausse de fortune des berges du canal.

Une des idées émises dans le cadre de la recherche d'une solution au problème d'inondation rencontré en juillet 2005 a été de décharger une partie du débit de crue de la Scarpe dans la Sensée, mais cette idée, étudiée par hydratec en 2011¹, n'a pas été retenue par le maître d'ouvrage et ses partenaires, notamment pour des questions de qualité des eaux.

Les différentes réflexions engagées ont évoqué d'autres solutions envisageables pour limiter les inondations par la Scarpe du Douaisis, et notamment la baisse préventive des niveaux d'eau du canal de la Scarpe supérieure.

1.2 OBJECTIFS

L'étude poursuit plusieurs objectifs :

1. déterminer les conditions d'apparition d'une situation de crise sur le canal de la Scarpe amont dans le Douaisis,
2. déterminer le niveau de navigabilité à atteindre préventivement, et analyser la faisabilité technique de cette baisse,
3. déterminer les moyens opérationnels et les protocoles nécessaires pour détecter la crise, l'anticiper, puis la gérer.

1.3 AIRE D'ÉTUDE

Le périmètre de l'étude est l'ensemble du bassin versant intercepté par la Scarpe supérieure, pour ce qui est de la compréhension des phénomènes de crue et de leur gestion projetée (cf. carte ci-après). Ce territoire correspond peu ou prou au périmètre du SAGE de la Scarpe amont.

A noter que pour certaines parties de l'étude, ce périmètre est :

- étendu à l'aval jusqu'à Douai pour l'analyse de l'épisode historique de juillet 2005 (ou autre événement) et la détermination des conditions d'apparition d'une situation de crise ;
- restreint au canal de la Scarpe amont lui-même pour la modélisation hydraulique.

¹ Etude de pré-faisabilité du délestage d'une partie des eaux de crue de la Scarpe vers la Sensée, Institution Interdépartementale 59/62 pour l'aménagement de la Vallée de la Sensée, hydratec, 2011

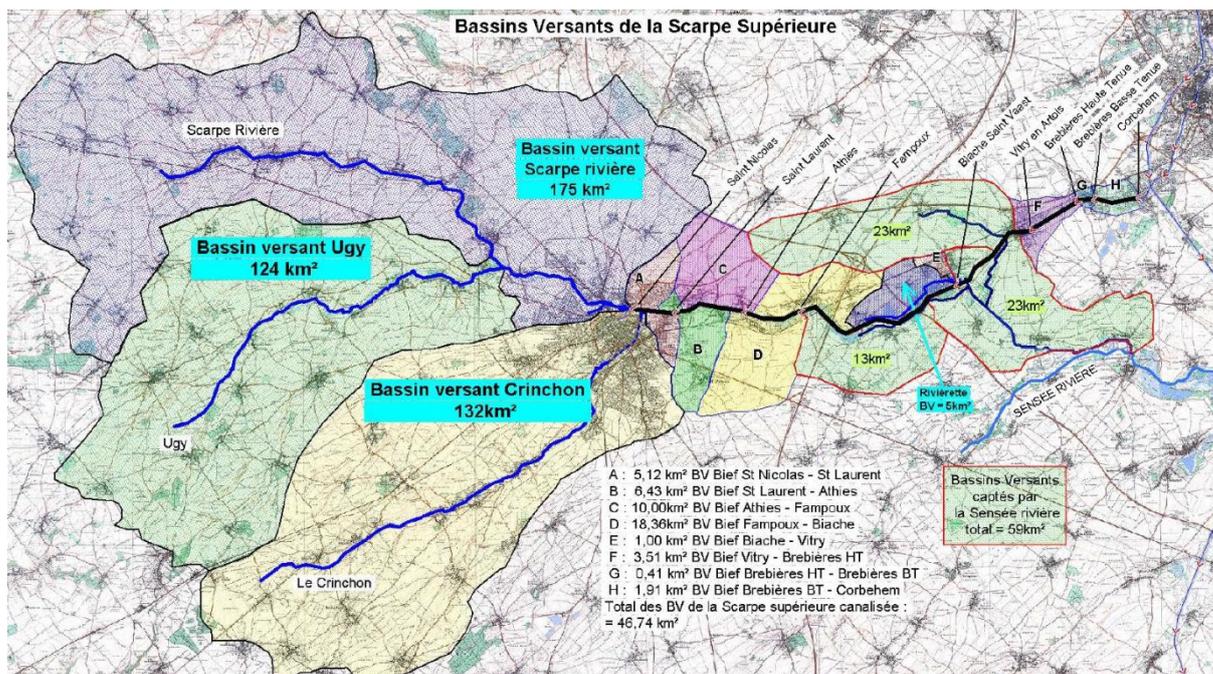


Figure 1-1 : Aire d'étude

Le bassin versant d'étude couvre donc 480 km².

Le présent rapport constitue la première phase de l'étude qui consiste à déterminer les conditions d'apparition d'une situation de crise sur le canal de la Scarpe amont dans le Douaisis.

Une situation de crise est définie comme le débordement du canal vers les terrains de la Communauté d'Agglomération de Douai (35 communes).

1.4 ETUDES ANTÉRIEURES

Suite à l'inondation du secteur de Courchelettes en juillet 2005, la commune a fait réaliser une première étude hydraulique permettant de :

- Comprendre le « pourquoi » de l'inondation de 2005 (dans la limite des données disponibles : levés topographiques, niveaux d'eau dans le canal, localisation de brèches observées en 2005, extension observée des zones inondées),
- Simuler une rupture de digue du canal et les effets hydrauliques de celle-ci sur les zones proposées à l'urbanisation,
- Simuler le fonctionnement du réseau d'assainissement pluvial du secteur étudié afin d'analyser son éventuelle contribution au risque d'inondation,
- Proposer des dispositions préventives et constructives pour pallier ces risques.

Cette étude intitulée « Etude hydraulique sur le risque d'inondation en rive droite du barrage Couteau à Courchelettes » a été réalisée par le bureau d'études V2R Ingénierie & Environnement en juin 2009. Dans la suite de l'étude, elle sera nommée étude 1.

Dans le cadre du SAGE de la Sensée, une étude hydraulique globale a été réalisée par hydratec entre 2004 et 2011. Un volet a consisté à faire une étude de préfaisabilité du délestage d'une partie des eaux de crue de la Scarpe vers la Sensée en février 2010. Cette solution, qui paraissait viable, n'a pas été retenue car les eaux de la Scarpe ne sont pas d'assez bonne qualité. Dans la suite de l'étude, elle sera nommée étude 2.

1.5 ENQUÊTES ET VISITES DE TERRAIN

La mission a débuté par une phase d'enquêtes auprès des acteurs de l'eau du territoire visant à recueillir toutes les informations nécessaires à la présente étude.

Hydratec a déjà rencontré certaines personnes lors des études antérieures mais il s'agit notamment d'approfondir la connaissance de l'évènement de juillet 2005 afin de pouvoir le modéliser dans la suite de l'étude et de savoir si d'autres évènements de même nature se sont produits.

Les données recueillies concernent :

- les stations de mesure existantes (mesures de débits, hauteurs, pluies...) et les grandeurs mesurées lors de l'évènement de 2005 et d'éventuels autres évènements de crise rencontrés par le passé ;
- des données topographiques et bathymétriques ;
- les ouvrages existants et les réseaux d'eaux pluviales/usées qui y sont connectés ;
- les modes de gestion actuels du canal et des territoires voisins (frayère de Fampoux notamment), en temps usuel et en situation de crise.

Les personnes ayant été rencontrées sont les suivantes :

- A la Communauté d'Agglomération de Douai (CAD), Monsieur Hérin, directeur aménagement, réseaux et construction, qui était là lors de l'évènement de juillet 2005 et Madame Guillaume, ingénieur en hydraulique,
- Madame Chuquet, responsable régionale en hydrologie et hydraulique à VNF,
- A la Communauté Urbaine d'Arras (CUA), Madame Fleurquin, directrice environnement et madame Lefebvre, animatrice du SAGE de la Scarpe amont,
- Monsieur Beugnet, directeur de la base nautique à Saint-Laurent et gestionnaire du barrage.

Les barragistes, soumis à des contraintes, n'ont pas été rencontrés dans cette première phase car VNF n'a pas souhaité nous communiquer leurs coordonnées. Les barragistes n'habitent plus près des écluses, mais doivent cependant résider dans un périmètre proche des ouvrages pour pouvoir intervenir rapidement en cas de besoin. D'une manière générale, un barragiste gère quatre ouvrages.

Une visite de terrain a été réalisée le 26/12/2013 avec Madame Fleurquin en vélo le long du secteur de la Scarpe canalisée gérée par la CUA depuis le 1^{er} janvier 2012 entre Saint-Nicolas et Fampoux.

Des personnes ont été contactées par téléphone :

- Monsieur Michael Stienne, technicien de la CC Osartis,
- La DREAL Nord – Pas-de-Calais, mesdames Bertaux-Valère, Van-Belleghem et Buisson,
- Monsieur Debavelaere, conseiller municipal délégué de Vitry-en-Artois

Seule une petite partie du bassin versant de la Scarpe canalisée concerne la Communauté de Communes Osartis.

Les personnes qui ont été contactées figurent dans le tableau ci-après.

Les comptes rendus des entretiens réalisés figurent en annexe 1.

Organisme	Nom	Qualité	Téléphone	Fax	Adresse	Adresse mail	Entretien
VNF	CHUQUET Karine	Responsable régionale hydrologie/hydraulique	03 27 95 91 53		VNF, 20 rue de Bapaume, 59169 FERIN	karine.chuquet@vnf.fr	20/12/2013 11:00
CAD	HERIN Jean-Jacques	Directeur aménagement, réseaux et construction (CAD)	secrétariat Isabelle JAMBART 03 27 99 52 33		CAD, 746 rue Jean-Perrin, Parc d'activités de Dorignies, BP 300, 59351 DOUAI Cedex	jjherin@douaisis-agglo.com	20/12/2013 09:00
	DUROSSEAU Michel	Vice Président de la CAD					Non
	GUILLAUME Emeline	ingénieur hydraulique (CAD)	03 27 99 89 18			eguillaume@douaisis-agglo.com	20/12/2013 09:00
VEOLIA (CUA)	KOSMALSKI Laurent	Directeur				laurent.Kosmalski@veoliaeau.fr	mail le 17/12/2013
	FAUQUET Patrick	En charge des écluses entre Arras et Fampoux dans le cadre DSP	03 21 08 69 33 06 03 78 03 09			patrick.fauquet@veolia.com	Contact téléphonique + mail le 17/12/2013
	VIGNERON Frédéric	Homme de terrain					
CUA	FLEURQUIN Coralie	Directrice Environnement (CUA)	secrétariat Fabienne DREVILLE 03 21 21 87 73		Siège CUA, La Citadelle, Bd du Général de Gaulle, BP 10345, 62026 ARRAS Cedex	c.fleurquin@cu-arras.org	20/12/2013 14:00 +terrain le 26/12/2013
	CARBONNET Didier	Direction Infrastructures Transports et Bâtiments, en charge de l'assainissement	03 21 21 86 70				Contact téléphonique voir avec VEOLIA
	BEUGNET Thierry	Directeur de la base nautique, gestionnaire du barrage de St-Laurent Blangy	03 21 73 74 93			thierry-beugnet@saint-laurent-blangy.fr	Entretien le 20/12/2013
DDTM59	CIGLIANA Sylviane	Direction Territoriale de Douai	03 27 93 56 56		62 Bd de Belfort, 59000 Lille	sylviane.cigliana@nord.gouv.fr	mail le 17/12/2013
DDTM62	DESMARETZ Florence		03 21 50 30 15		100 avenue Winston Churchill, SP 7, 62022 ARRAS	florence.desmaretz@pas-de-calais.gouv.fr	mail le 17/12/2014
DREAL	BERTAUX VALERE Marie-Alexandrine		03 20 13 65 94		44 rue de Tournai CS40259 59019 LILLE Cedex	marie-alexandrine.beriaux@developpement-durable.gouv.fr	téléphone le 9/01/2014
SAGE Scarpe amont	LEFEBVRE Anne-Sophie	Animatrice	03 21 21 01 57		CUA	as.lefebvre@cu-arras.org	RDV 20/12/2013
Com com OSARTIS	STIENNE Michael	Technicien	03 21 600 605		Rue Jean Monnet, 62490 Vitry-en-Artois	amb.michael@cc-osartis.com	téléphone 19/12/2013
	DEBAVELAERE Michel	Conseiller Municipal de Vitry-en-Artois	06 75 01 92 14				Contacté au téléphone le 16/01/2014

Tableau 1-1 : Liste des personnes contactées

2 PRÉSENTATION DU SECTEUR D'ÉTUDE

2.1 PRESENTATION GENERALE DU TERRITOIRE

Le bassin versant de la Scarpe canalisée recouvre plusieurs intercommunalités d'ouest en est :

- La Communauté de Communes de l'Atrébatie au nord-ouest du bassin,
- La Communauté de Communes « La Porte des Vallées » au nord-est du bassin,
- La Communauté Urbaine d'Arras (CUA),
- La Communauté de Communes OSARTIS,
- La Communauté d'Agglomération du Douaisis (CAD).

La Scarpe canalisée s'étend de la darse de Méaulens jusqu'à la confluence dite des « 4 canaux » sur près de 24 km. Elle est constituée de 10 biefs de navigation dont les niveaux sont maintenus par des clapets automatiques associés aux écluses de navigation :

- en amont de l'écluse de Saint-Nicolas (seul ouvrage où il n'y a pas de clapet automatique),
- entre les écluses de Saint-Nicolas et Saint-Laurent,
- entre les écluses de Saint-Laurent et Athies,
- entre les écluses d'Athies et Fampoux,
- entre les écluses de Fampoux et Biache,
- entre les écluses de Biache et Vitry,
- entre les écluses de Vitry et Brebières Haute Tenue,
- entre les écluses de Brebières Haute Tenue et Brebières Basse Tenue,
- entre les écluses de Brebières Basse Tenue et Corbehem,
- entre les écluses de Corbehem et de Couteau.

Le passage d'un bief à l'autre s'effectue par un bief d'écluse et un bief avec barrage (clapet automatique qui maintient un niveau amont) et une vanne manuelle. L'exemple suivant montre les ouvrages au niveau d'Athies.

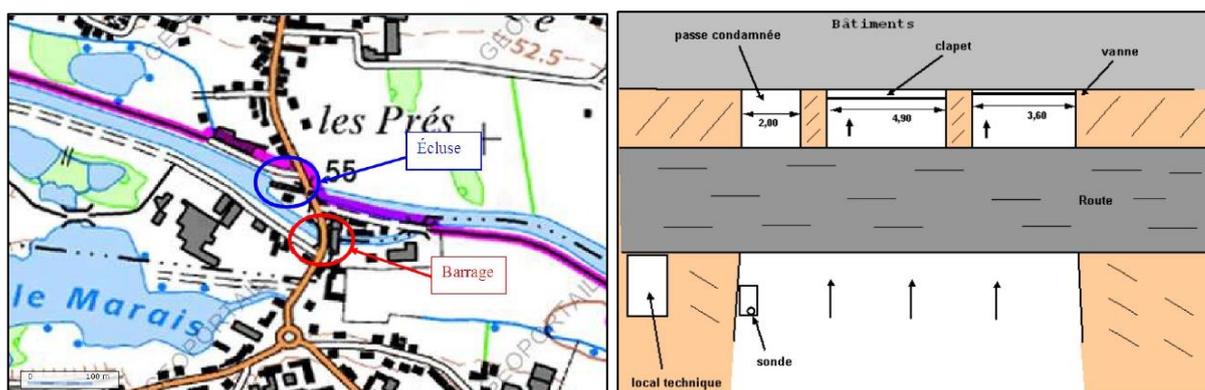


Figure 2-1 : Situation et ouvrages au niveau d'Athies

La figure page suivante présente les 10 biefs de navigation et les ouvrages associés.

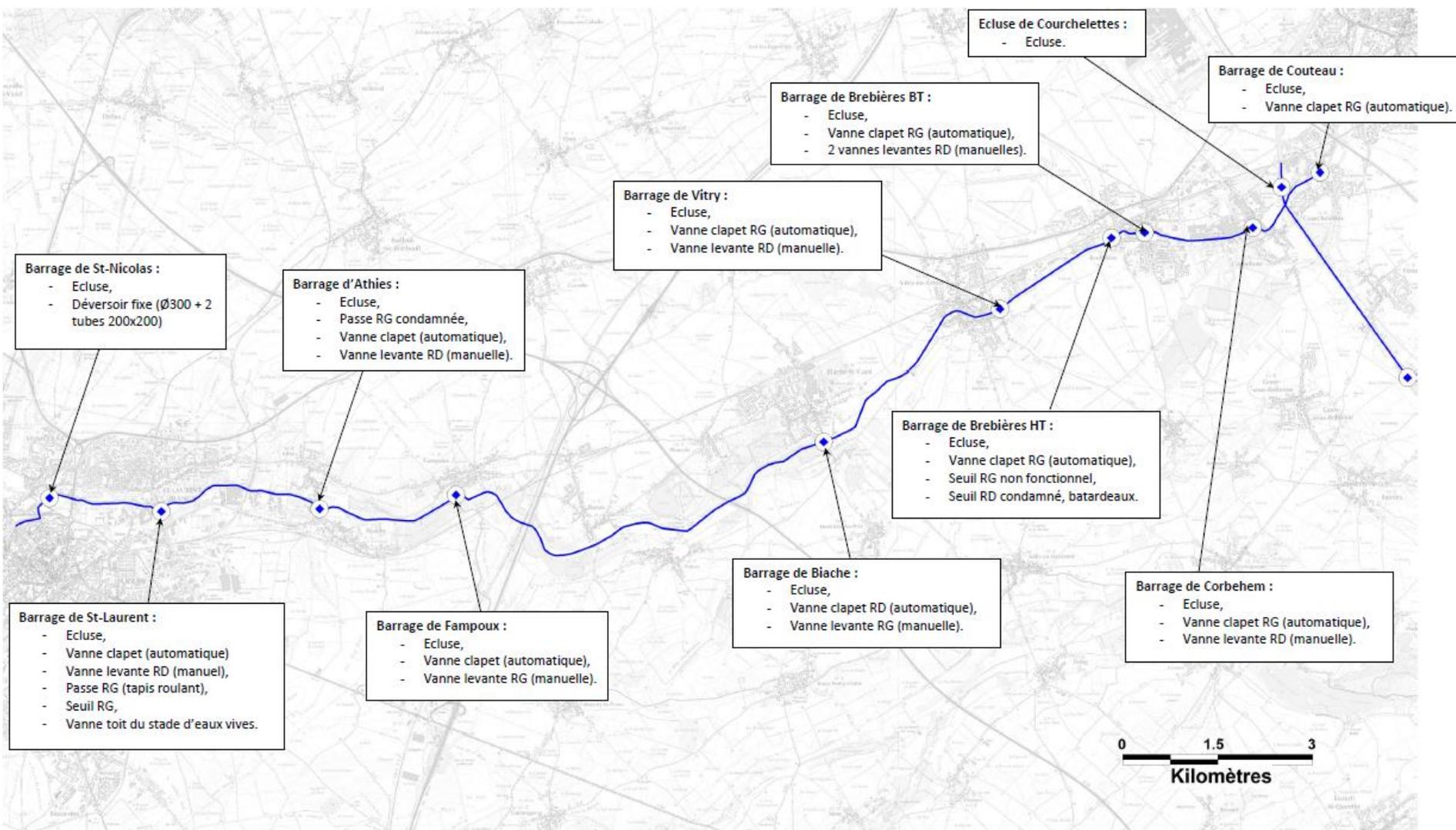


Figure 2-2 : Plan de situation des 10 biefs de navigation de la Scarpe canalisée

Le débit de la Scarpe canalisée est connu grâce à une station DREAL située à Brebières en aval de la Scarpe canalisée.

La partie amont de la Scarpe canalisée jusqu'à Fampoux est gérée par la CUA, via une expérimentation de décentralisation de la voie d'eau depuis le 1^{er}/01/2012 pour une durée de 6 ans. La partie aval est toujours gérée par Voies Navigables de France (VNF).

Les principaux affluents de la Scarpe canalisée sont :

- La Scarpe rivière, qui prend sa source à Berles-Monchel à une altitude d'environ +100 m, elle est considérée comme une rivière à berges naturelles,
- Le Gy, qui prend sa source entre Lattre-St-Quentin et Avesnes-le-Comte à une altitude d'environ +95 m, et se jette dans la Scarpe à Anzin-St-Aubin (nord-ouest d'Arras),
- Le Crinchon, qui prend sa source à Rivière à une altitude d'environ + 80 m, puis s'écoule en direction du nord-est jusqu'à son entrée dans Arras, au niveau de la Citadelle d'Arras, où son cours est busé pour ensuite franchir l'agglomération par un canal souterrain.

Le Gy est un affluent important de la Scarpe rivière. Il existe une station DREAL à Duisans en aval du Gy. La Scarpe rivière et le Crinchon viennent se jeter dans la Scarpe canalisée.

La figure suivante présente les sous-bassins versants de la Scarpe canalisée, les territoires associés et les deux stations DREAL.

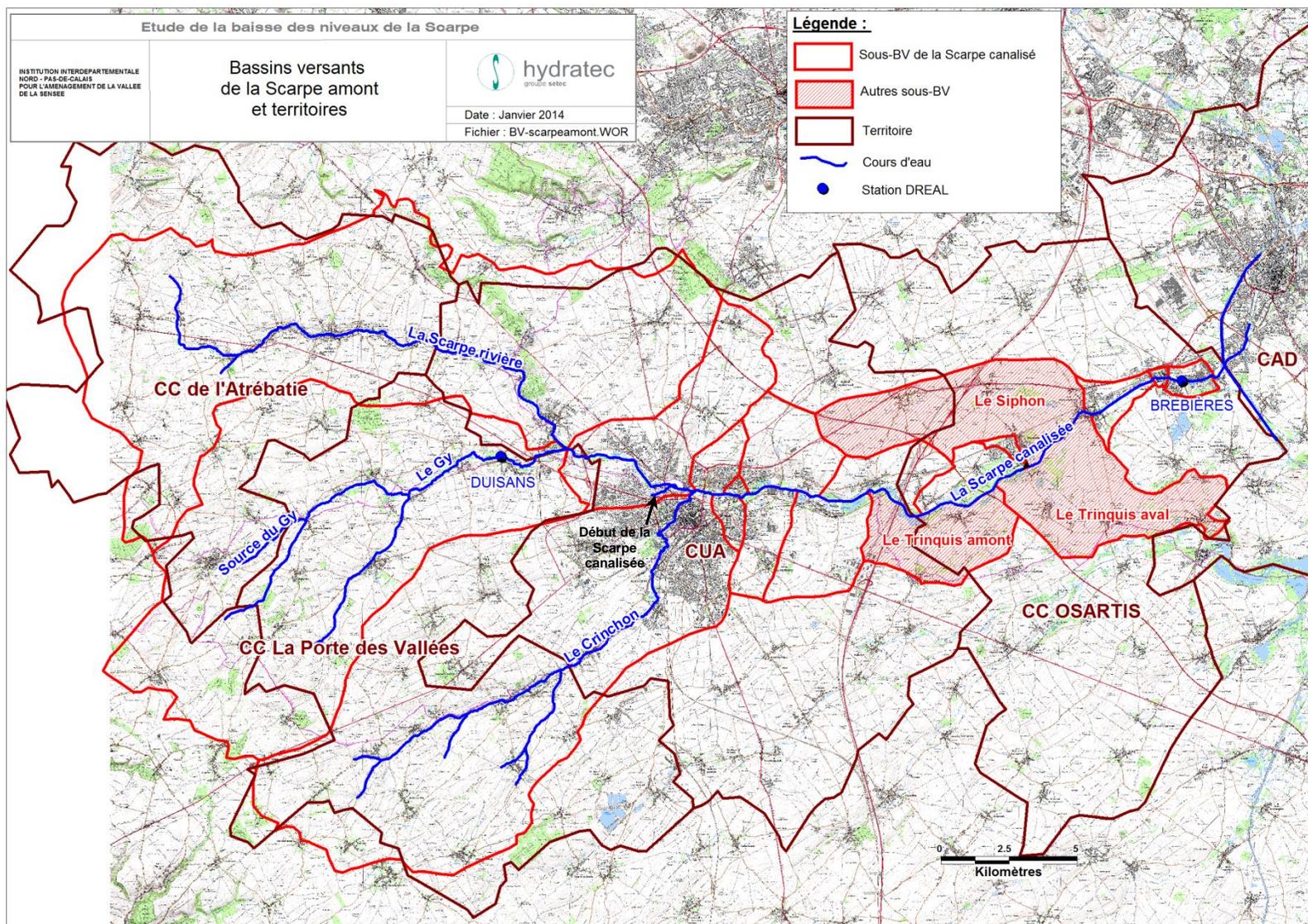


Figure 2-3 : Bassins versants de la Scarpe amont et territoires associés

La partie la plus importante du bassin versant de la Scarpe canalisée arrive en tête de la rivière comme on peut le voir sur la figure suivante.

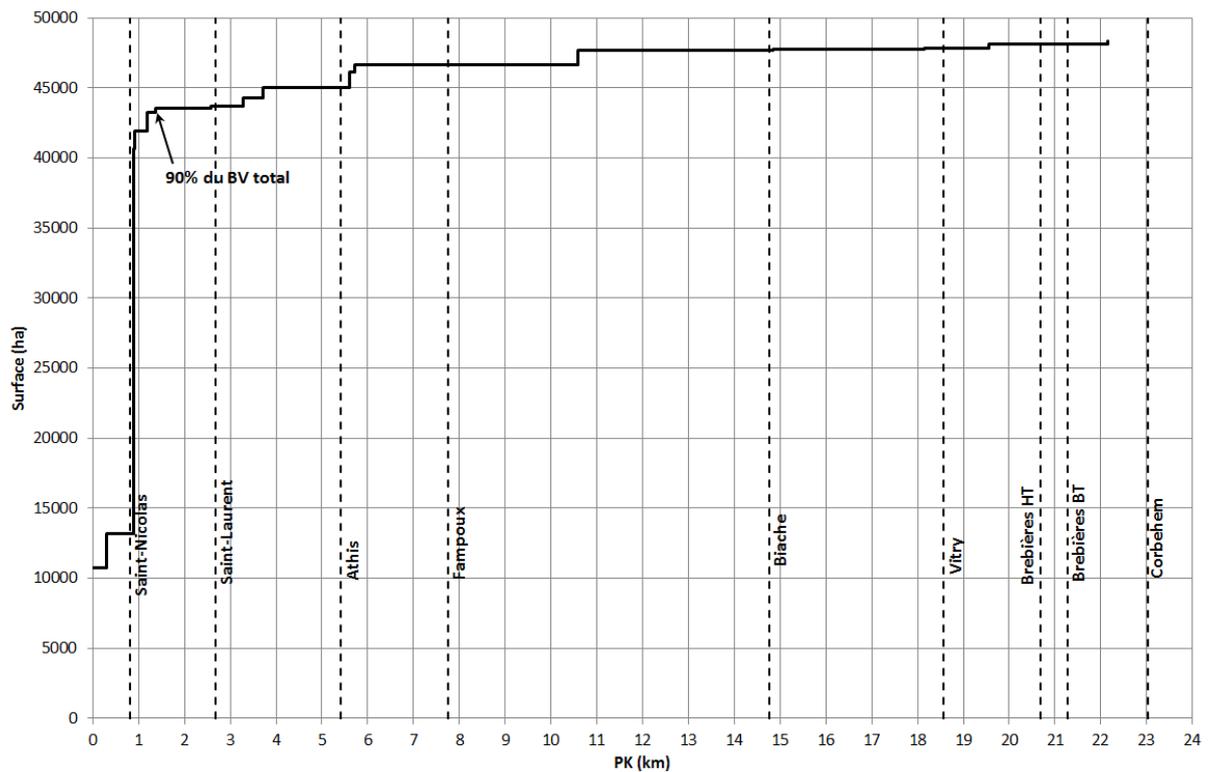


Figure 2-4 : Evolution de la surface du bassin versant de la Scarpe canalisée

En effet, le bief Saint-Nicolas – Saint-Laurent reçoit 90% du bassin versant total. Tout se joue donc en tête de la Scarpe.

2.2 CONTEXTE GEOLOGIQUE

D'après les extraits des cartes géologiques de Douai et Arras (cf page suivante), les formations affleurantes, au droit de la Scarpe canalisée, de la plus récente à la plus ancienne, sont les suivantes :

- Limons de lavage (LV) : Limon provenant essentiellement du remaniement pléistocène. Il contient souvent des matières organiques.
- Alluvions modernes (Fz) : dépôts fluviatiles hétérogènes composés d'argile et de sable. Elles peuvent renfermer des niveaux de cailloutis.
- Dépôts tertiaire (Landénien e2b et e2a) : ils subsistent sous formes de buttes boisées (Villiers-au-Bois, Camblain – l'Abbé). Ils se sont déposés au cours d'une phase de transgression marine sur le substratum crayeux sous-jacent. Les dépôts les plus anciens de cette série sont les argiles de Louvil.
- Craie Sénonienne (c4) : craie blanche d'une cinquantaine de mètres.
- Craie turonienne (c3c) : craie grise à silex d'une quinzaine de mètres.

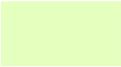
Quaternaire Terrains de couverture	 Limon de lavage (LV)
Quaternaire Alluvions	 Alluvions modernes (Fz)
Tertiaire Eocène	 Landénien, sables et Grés d'Ostricourt (e2b)  Landénien inférieur sable, tuffeau et argile sableuse (e2a)
Secondaire Crétacé supérieur	 Sénonien, craie à micraster decipiens (c4)  Turonien supérieur, craie à Micraster leskei (c3c)

Figure 2-5 : Log synthétiques des formations au droit de la Scarpe

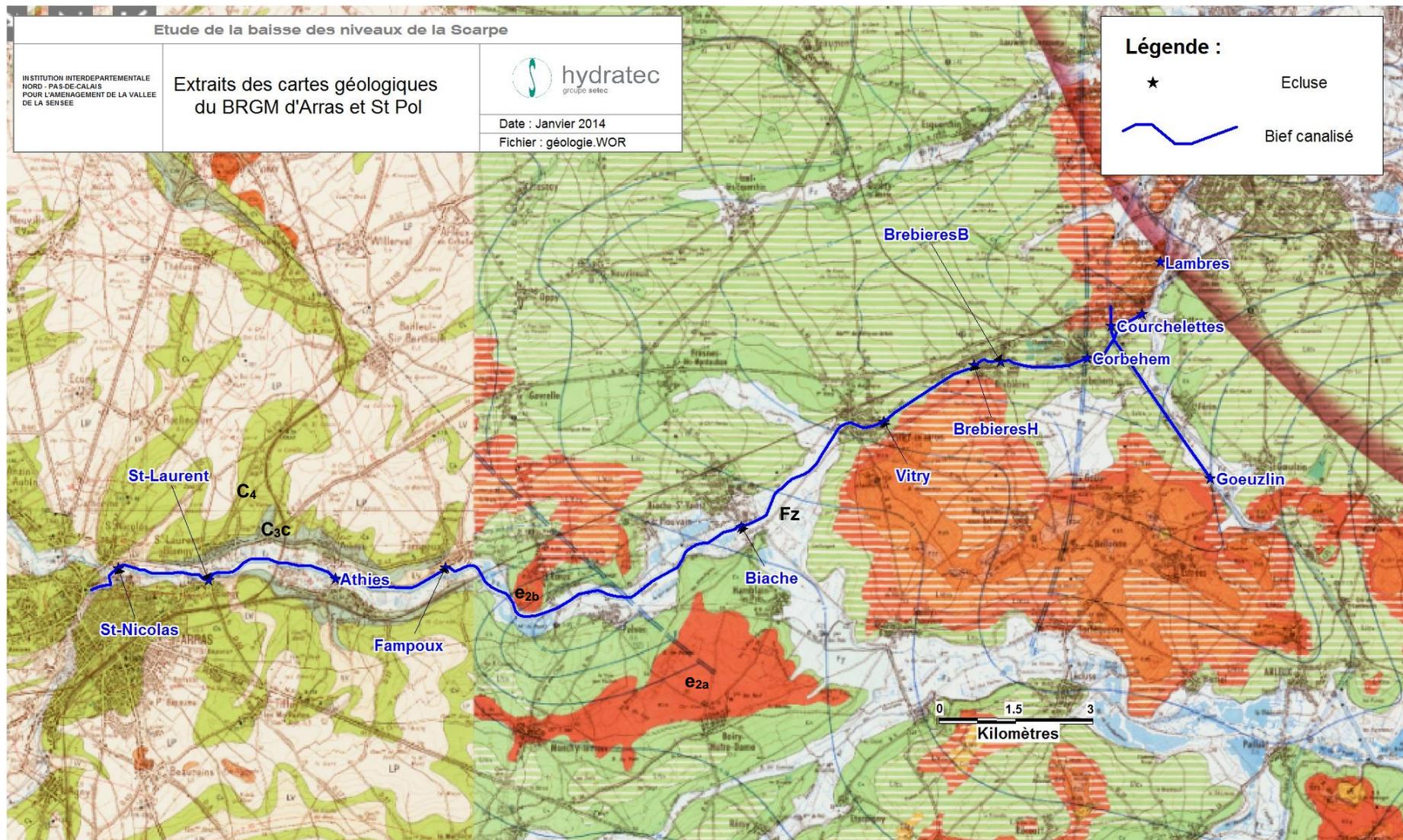


Figure 2-6 : Extraits des cartes géologiques d'Arras et Douai (BRGM)

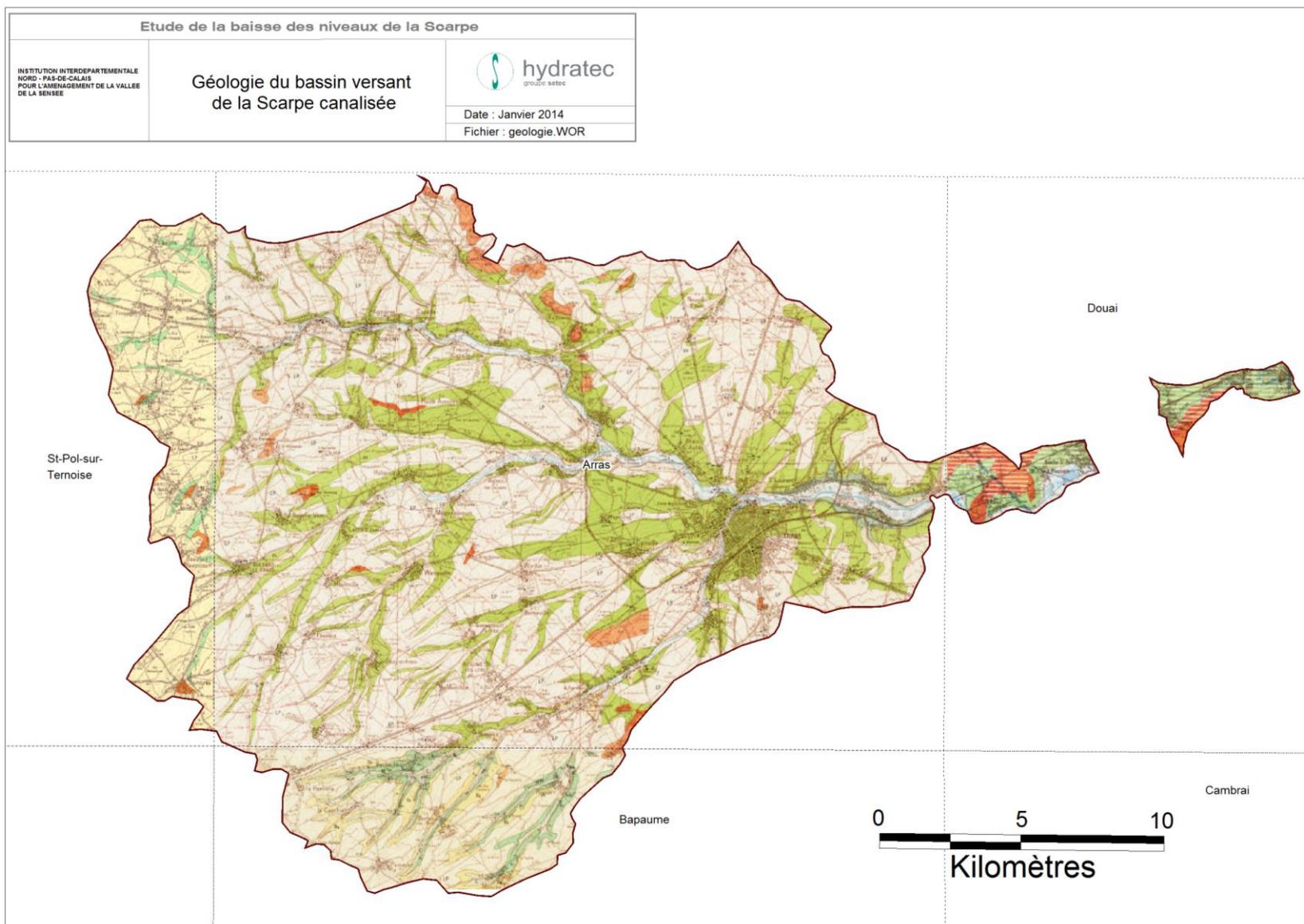


Figure 2-7 : Carte géologique du bassin versant de la Scarpe canalisée

2.3 CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE

2.3.1 Présentation des masses d'eau

La cartographie des masses d'eau sur le secteur, issue du référentiel national des masses d'eau est présentée ci-dessous.



Figure 2-8 : Carte des masses d'eau souterraines

D'après la cartographie des masses d'eau, la Scarpe canalisée est située sur le système aquifère « craie des vallées de la Scarpe et la Sensée » (FRAG006).

La nappe de la craie (Sénonien et Turonien) est l'aquifère le plus important et le plus sollicité de la région.

La nappe des sables d'Ostricourt est également présente au droit du secteur d'étude mais elle est de faible productivité (quelques m³/h). Cette formation est individualisée par les argiles de Louvil à la base.

2.3.2 Données piézométriques

Le Réseau National de surveillance des Eaux Souterraines (RNES) possède un réseau piézométrique réparti de façon homogène sur le territoire français et permet un suivi piézométrique des différentes masses d'eau.

A l'aide de ce réseau, il est possible de :

- Connaître les variations piézométriques de la nappe au cours du temps,
- Déterminer le battement moyen de la nappe,
- Distinguer les années humides, les années sèches et les années moyennes et définir les périodes retour associées.

Le piézomètre du RNES le plus proche du projet et ayant une chronique piézométrique complète est numéroté 00263X0129 par la Banque du Sous-Sol (BSS). Il est situé sur la commune de Maroeuil (située à 6,5 km au nord-ouest d'Arras) et appartient à la masse

d'eau craie des vallées de la Scarpe et de la Sensée (FRAG006). Le piézomètre affiche une chronique piézométrique de 1974 jusqu'à ce jour (source : site internet ADES).

Grâce à cette chronique piézométrique complète, des courbes statistiques de basses eaux, de hautes eaux et de moyennes eaux peuvent être créées. Il est ainsi possible de définir le régime hydrométrique de l'année piézométrique dans son ensemble.

Les courbes statistiques indiquent que la nappe de la craie a sa période de hautes eaux en juin-juillet et l'étiage en janvier.

D'après la Figure 2-9, la crue majeure de la Scarpe en 2005 s'est produite lors d'une année moyenne à basse sur l'ensemble du cycle de la nappe. Lors de la crue, en juillet 2005, la nappe est à son maximum de l'année à + 60.7 m NGF, mais cette valeur reste faible par rapport aux cotes atteintes en 2001.

A titre de comparaison, l'année 2001, année à pluviométrie exceptionnelle, et l'année 1997, année avec sécheresse importante, sont présentées dans le graphique des courbes statistiques.

L'année 2001 est la plus forte crue de nappe jamais enregistrée à Maroeuil. La cote maximale de la nappe se situait entre + 62 m NGF et + 63 m NGF. Ce qui signifie que la nappe a été sub-affleurante pendant environ 14 semaines.

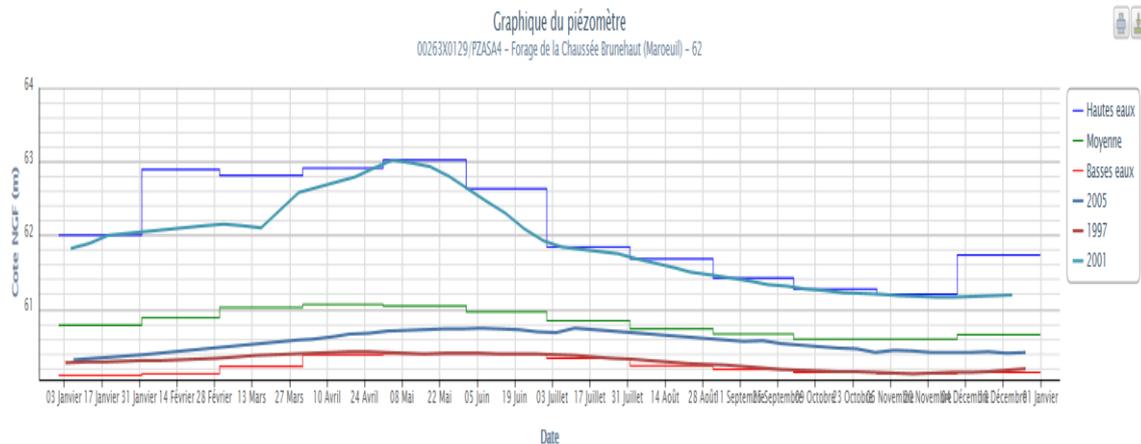


Figure 2-9 : Courbes statistiques du piézomètre de Maroeuil 00263X0129

Un indicateur BSH (Bulletin de Situation Hydrologique) permet de définir les périodes de retour des situations hydrogéologiques. Il est calculé à partir des données validées ou en cours de validation pour une période minimale de 10 ans. La fréquence d'occurrence de calcul de l'indicateur pour le mois de juillet 2005 est de 2.5 à 5 ans sec d'après la figure suivante.

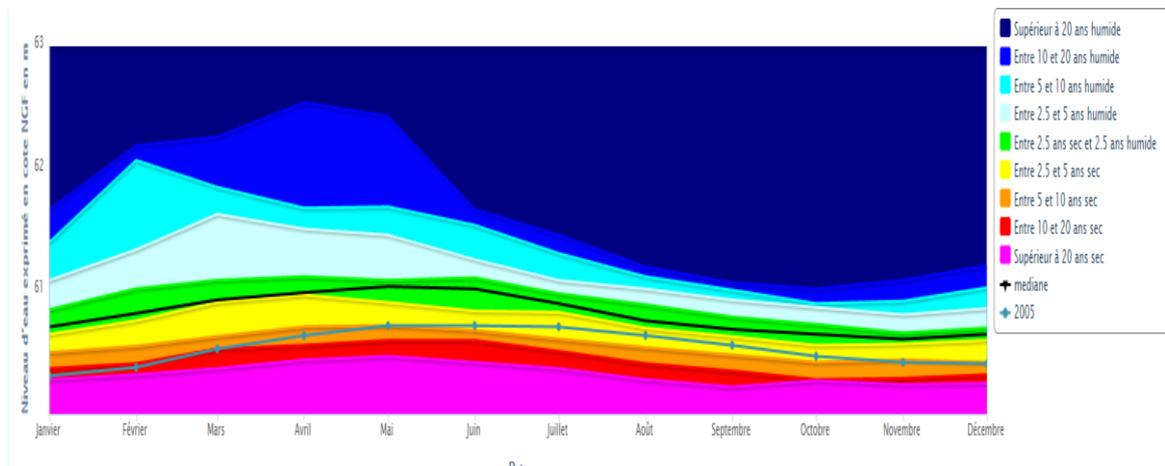


Figure 2-10 : Indicateur BSH pour l'année 2005

Par conséquent, en 2005, la nappe n'est pas intervenue dans la crue de la Scarpe puisque cette dernière s'est produite pendant une année de sécheresse.

En 2001, année pluviométrique exceptionnelle (la période de retour de la nappe est estimée à plus d'une fois tous les 20 ans), il n'y a pas eu de débordement particulier sur la Scarpe canalisée, mais on ne connaît pas les débits cette année-là à Brebières. On ne sait donc pas s'il y a eu une crue sur la Scarpe en 2001. On sait que le 7 juillet 2001, il y a eu une crue importante sur le Crinchon comme l'attestent les photos ci-dessous.



Figure 2-11 : Crue du Crinchon le 7 juillet 2001 (extrait d'internet du site privé de Monsieur Lagache d'Archicourt)

La crue sur le Crinchon n'a pas, à notre connaissance, entraîné de débordement à l'aval sur la Scarpe canalisée.

En résumé, d'après les enquêtes menées, il ne semble pas que la nappe ait déjà provoqué de débordement du canal par le passé.

2.3.3 Relation nappe-rivière ou nappe-canal

➤ Qualité des échanges nappe/rivière et nappe/canal

Dans le cadre du SAGE de la Sensée, une étude hydraulique globale a été réalisée par hydratec entre 2004 et 2011 (étude (2)), dans laquelle la modélisation hydrogéologique avait permis de réaliser un bilan des potentiels d'échange entre la nappe de la craie et le réseau hydrographique. Ils sont présentés sur la figure ci-après. Le tracé de la Scarpe canalisée et de ses affluents a été superposé à cette figure (trait fin bleu).

L'étude concluait à un bon échange entre la nappe avec le Cojeul et la nappe avec la Sensée. On peut donc supposer que le Crinchon, la Scarpe rivière et le Gy (situés sur des terrains similaires au Cojeul et à la Sensée) ont également un bon échange avec la nappe de la craie.

Par contre, l'étude n'a pas pu conclure sur la qualité des échanges nappe/canal (canal du nord, canal de la Sensée), faute de données.

Aucune autre information n'a été trouvée dans la littérature à ce sujet.

➤ Quantification des apports de nappe dans le canal

Un rapport du Burgeap a été réalisé en 2005 pour le compte de la CUA afin de définir l'incidence de l'arrêt des captages de Méaulens. Des données de débit des cours d'eau en mai 2001 (par jaugeage) ont été relevées dans ce rapport :

- Sur la Scarpe à Ste-Catherine : 9,2 m³/s,
- Sur le Gy à Duisans : 2,5 m³/s,
- Sur la Fontaine Baudimont à Ste-Catherine : 0,66 m³/s.

En considérant que le Gy et le Crinchon produisent un débit similaire (la surface de leur bassin est respectivement de 124 km² et 132 km²) et en sommant ces 3 débits, on obtient globalement le débit entrant dans la Scarpe canalisée en mai 2001 qui est donc de l'ordre de 12,3 m³/s.

Dans le volet concernant la modélisation hydraulique et le calage de l'étude hydratec (2), la part entre le volume ruisselé et les apports de nappe a été déterminée pour la crue de mars 2001 ; elle est de 46 %. En faisant l'hypothèse que les apports de nappe représentent la même proportion pour la Scarpe rivière et la Sensée, on en déduit qu'en mai 2001 les apports de nappe en entrée du canal de la Scarpe était de l'ordre de :

$$12,3 \times 0,46 = 5,6 \text{ m}^3/\text{s}.$$

D'autre part, le débit de nappe injecté dans le modèle hydratec de la Sensée était de 3,35 m³/s à Etaing pour la crue de mars 2001. En faisant le ratio du linéaire de cours d'eau de la Sensée (environ 40 km) avec celui de la Scarpe rivière (environ 60 km), on en déduit le débit de la nappe de la Scarpe rivière qui est de l'ordre de 5 m³/s à l'entrée du canal.

Les deux façons d'évaluer le débit de nappe en entrée de la Scarpe canalisée en 2001, année de crue exceptionnelle pour la nappe, donnent donc des résultats similaires de l'ordre de 5 m³/s.

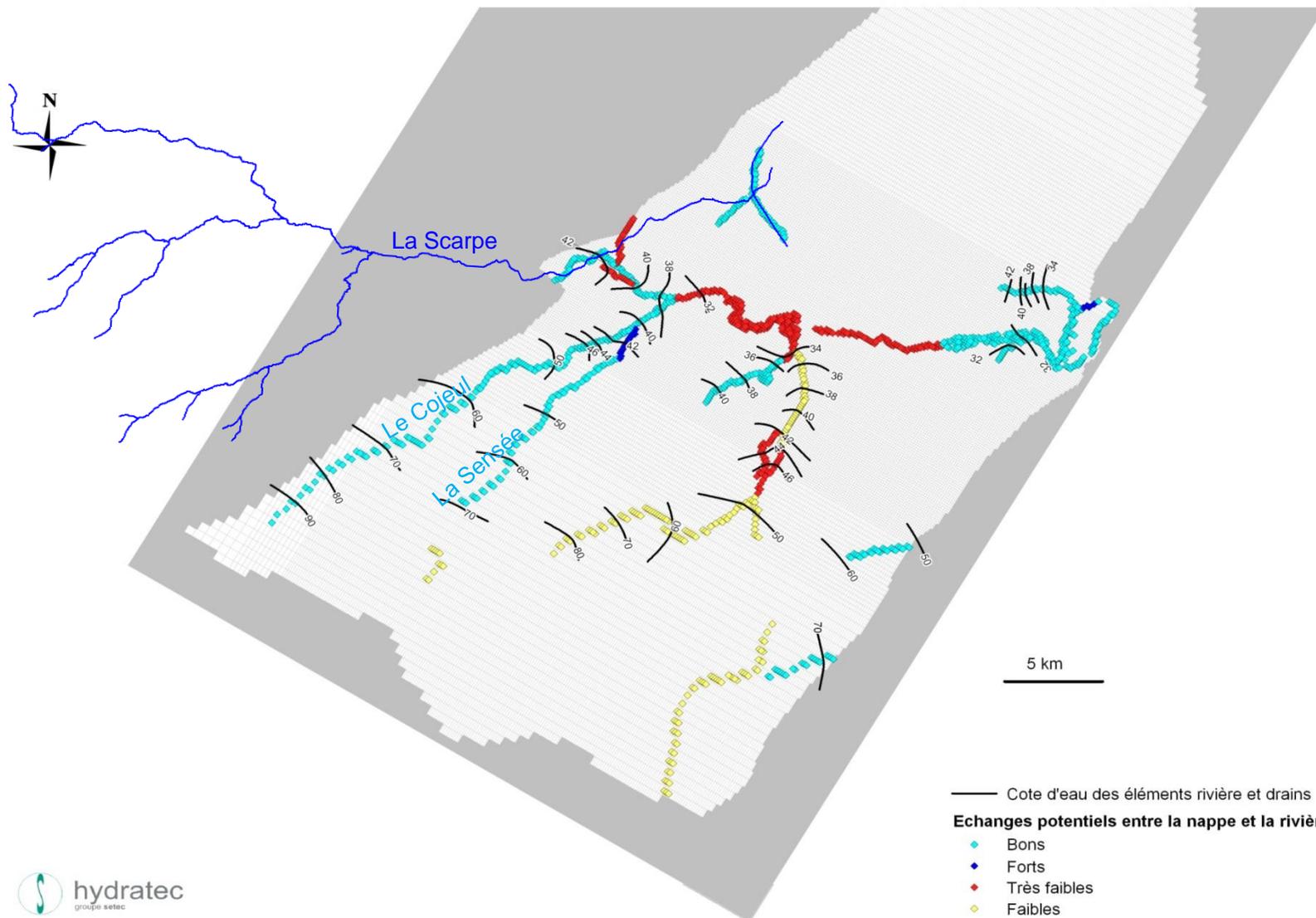


Figure 2-12 : Potentiel d'échange entre les éléments rivières/drains et la nappe de la craie

2.4 MODE D'OCCUPATION DU SOL DU BASSIN VERSANT DE LA SCARPE CANALISÉE

La base de données géographique CORINE Land Cover est produite dans le cadre du programme européen de coordination de l'information sur l'environnement CORINE. Cet inventaire biophysique de l'occupation des terres fournit une information géographique de référence notamment en France.

La base utilisée pour caractériser le bassin versant de la Scarpe canalisée date de 2006. Elle est présentée sur la figure Figure 2-14.

Le tableau suivant permet d'identifier les types d'occupation du sol qui dominent sur le bassin versant.

Type de territoire	Code	Nomenclature	Surface (ha)	%	%
Territoires artificialisés	111	Tissu urbain continu	89	0.2	12.6
	112	Tissu urbain discontinu	4472	9.2	
	121	Zones industrielles et commerciales	1189	2.4	
	122	Réseaux routier et ferroviaire et espaces asso	71	0.1	
	131	Extraction de matériaux	42	0.1	
	141	Espaces verts urbains	91	0.2	
	142	Equipements sportifs et de loisirs	179	0.4	
Territoires agricoles	211	Terres arables hors périmètres d'irrigation	36173	74.4	84.5
	231	Prairies	3671	7.6	
	242	Systèmes culturaux et parcellaires complexes	1230	2.5	
Forêts et milieux semi-naturels	311	Forêts de feuillus	1075	2.2	2.5
	312	Forêts de conifères	58	0.1	
	322	Landes et broussailles	27	0.1	
	324	Forêt et végétation arbustive en mutation	56	0.1	
Zones humides	411	Marais intérieurs	153	0.3	0.3
Surfaces en eau	512	Plans d'eau	30	0.1	0.1

Tableau 2-1 : Répartition des différents types d'occupation du sol sur le BV de la Scarpe

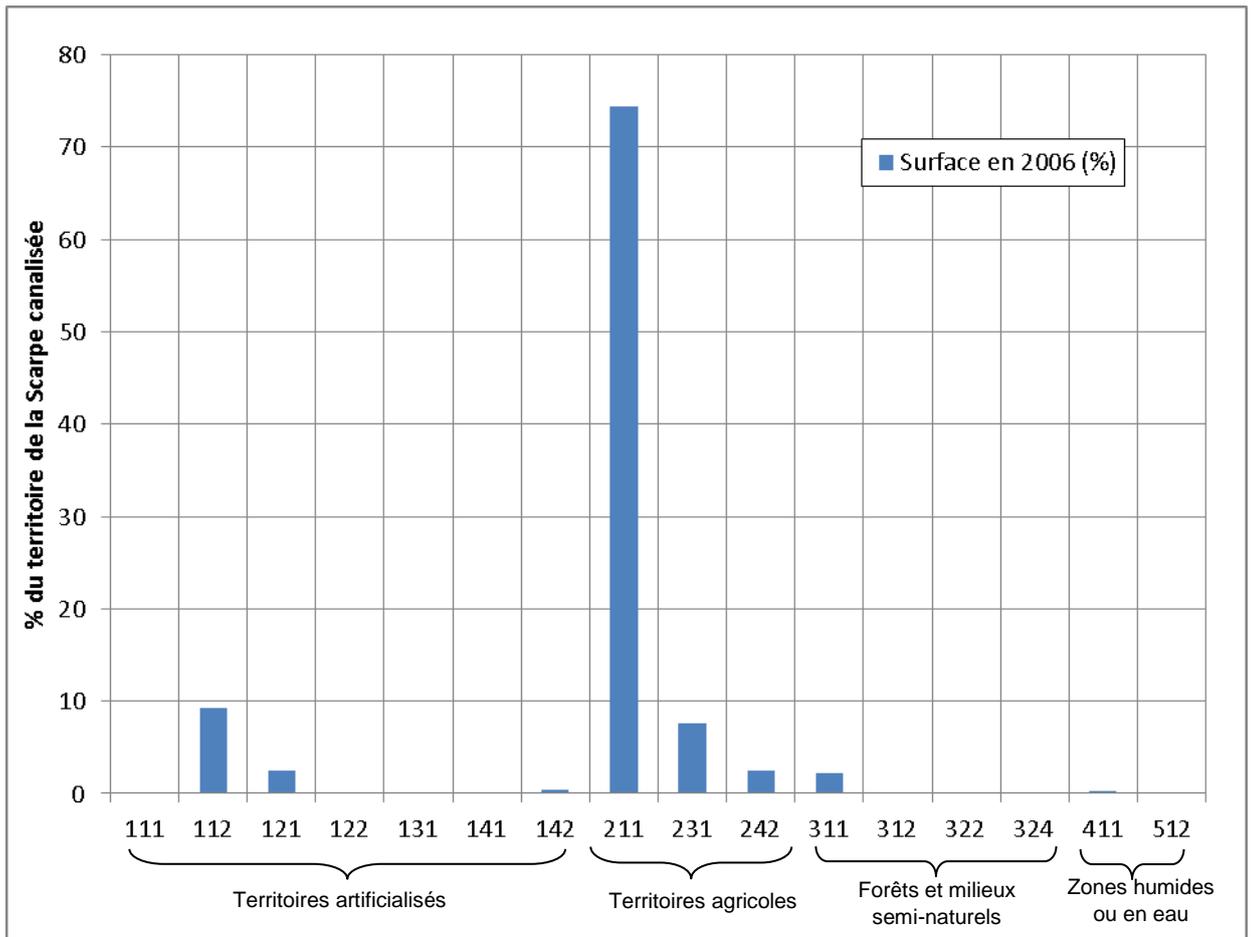


Figure 2-13 : Graphique de répartition de l'occupation des sols sur le BV de la Scarpe

Ce sont les territoires agricoles qui dominent largement l'occupation des sols du bassin versant de la Scarpe avec 85 %. Les territoires artificialisés ne représentent que 13 % du territoire. Ils sont essentiellement répartis au niveau de la communauté urbaine d'Arras et le long de la Scarpe canalisée et plus ponctuellement sur le reste du bassin versant.

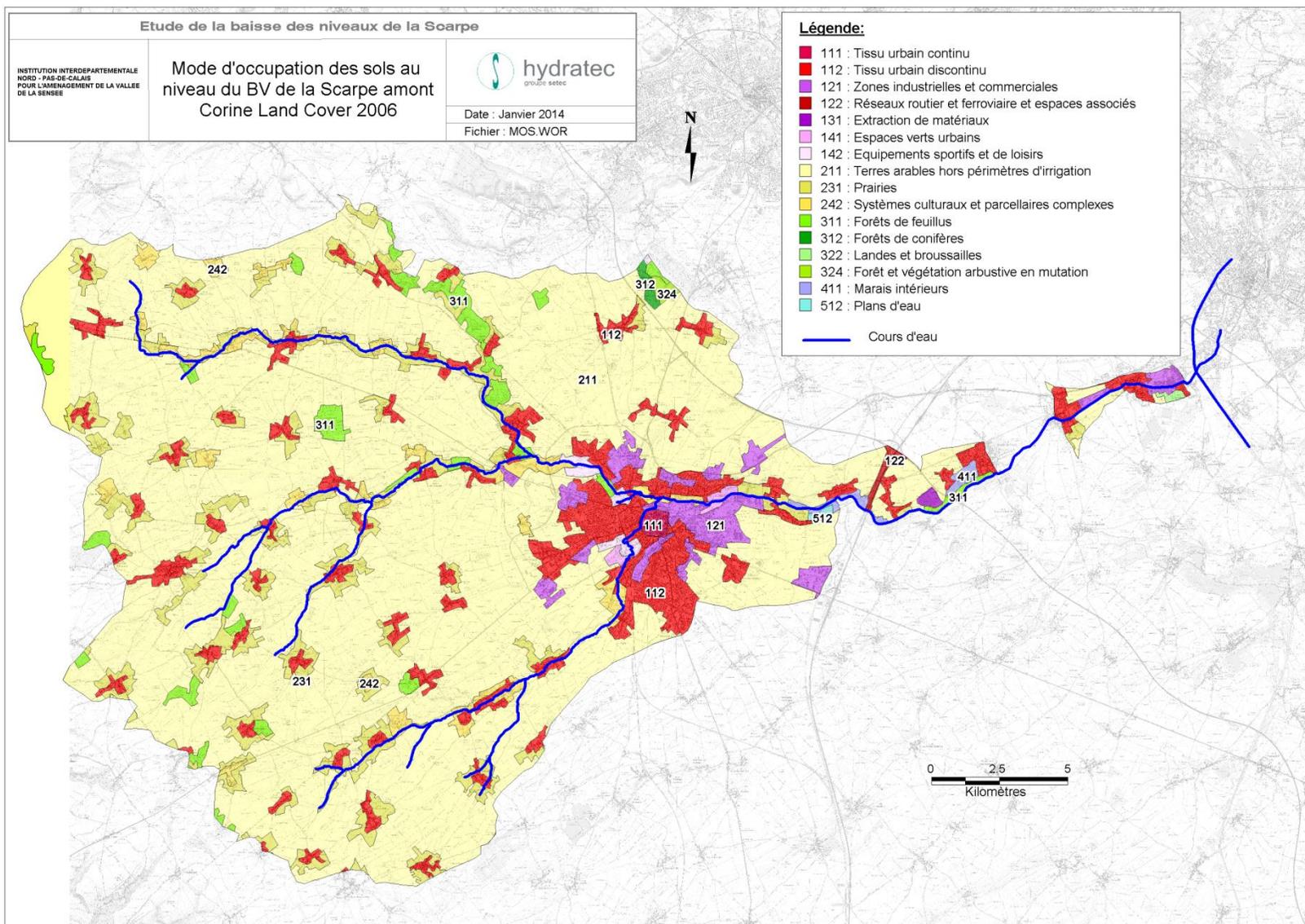


Figure 2-14 : Mode d'occupation des sols au niveau du bassin versant de la Scarpe canalisée

La figure suivante permet de voir la localisation des différents types de bassins versants le long du canal de la Scarpe.

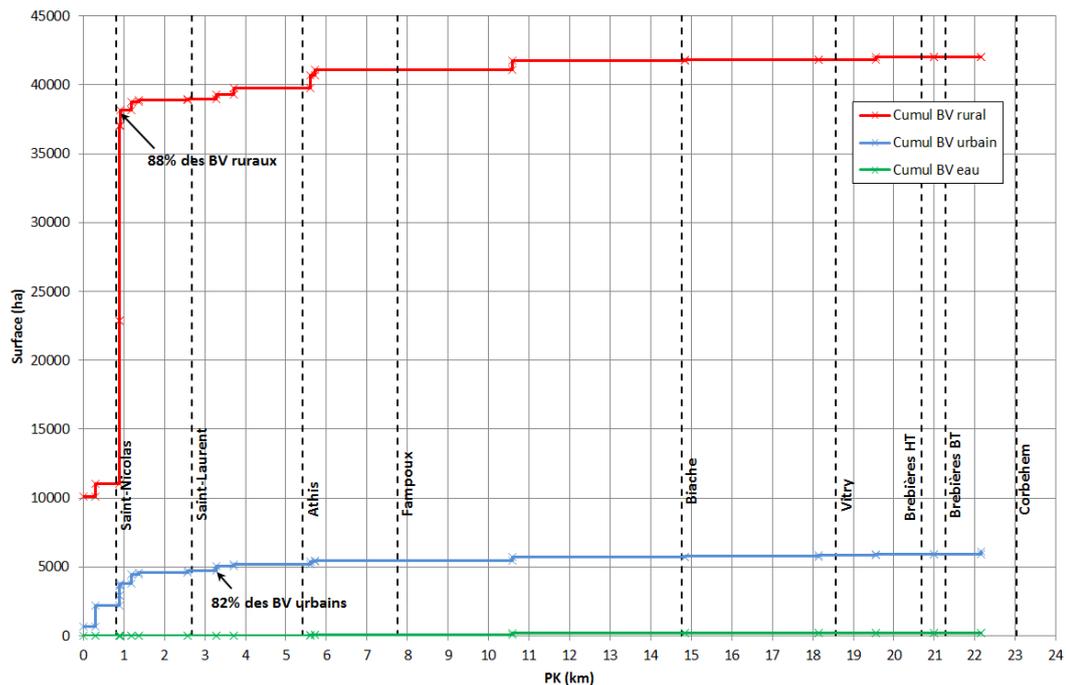


Figure 2-15 : Evolution du bassin versant (rural, urbain, eau) le long de la Scarpe canalisée

Les bassins versants ruraux sont donc situés en tête du bassin versant et ont un temps de réaction plus long que les bassins urbains. Ces derniers sont situés plus en aval du bassin. Les perturbations et orages se déplaçant généralement d'ouest en est, on peut supposer que les crues provenant de l'amont des bassins versants ruraux (plus lentes mais se créant les premières) et le ruissellement urbain du secteur d'Arras (plus rapide mais se produisant un peu plus tard) peuvent plus facilement se conjuguer.

2.5 ANALYSE TYPOLOGIQUE DU CANAL

2.5.1 Données topographiques recueillies

En début d'étude et lors d'entretiens, plusieurs types de données topographiques ont été recueillis :

- Des levés bathymétriques (fournis par VNF),
- Des plans topographiques sur des secteurs localisés (fournis par VNF et la CUA),
- Les caractéristiques des ouvrages dans les dossiers d'ouvrages fournis par VNF ainsi que les niveaux de navigation pour chaque bief (NNN : Niveau Normal de Navigation, PBEN : Plus Basses Eaux Navigables, PHEN : Plus Hautes Eaux Navigables).

La figure page suivante récapitule les différents secteurs où de la topographie a été recueillie :

- Secteur 0 : Axe Darse de Méaulens – St-Laurent : il s'agit d'un plan topographique sous format Autocad avec des points topographiques et 41 levés bathymétriques réalisés en 2011,
- Secteur 1 : Axe St-Laurent – Athies : 53 profils bathymétriques numérotés de P50 à P2600 tous les 50 m, levés en mars 2009,
- Secteur 2 : Axe Athies – Fampoux : 44 profils bathymétriques numérotés de P0 à P2250 tous les 50 m, levés en mars 2009,

- Secteur 3 : Axe Fampoux – Biache : 136 profils bathymétriques numérotés de P50 à P6900 tous les 50 m, levés en avril 2009,
- Secteur 4 : Axe Biache – Vitry : 13 profils bathymétriques levés en 1988 mais non positionnés,
- Secteur 5 : Axe Vitry – Brebières HT : 6 profils bathymétriques levés en 1988 mais non positionnés,
- Secteur 6 : Axe Brebières HT – Brebières BT : 18 profils bathymétriques levés en 1988 mais non positionnés,
- Secteur 7 : Axe Brebières BT – Corbehem : 21 profils bathymétriques levés en 1988 mais non positionnés,
- Secteur 8 : Axe amont Couteau : 16 profils bathymétriques numérotés de P0 à P750 tous les 50 m, levés en avril 2009,
- Secteur 9 : Planche 14 au 1/5000^{ème} entre Corbehem et Douai, plan topographique datant de 1996,
- Secteur 10 : Planche 13 au 1/5000^{ème} entre Cantin et Corbehem, plan topographique datant de 1996,
- Secteur 11 : Plan topographique au 1/1000^{ème} au niveau de l'écluse de Goelzin, datant de 1996,
- Secteur 12 : Plan topographique au 1/1000^{ème} au niveau de l'écluse de Courchelettes, datant de 1996.

Les profils bathymétriques ne couvrent pas les berges de la Scarpe canalisée.

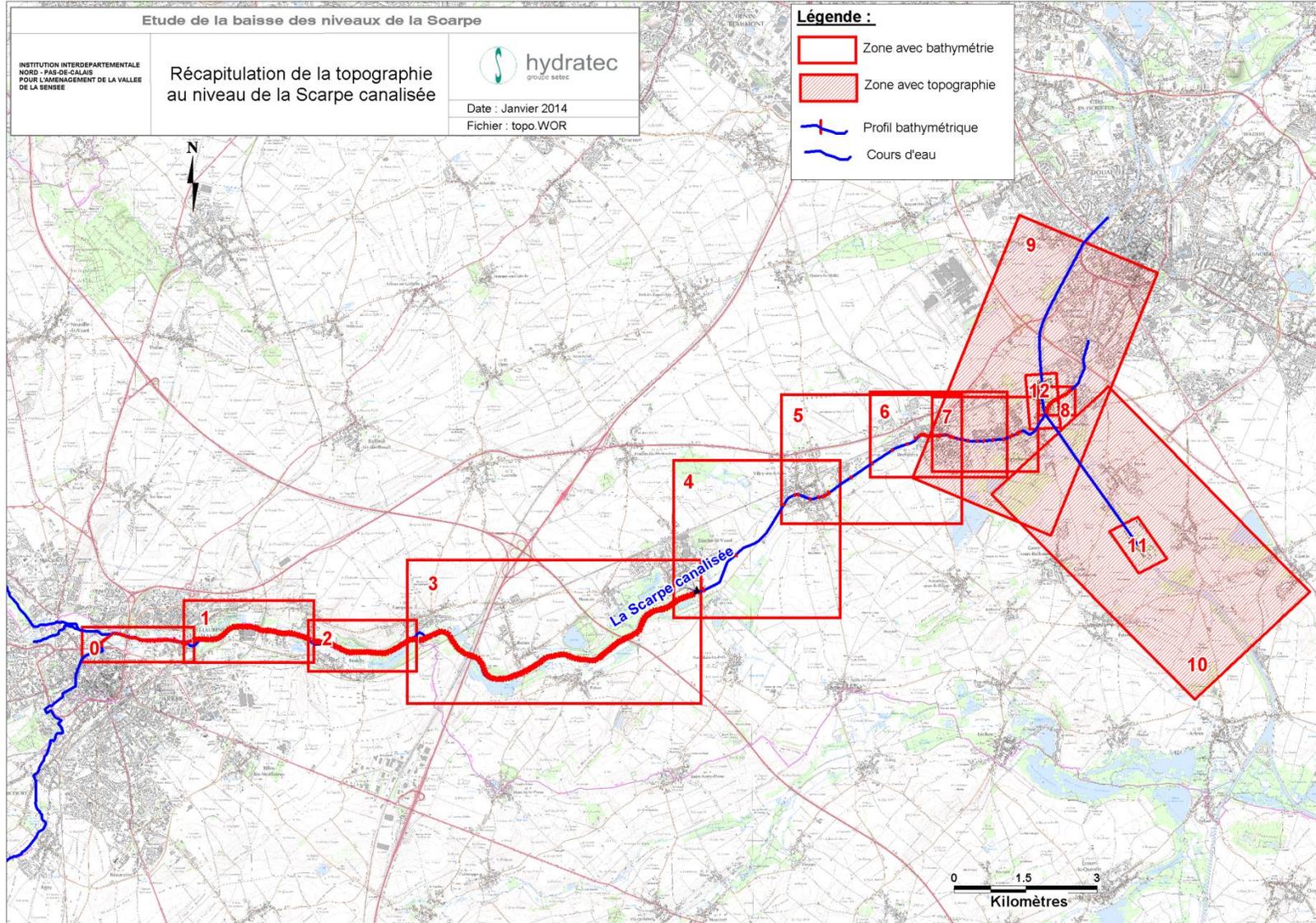


Figure 2-16 : Récapitulatif des données topographiques au niveau de la Scarpe canalisée

Les dossiers d'ouvrages de VNF décrivant les ouvrages hydrauliques jalonnant le canal de la Scarpe comportent toutes les caractéristiques des ouvrages et les données des différents biefs. Les cotes de débordement des biefs y sont indiquées mais ce sont des valeurs données par les personnes de terrain et non une cote réellement mesurée.

Il n'existe donc pas de profil en long des berges qui permettent de valider ces cotes.

Au niveau du bief de Saint-Nicolas, grâce au plan topographique fourni par la CUA, il a été constaté qu'un débordement peut se produire (20 cm en-dessous de la cote de débordement indiquée dans le dossier d'ouvrage) en rive gauche environ 150 m en amont de l'écluse. La cote de débordement indiquée dans les dossiers d'ouvrage est donc à prendre avec précaution.

Pour le bief amont, une vérification peut être faite grâce au plan topographique de la CUA.

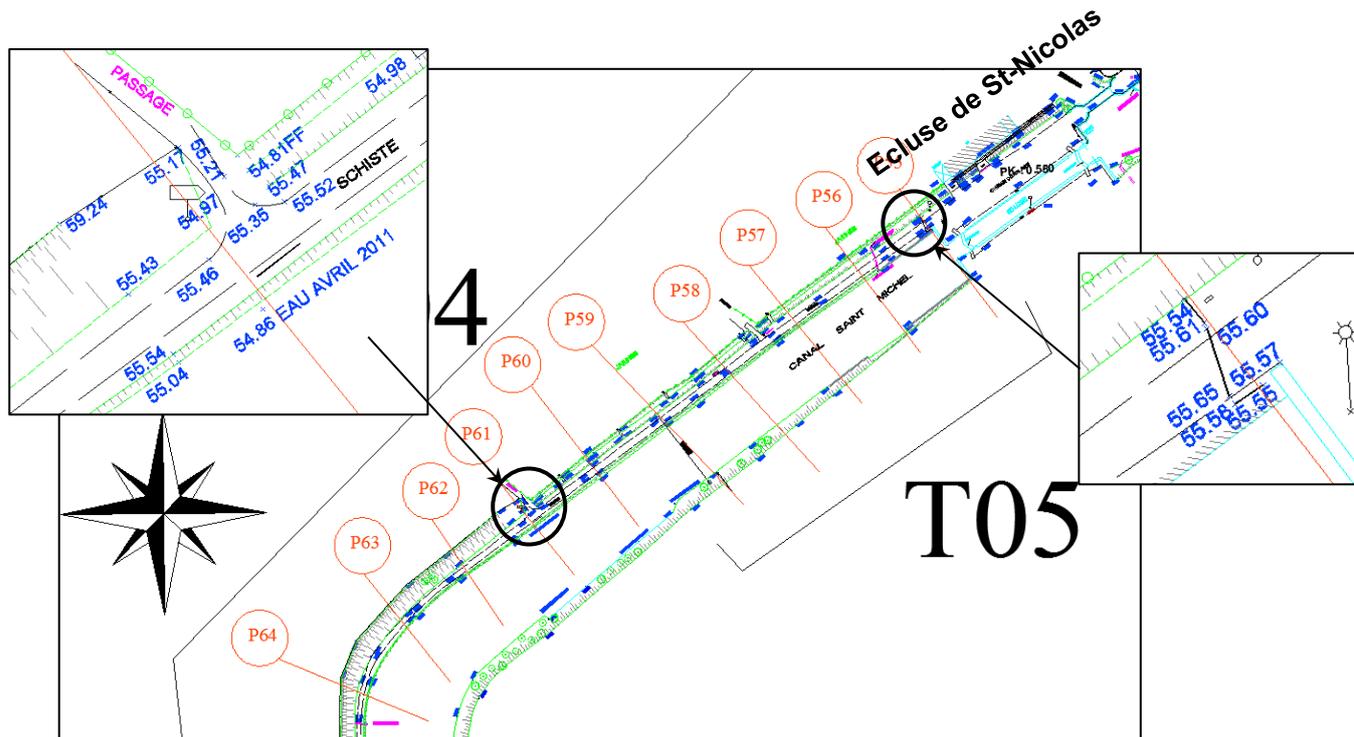


Figure 2-17 : Zoom du plan topographique en amont de l'écluse de St-Nicolas

On constate que la cote par débordement est plutôt à 55.46 m IGN69 sur ce bief (et non 55.67 m comme indiqué dans le dossier d'ouvrage).

Sur les biefs en aval, cette vérification ne peut pas être faite car il n'existe pas de plan topographique.

2.5.2 Caractéristiques géométriques du canal

Le mouillage théorique du chenal de navigation est de 2,20 m du PK 0 (darse Méaulens) jusqu'à l'aval de l'écluse de St-Nicolas puis de 2,60 m de St-Nicolas jusqu'à la confluence avec le Grand Gabarit.

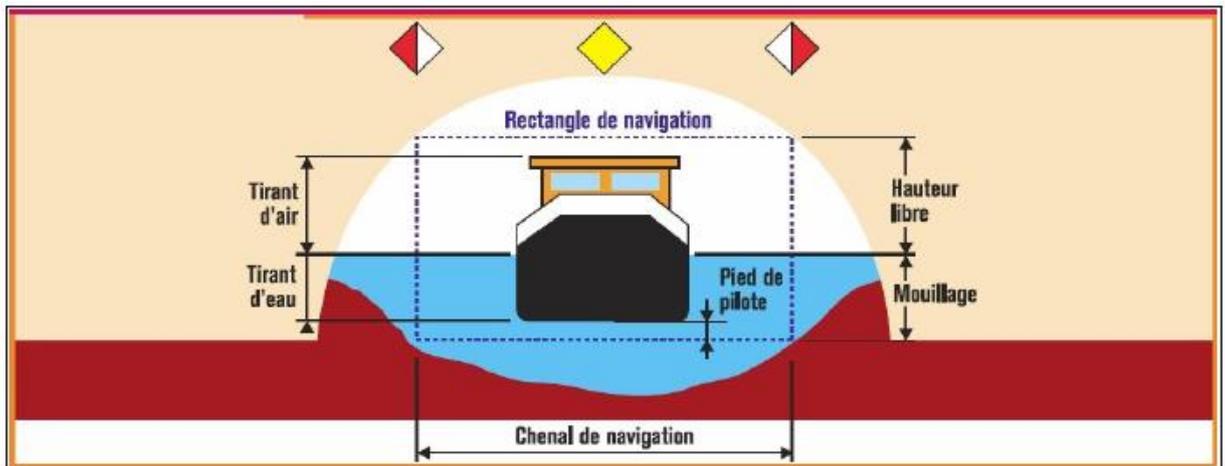


Figure 2-18 : Schéma du rectangle de navigation

Le tableau suivant récapitule les différents biefs avec :

- La cote NNN théorique : Niveau Normal de Navigation,
- La cote PBEN : Plus Basses Eaux Navigables,
- La cote PHEN : Plus Hautes Eaux Navigables,
- La cote de débordement du bief.

Ecluse	Cote PBEN (m NGF)	Cote NNN (m NGF)	Cote PHEN (m NGF)	Cote débordement du bief (m NGF)
St-Nicolas	54.62	55.02	55.22	55.67 (55.46)
St-Laurent	53.01	53.21	54.01	53.66
Athies	50.65	50.85	51.25	51.25
Fampoux	48.79	48.99	49.39	49.49
Biache	46	46.2 (46.28)	46.4	46.44
Vitry	43.49	43.69	43.99	44.04
Brebières HT	40.81	41.01	41.51	41.56
Brebières BT	36.37	36.57 (36.67)	36.92	36.97
Corbehem	32.73	32.93	33.43	33.48
Couteaux	29.79	29.99 (29.94)	30.29	30.69

Tableau 2-2 : Caractéristiques des différents biefs de navigation de la Scarpe canalisée

On note qu'au niveau du bief entre St-Nicolas et St-Laurent, la cote de débordement ne semble pas cohérente avec la cote des PHEN mais cette dernière est à l'aval de l'écluse de St-Nicolas alors que la cote de débordement est à l'amont de l'écluse de St-Laurent et que le bief a une certaine pente.

Dans les cotes de NNN, trois cotes sont indiquées entre parenthèses, elles correspondent à un NNN plutôt pratiqué :

- Sur le bief Fampoux – Biache : les bateaux ont du mal à passer au niveau de l'écluse de Fampoux en raison de la forme incurvée du radier d'où une rehausse du NNN de 0.08 m,
- Sur le bief Brebières HT – Brebières BT : le NNN pratiqué est 0.1 m plus haut que le NNN théorique pour assurer une sécurité pour la prise d'eau de la société DYNEA,
- Sur le bief Goeulzin/Courchelettes (dit 4 canaux) : le NNN pratiqué a été abaissé de 0.05 m en raison d'un risque d'infiltration au niveau de la digue amont en rive droite de l'écluse de Couteau.

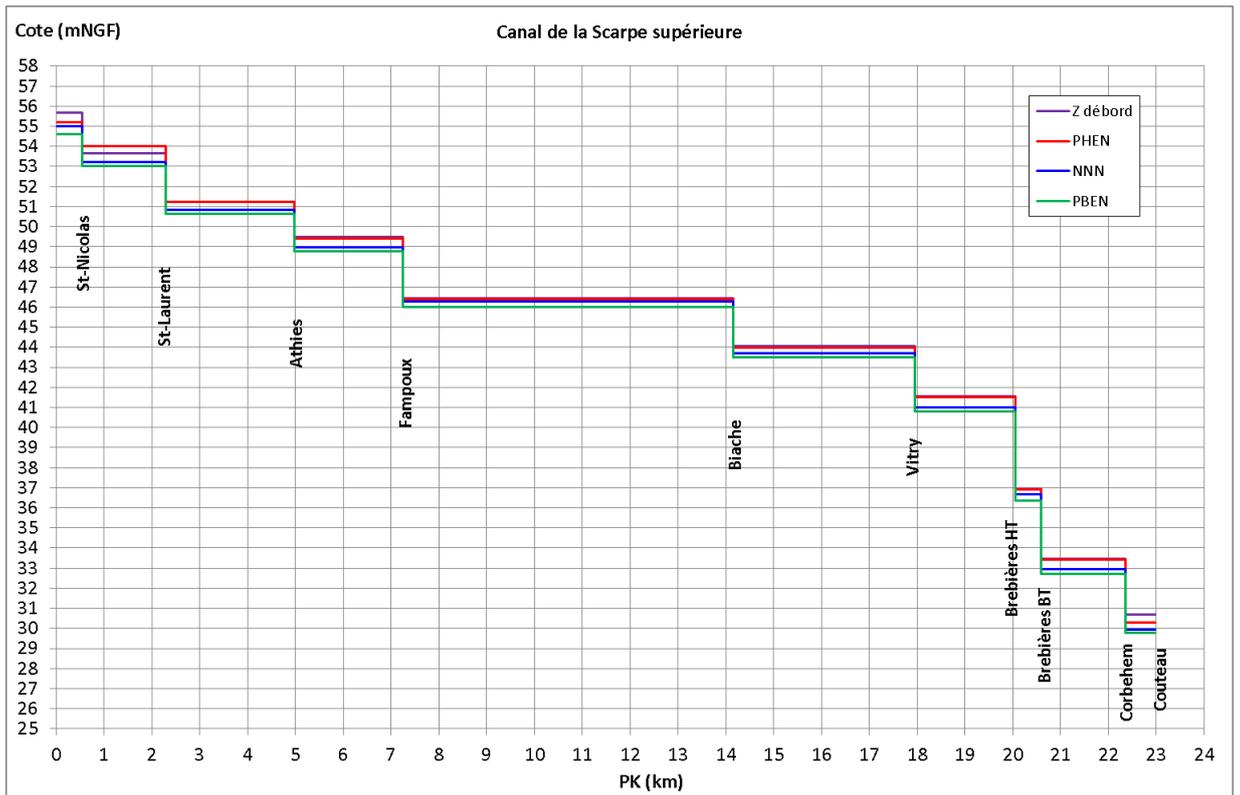


Figure 2-19 : Profils en long de la Scarpe canalisée amont

Toutes les données bathymétriques ont été utilisées pour faire un profil en long général du fond maximal de la Scarpe canalisée. Il faut noter qu'entre l'écluse de Biache et la confluence des 4 canaux les levés bathymétriques sont plus anciens (1988) et n'ont pas de position très précise sur la vue en plan. Les données sont donc moins fiables.

La figure suivante présente un levé bathymétrique type.

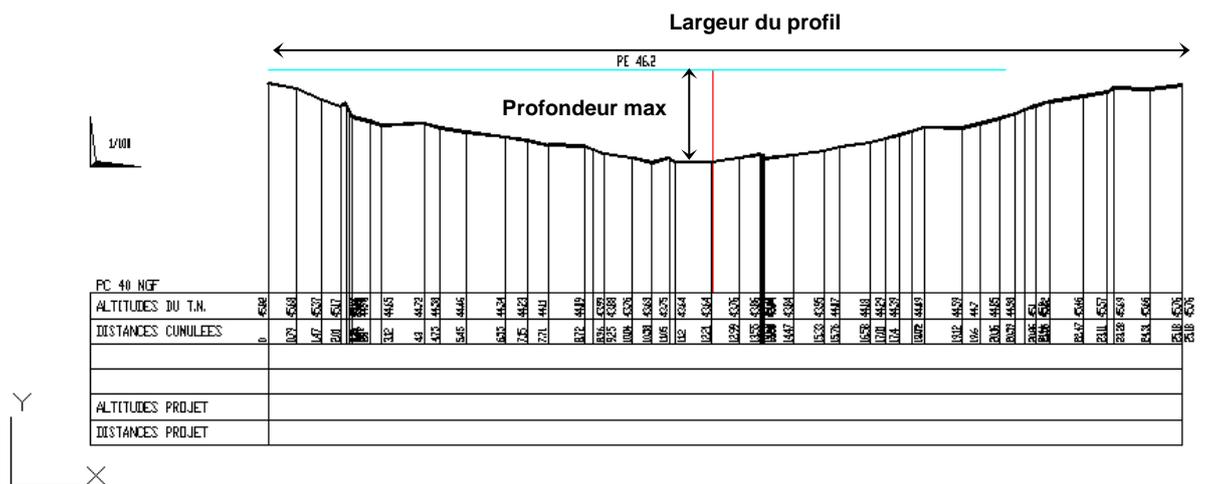


Figure 2-20 : Exemple de profil bathymétrique

Toutes les largeurs ont également été notées. Elles ont été moyennées par bief.

Le profil en long de la Scarpe canalisée indiquant la profondeur maximale et la largeur est présenté en annexe 2.

Le tableau suivant présente donc les caractéristiques des différents biefs. Les valeurs en rouge sont situées au-dessus de la moyenne des valeurs de la colonne.

Ecluse	Cote PBEN (m NGF)	Cote NNN (m NGF)	Cote PHEN (m NGF)	Cote débordement du bief (m NGF)	Largeur moyenne (m)	Profondeur max /NNN (m)	Longueur (m)
St-Nicolas	54.62	55.02	55.22	55.67 (55.46)	23.5	2	550
St-Laurent	53.01	53.21	54.01	53.66	29	1.3	1750
Athies	50.65	50.85	51.25	51.25	18.1	2.4	2690
Fampoux	48.79	48.99	49.39	49.49	24	2.6	2260
Biache	46	46.2 (46.28)	46.4	46.44	26.6	2.7	6900
Vitry	43.49	43.69	43.99	44.04	22.2	2.7	3800
Brebières HT	40.81	41.01	41.51	41.56	22.2	2.7	2100
Brebières BT	36.37	36.57 (36.67)	36.92	36.97	24.2	3	550
Corbehem	32.73	32.93	33.43	33.48	20.1	2.8	1750
Couteaux	29.79	29.99 (29.94)	30.29	30.69	24.9	2.6	1300

Tableau 2-3 : Caractéristiques des différents biefs du canal

Le bief en amont de St-Nicolas avec sa profondeur maximale moyenne de 2 m ne respecte plus le tirant d'eau qui était initialement de 2,20 m.

A partir de St-Nicolas, le tirant d'eau devrait être de 2.60 m, la profondeur maximale devrait donc être largement supérieure à 2.60 m ce qui n'est pas le cas pour la plupart des biefs.

Le bief le plus envasé est donc le bief entre St-Nicolas et St-Laurent, c'est également le plus large en moyenne. Pour un débit équivalent qui passe dans ce bief, les vitesses moyennes sont donc plus faibles, les MES ont d'avantage tendance à se déposer.

De plus, la Scarpe rivière conflue au début du bief et apporte beaucoup de particules limoneuses dues au lessivage des terres agricoles.

2.5.3 Détermination des débits maxima pouvant transiter d'un bief à l'autre

Un synoptique de la Scarpe canalisée a été réalisé afin de synthétiser les ouvrages existants et leurs différentes caractéristiques. Il est présenté en annexe 3.

Le tableau suivant synthétise les débits pouvant transiter d'un bief à l'autre en considérant la cote NNN et les clapets abaissés au maximum. Le tableau suivant récapitule les débits ainsi calculés. Le débit passant par un clapet est calculé par la formule : $Q = \mu L \sqrt{2g} H^{3/2}$ (avec H = charge au-dessus du clapet en amont, L = largeur du clapet et μ = coefficient du clapet).

Ecluse	Ouvrage	Cote NNN (m NGF)	Cote basse clapet (m IGN69)	Largeur (m)	Hmax (m)	μ	Qmax (m3/s)
St-Nicolas		55.02					
St-Laurent	Clapet	53.21	51.53	6.4	1.68	0.4	24.7
Athies	Clapet	50.85	49.32	4.9	1.53	0.4	16.4
Fampoux	Clapet	48.99	47.55	5.9	1.44	0.4	18.1
Biache	Clapet	46.28	44.43	5.02	1.85	0.4	22.4
Vitry	Clapet	43.69	42.16	5.7	1.53	0.4	19.1
Brebières HT	Clapet	41.01	39.25	5.8	1.76	0.4	24.0
Brebières BT	Clapet	36.67	34.31	5.2	2.36	0.4	33.4
Corbehem	Clapet	32.93	30.69	5.15	2.24	0.4	30.6
Couteaux	Clapet	29.94	28.44	5.41	1.5	0.4	17.6

Tableau 2-4 : Calcul des débits aux ouvrages pour un niveau au NNN

Ce sont les clapets d'Athies et de Couteau qui ont les plus faibles débits de passage au NNN.

Un calcul identique a été réalisé en considérant la cote maximale de débordement et les clapets abaissés au maximum. Les vannes manuelles sont considérées comme fermées mais un déversement peut se faire par-dessus (les débits obtenus restent cependant très faibles par rapport à la débitance du clapet abaissé).

Ecluse	Ouvrage	Cote débordement du bief (m NGF)	Cote basse de l'ouvrage (m IGN69)	Largeur (m)	Hmax (m)	μ	Qmax (m3/s)	Qmax total (m3/s)
St-Nicolas		55.46						
St-Laurent	Clapet	53.66	51.53	6.4	2.13	0.4	35.2	37.8
	Portes écluses	53.66	53.63	5.2	0.03	0.4	0.0	
	dessus vanne	53.66	53.54	3.5	0.12	0.4	0.3	
	seuil RG	53.66	53.21	4.2	0.45	0.4	2.2	
Athies	Clapet	51.25	49.32	4.9	1.93	0.4	23.3	25.3
	Passé RG condamnée	51.25	50.95	2	0.3	0.4	0.6	
	dessus vanne	51.25	50.88	3.6	0.37	0.4	1.4	
Fampoux	Clapet	49.49	47.55	5.9	1.94	0.4	28.2	29.1
	dessus vanne	49.49	49.1	1.92	0.39	0.4	0.8	
Biache	Clapet	46.44	44.43	5.02	2.01	0.4	25.3	25.4
	dessus vanne	46.44	46.4	2.38	0.04	0.4	0.0	
Vitry	Clapet	44.04	42.16	5.7	1.88	0.4	26.0	26.0
	dessus vanne	44.04	44.05	3.45	-0.01			
Brebières HT	Clapet	41.56	39.25	5.8	2.31	0.4	36.1	37.7
	Portes écluses	41.56	41.5	5.24	0.06	0.4	0.1	
	seuil RG	41.56	41.27	5.4	0.29	0.4	1.5	
Brebières BT	Clapet	36.97	34.31	5.2	2.66	0.4	40.0	40.7
	dessus vanne	36.97	36.7	3.05	0.27	0.4	0.8	
Corbehem	Clapet	33.48	30.69	5.15	2.79	0.4	42.5	43.0
	dessus vanne	33.48	33.25	2.52	0.23	0.4	0.5	
Couteaux	Clapet	30.69	28.44	5.41	2.25	0.4	32.4	32.4

Tableau 2-5 : Calcul des débits aux ouvrages pour un niveau à la cote de débordement

Les débitances les plus faibles concernent l'écluse d'Athies, de Biache et de Vitry.

2.6 PLANS D'EAU EN BORDURE DU CANAL DE LA SCARPE

Plusieurs marais jouxtent le canal de la Scarpe au niveau de la commune de Fampoux :

- Le Marais des Crêtes en rive gauche (possibilité d'ennoiement sur 1,4 ha et 30 cm de profondeur moyenne),
- Le Marais des Mingots en rive droite,
- Le Marais Communal en rive gauche,
- Le Marais Verlainne en rive gauche,
- Le Marais Bleu en rive gauche.

Ces cinq marais ont fait l'objet d'un programme de restauration écologique dans le cadre de la Trame verte et bleue de l'Arrageois portée par la CUA. Ils appartiennent au bassin versant de la Scarpe canalisée. La frayère du marais des Crêtes et le marais Verlainne sont connectés au canal par des petits ouvrages manuels.

D'autres zones non urbanisées sont présentes au niveau des communes de St-Laurent et Feuchy, où des zones naturelles ont été étudiées (en hachuré jaune sur la figure page suivante). Deux petites zones ont été proposées en zone d'expansion de crue potentielle (en rouge sur la figure suivante de 1,5 et 1,2 ha environ). Il n'existe pas de connexion hydraulique à ce jour entre ces zones et la Scarpe.

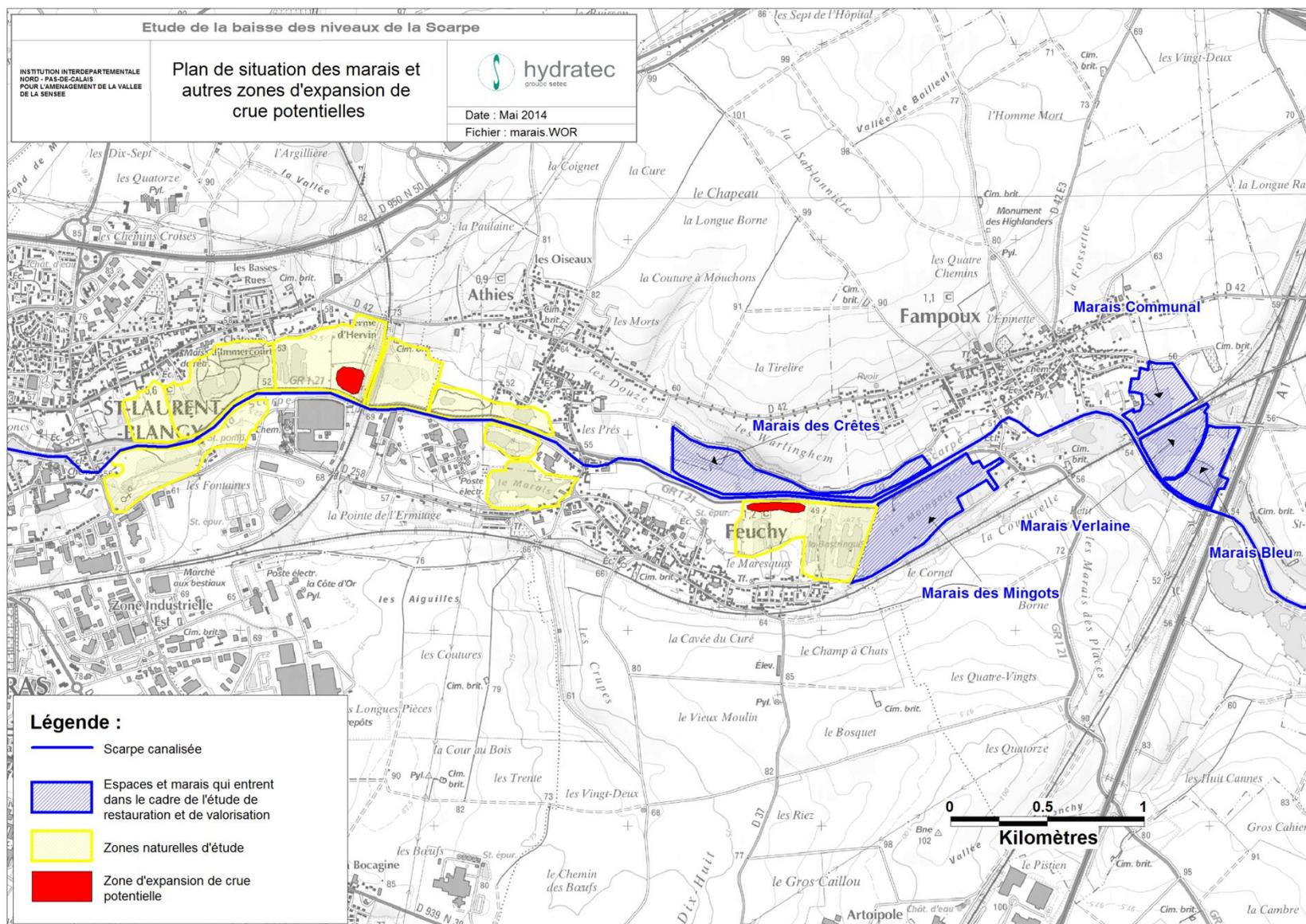


Figure 2-21 : Plan de situation des marais et autres zones d'expansion de crue potentielles

Le Marais des Crêtes sert de frayère à brochets depuis début 2013. La synthèse chronologique d'utilisation du site est présentée sur la figure suivante.

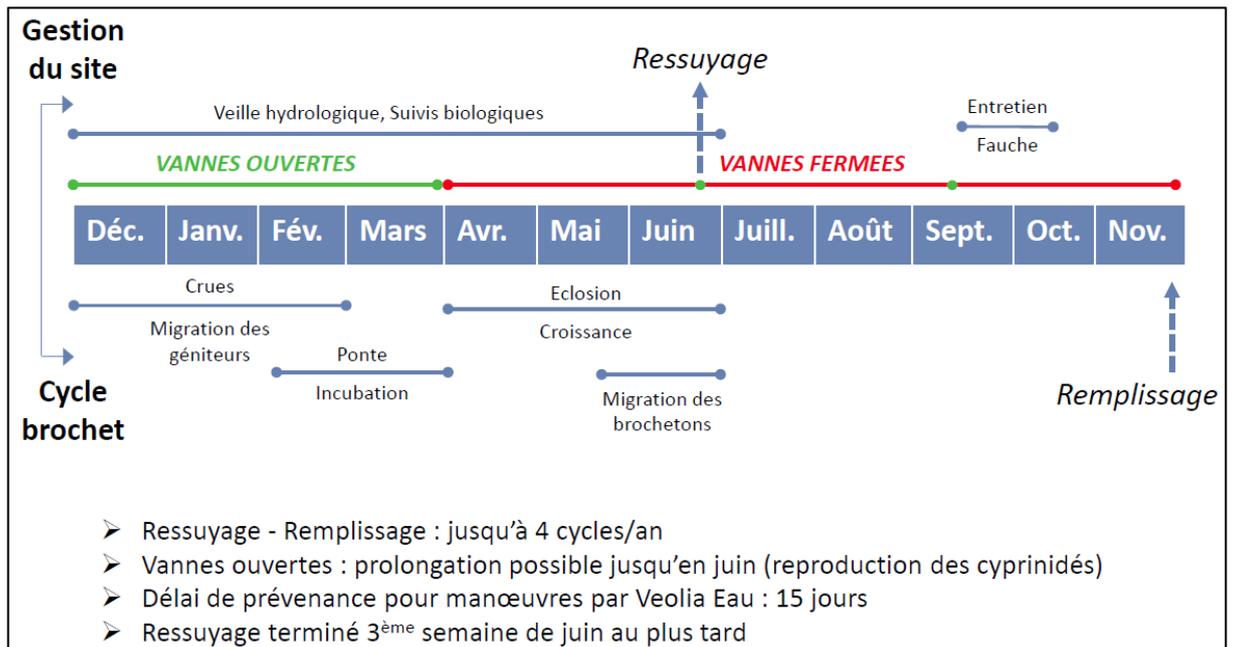


Figure 2-22 : Synthèse chronologique d'utilisation du Marais des Crêtes

Pendant la période estivale, le marais est à son niveau le plus bas après ressuyage, il peut donc servir de zone potentielle d'expansion de crue pour un événement d'été. Son potentiel de stockage est de l'ordre de 4200 m³ (1,4 ha pour une profondeur moyenne de 30 cm).

Le Marais des Crêtes est en communication avec la Scarpe via deux vannes à crémaillère de 2 m de largeur qui pourront être manœuvrées en cas de crue de la Scarpe pour un éventuel délestage.

2.7 PROBLÈME D'EUTROPHISATION DANS LA SCARPE CANALISÉE ET FAUCARDAGE ASSOCIE

La navigation a beaucoup diminué dans la Scarpe canalisée ces dernières années. Ainsi, on assiste au printemps et en été à une prolifération d'algues qui génèrent un frein hydraulique et perturbe le bon écoulement des eaux. Les plantes, de par leur morphologie et leur volume, ralentissent l'écoulement de l'eau et augmentent donc la ligne d'eau.

Une étude des niveaux d'eau dans les biefs compris entre les écluses de Biache et de Corbehem a été réalisée par VNF pendant le premier semestre 2012. Cette étude a permis de quantifier l'évolution du delta de hauteur d'eau entre l'amont et l'aval de chaque bief.

Suite à cette étude, afin de prévenir en période de crue les risques d'inondations liés à ce phénomène, une procédure de faucardage a été mise en place par VNF. Les actions spécifiques sont les suivantes :

- Suivi journalier des niveaux des biefs,
- Passage dès début mai d'un bateau (type « L'unique »), à l'enfoncement important, à la fréquence d'une fois par semaine. (Une étude est en cours pour étudier la possibilité de l'équiper en plus d'un système de coupe pour améliorer son action),

- Dès que la présence des algues devient problématique, commande d'un faucardage à la société titulaire du marché :

Indicateur de déclenchement de faucardage d'un bief = le delta amont/aval atteint ou dépasse les 10 cm pendant 3 jours consécutifs

- Dans l'attente de la réalisation du faucardage, baisse de la consigne amont du barrage aval du ou des biefs qui posent problème ; les niveaux de gestion d'eau doivent être abaissés afin d'éviter l'inondation des zones amont du bief : baisse de la consigne barrage de 20 cm ; parallèlement, avis à la batellerie pour limitation d'enfoncement à 2,0 m,
- Application stricte des délais et des cadences stipulés dans le marché. La société doit intervenir sous 15 jours à la date de la commande et a une obligation d'un certain nombre de mètre linéaire à la journée,
- Analyse des algues pour voir si possibilité d'épandage sur les terres agricoles au lieu d'utiliser la filière déchets qui a un coût.

3 ANALYSE DES ÉVÉNEMENTS HISTORIQUES

3.1 DETERMINATION DES EVENEMENTS REMARQUABLES

Les enquêtes réalisées auprès de VNF, de la CAD, de la CUA et de la base nautique n'ont pas fait ressortir d'autres événements marquant en dehors de celui de juillet 2005.

L'étude de préfaisabilité du délestage d'une partie des eaux de crue de la Scarpe vers la Sensée, réalisée par hydratec en février 2010, avait déjà recensé les dates et lieux de débordement de la Scarpe. Nous en reprenons les grandes lignes. Ainsi, les principaux événements sont les suivants :

- Débordement à Lambres-les-Douai dans les années 1990 suite à un orage qui s'est abattu sur Arras puis Douai au niveau d'un point bas de la berge en rive gauche qui a été rehaussé d'une soixantaine de cm depuis,
- Débordement à Vitry-en-Artois le 3 août 2008 au niveau de la limite communale avec Biache-St-Vast au niveau de la berge rive droite entraînant la coupure de la RD 42 (cette route avait également été inondée le 17 janvier 1937),
- Débordement à plusieurs endroits (Courchelettes, Athies, St-Laurent) suite à l'orage du 4 juillet 2005.

En regardant les débits journaliers à la station DREAL de Brebières (entre 2005 et 2012), les plus forts débits sont observés le 4 juillet 2005 avec un débit journalier de 11,8 m³/s et le 7 août 2008 avec un débit journalier de 10,7 m³/s. Le 2^{ème} débit semble correspondre avec le débordement signalé le 3 août 2008, qui n'a cependant pas causé de débordement dans le secteur du Douaisis. Monsieur Debavelaere, conseiller municipal de Vitry-en-Artois, contacté au téléphone le 16 janvier 2014, a confirmé qu'il s'agissait bien de l'évènement du 3 août qu'il avait indiqué lors d'un précédent entretien avec hydratec.

Nous proposons donc de retenir ces deux événements dans la suite de l'étude :

- L'orage du **4 juillet 2005**,
- L'évènement de **début août 2008**.

3.2 INVENTAIRE DES MESURES RECUEILLIES POUR CES DEUX EVENEMENTS

3.2.1 Mesures de débits et de cotes

La DREAL Nord – Pas-de-Calais a indiqué que le bassin versant de la Scarpe supérieure est peu équipé en matière de mesure de débit. Dans la Banque Hydro, seule la station de Brebières (E 2071105, 473 km²) permet d'avoir des valeurs de débit. Elle a été mise en service en 2004. Il s'agit d'une station à ultra-sons mais qui ne fonctionne pas très bien. Les données fournies sont donc à prendre avec précaution.

crues (loi de Gumbel - septembre à août) - données non calculées

fréquence	QJ (m3/s)	QIX (m3/s)
biennale		12.00 [12.00;13.00]
quinquennale		14.00 [13.00;15.00]
décennale		15.00 [14.00;17.00]
vicennale		16.00 [15.00;19.00]
cinquantennale		[;]
centennale	non calculé	non calculé

Les valeurs entre crochets représentent les bornes de l'intervalle de confiance dans lequel la valeur exacte du paramètre estimé a 95% de chance de se trouver.

maximums connus (par la banque HYDRO)

débit instantané maximal (m3/s)	21.90	4 juillet 2005 07:07
hauteur maximale instantanée (cm)		
débit journalier maximal (m3/s)	8.920	4 octobre 2012

débits classés - données calculées sur 6834 jours

fréquence	0.99	0.98	0.95	0.90	0.80	0.70	0.60	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01
débit (m3/s)	6.310	5.930	5.450	4.880	4.420	3.990	3.430	3.070	2.730	2.350	1.920	1.590	1.450	1.360	1.260

Figure 3-1 : Synthèse de la station de Brebières (extrait de la Banque Hydro)

La moyenne des débits observés sur la Scarpe canalisée à Brebières est de 3 m³/s. Cette valeur, correspondante au module, est considérée comme l'apport moyen de la Scarpe supérieure au droit de Corbehem.

En période d'étiage, le débit est estimé à environ 1.1 m³/s (source : Etude des débits d'étiage dans le bassin Nord – Pas-de-Calais, Services des voies navigables, 1980).

Une autre station à ultra-sons avait été installée à St-Nicolas mais elle a été très vite vandalisée et ne fournit donc aucune donnée.

Au niveau de Ste-Catherine, des jaugeages sont régulièrement effectués (une fois par mois) depuis 1966 avec quelques années manquantes mais il n'y en a pas eu en juillet 2005.

Une dernière station existe sur le Gy affluent de la Scarpe rivière depuis 2002 à Duisans. Cette station n'est pas très fiable non plus car la DREAL n'arrive pas à avoir une courbe de tarage stable au cours du temps. Les données de hauteurs sont disponibles mais les débits sont à prendre avec beaucoup de précaution. Une montée des eaux est parfois constatée en été à cause de la végétation alors qu'il n'y pas d'apport d'eau supplémentaire.

Les deux figures page suivante fournissent les hydrogrammes à Brebières (extraits de la Banque Hydro) et le limnigramme à Duisans pour les deux événements retenus (fournis par la DREAL).

On s'aperçoit que le niveau d'eau a atteint des cotes équivalentes pour les deux événements à Duisans avec des montées très rapides. L'événement de juillet 2005 semble toutefois beaucoup plus conséquent lorsqu'on regarde le débit instantané atteint à la station de Brebières avec 21,9 m³/s le 4 juillet 2005 à 7h07 alors qu'il n'est que de 12,9 m³/s le 7 août 2008 à 12h12.

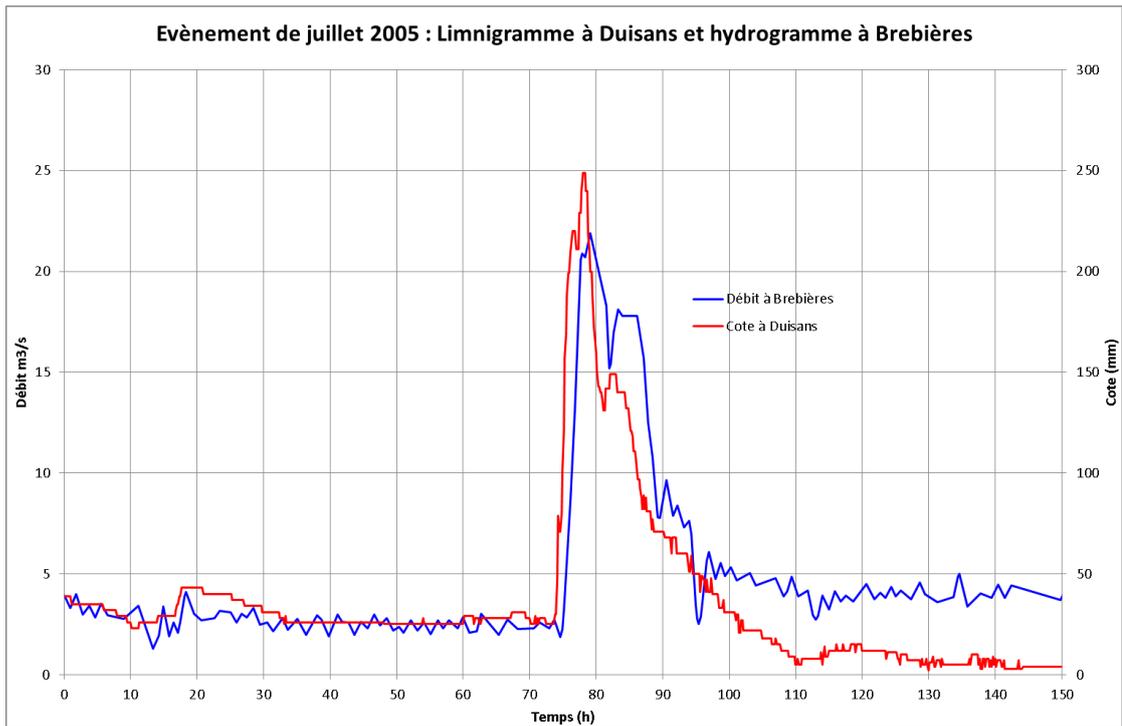


Figure 3-2 : Evènement de juillet 2005 – Cote à Duisans et débit à Brebières

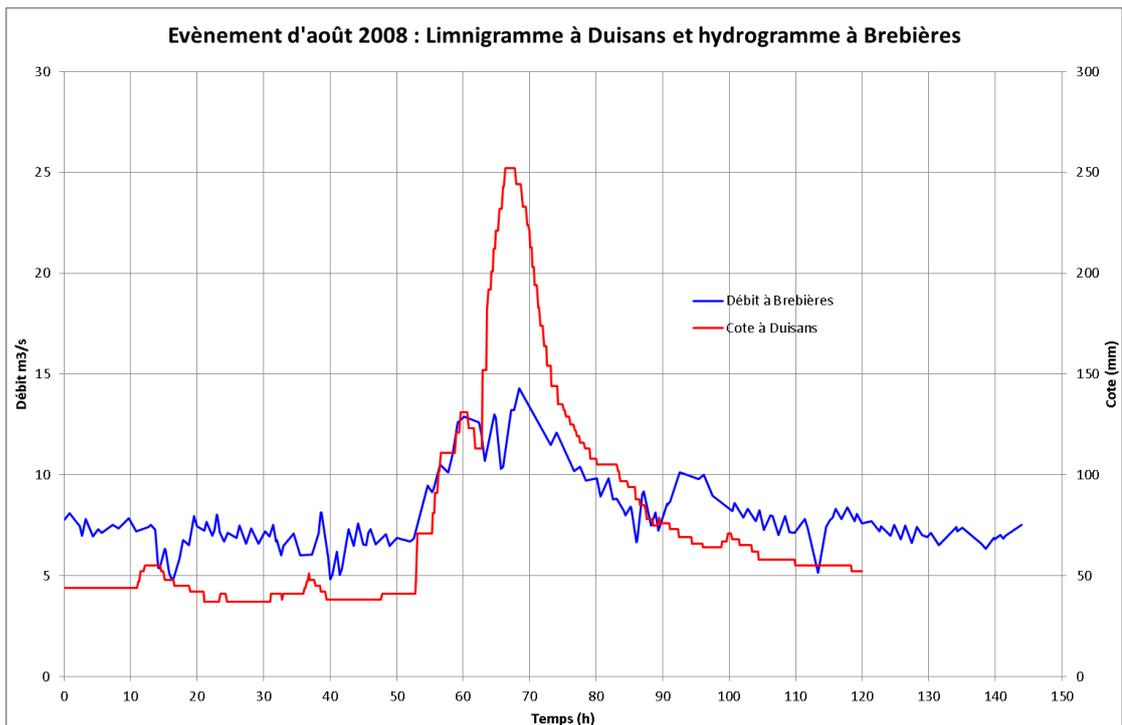


Figure 3-3 : Evènement d'août 2008 – Cote à Duisans et débit à Brebières

Au niveau de VNF, aucune manœuvre d'ouvrage n'est enregistrée. Des relevés journaliers sont réalisés par les agents sur les biefs mais ils ne sont pas tous faits à la même heure ; la ligne d'eau ainsi obtenue peut donc avoir des contre-pentes. Les données sont donc difficilement exploitables.

L'ouvrage de Biache est équipé de deux sondes limnimétriques situées à l'amont et à l'aval du barrage qui permettent de connaître les niveaux d'eau de part et d'autre de

l'ouvrage. Leurs données sont archivées (télétransmetteur Sofrel) et rapatriées sur le centralisateur de données situé à la cellule Gestion hydraulique.

Les données disponibles au niveau de l'ouvrage de Biache sont : décembre 2009, 1^{er} semestre 2010, 2011 et 2012. Elles ne sont donc pas disponibles pour les deux évènements retenus.

Au niveau de l'ouvrage de Couteau, trois échelles limnimétriques et trois sondes sont présentes en amont et en aval du site.

La sonde à l'amont permet de gérer le positionnement du clapet. Les cotes de niveau d'eau dans le bief amont sont rapatriées et archivées à la cellule gestion hydraulique. Les informations relatives à la position du clapet sont également enregistrées et archivées.

3.2.2 Mesures pluviométriques

Une recherche de stations pluviométriques Météo-France a été réalisée afin de trouver celles se trouvant sur le bassin versant de la Scarpe amont et disposant de données horaires.

La carte suivante présente ces stations. Celles disposant de données horaires sont indiquées avec « 1 », celles avec un « 4 » ne disposent que de données journalières.

Il existe également un poste pluviométrique gérée par la CAD à la station d'Esquerchin (étoile noire sur la carte) au pas de temps de 5 minutes.

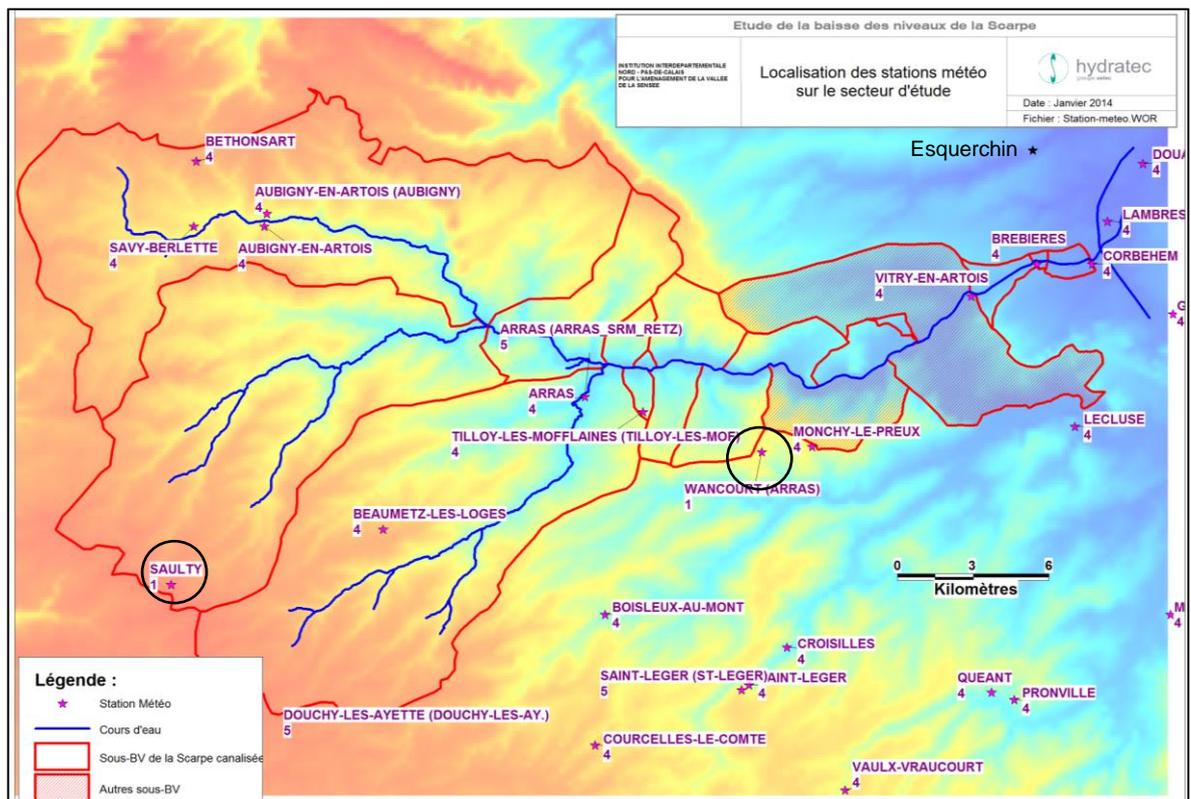


Figure 3-4 : Stations Météo-France au niveau du bassin versant de la Scarpe canalisée

Les deux stations les plus intéressantes sont donc :

- Saulty, station ouverte depuis 1987, située à l'ouest du bassin versant de la Scarpe,
- Wancourt (Arras), station ouverte depuis 1986, située au sud du bassin.

Une troisième station à Aubigny-en-Artois permet de compléter la répartition sur le bassin versant mais elle ne donne que des valeurs journalières.

3.3 EVÉNEMENT DU 4 JUILLET 2005

3.3.1 Lieux des débordements

L'événement du 4 juillet 2005 est le plus important de ces dernières années. Il a entraîné des débordements au niveau du secteur du Douaisis mais également plus en amont de la Scarpe canalisée. Les débits et niveaux d'eau atteints constituent un palier où le système est en limite ou dépasse sa capacité d'évacuation sans débordement. A ce titre, il mérite une analyse spécifique.

Il avait donné lieu à une description précise dans l'étude [2] que nous reprenons ici en partie.

Le 4 juillet 2005, les terrains de la commune de Courchelettes ont été submergés via deux endroits :

- Une brèche de 1 m / 1,50 m de large dans la digue du canal : le matériau constituant le remblai s'est érodé sous la couche bituminée du chemin de halage (peut-être dû à un renard hydraulique). La profondeur de la brèche est inconnue. VNF, qui a remblayé la faille peu de temps après la crue, ne peut fournir d'informations à son sujet. L'eau du canal s'y est alors déversée, ce qui a fait effondrer le mur en briques qui se situait au pied de la digue du canal, sur 60 m de long environ,
- Plus en amont, le mur longeant le stade s'est également effondré. Monsieur le maire de Courchelettes ne sait dire si la cause est un débordement et/ou d'autres petites brèches dans la digue. Aucune des personnes interviewées ne peut décrire la cause de l'inondation au niveau du stade.

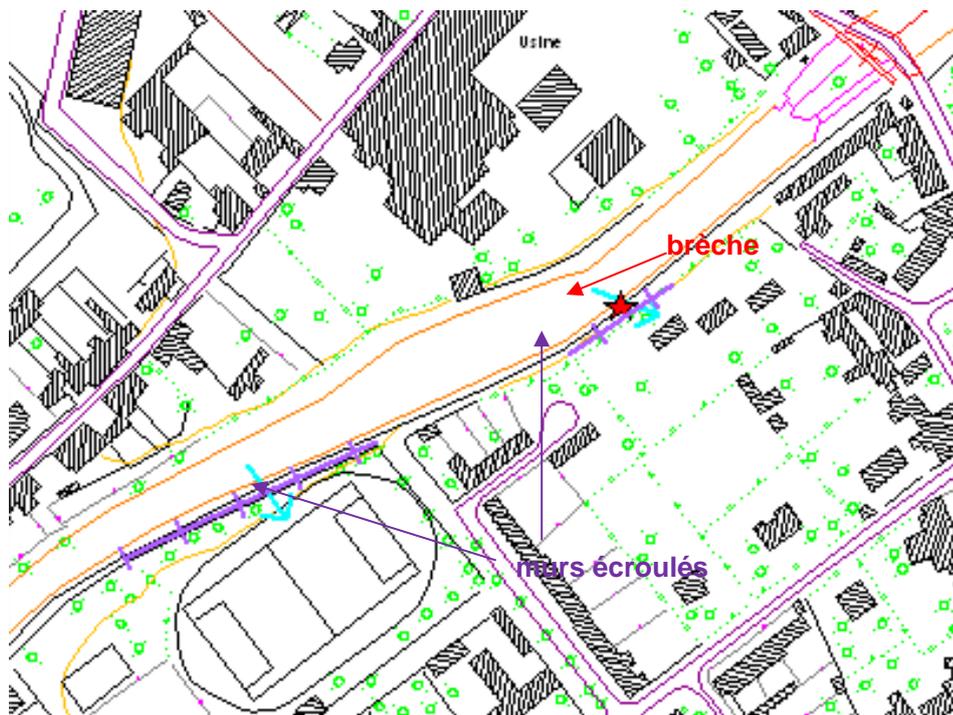


Figure 3-5 : Cartographie des désordres observés le 04/07/05 à Courchelettes

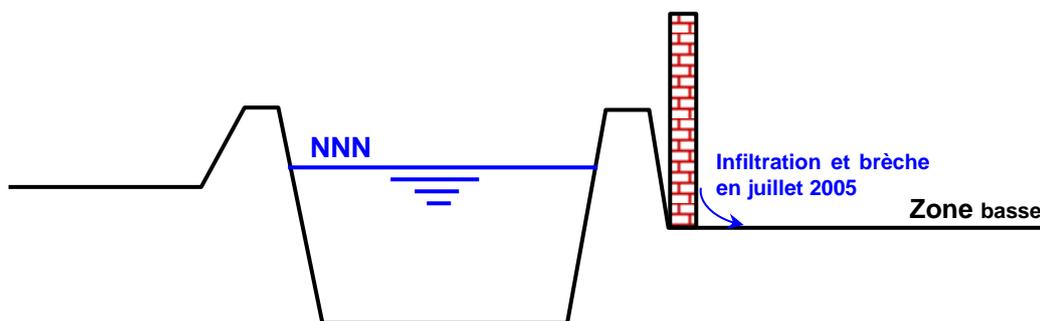


Figure 3-6 : Coupe schématique au niveau de Courchelettes

Les personnes interviewées présentes au moment des faits ne se souviennent pas ou peu si le chemin de halage a été submergé par les eaux de la Scarpe. S'il y a eu des débordements, ils ne peuvent préciser la largeur et la hauteur de ces débordements.

Par ailleurs, le Colonel Chuffard des sapeurs pompiers précise qu'un autre phénomène pourrait expliquer en partie les inondations : des **infiltrations à travers la digue** du canal de la Scarpe. Il n'y a pas eu de brèche, mais l'eau s'infiltrait dans la digue et en ressortait au pied, sur une largeur de 1 à 2 m pas plus. Plus récemment, Monsieur Hérin (CAD) a signalé que des fuites se produisaient au niveau du canal en RD, c'est pourquoi la cote du NNN a été abaissée de 5 cm afin de minimiser ces fuites.

Des suintements ont été observés au pied du mur longeant la berge du canal lors de notre visite (janvier 2010), pouvant corroborer cette idée.

L'étendue des inondations consécutives à l'événement de 2005 (toutes causes confondues) est cartographiée dans l'étude [1] (cf. ci-dessous). D'après M. le maire de Courchelettes, la zone inondée (0,78 ha) est issue des témoignages des habitants et paraît beaucoup plus vaste que dans ses souvenirs. Cette surface doit correspondre uniquement au moment de la rupture des murets (instant très bref) d'après celui-ci. Par ailleurs, M. d'Hulster n'a pas souvenir que les eaux des deux zones de déversement (brèche et stade) se soient rejointes ; le plan topographique de la commune (non recueilli) indiquerait un point haut au bout de la rue des écoles (impasse). Le MNT fourni par VNF n'est pas assez précis pour valider ce point.

De plus, une partie des inondations étaient dues à la **saturation du réseau pluvial**, qui a refoulé dans la rue Courmont (confirmé par modélisation dans l'étude [1]). La proportion du volume d'eau provenant de la Scarpe (brèche + débordement + infiltrations) par rapport au volume provenant du refoulement des réseaux n'est pas connue. L'ordre des débordements non plus.

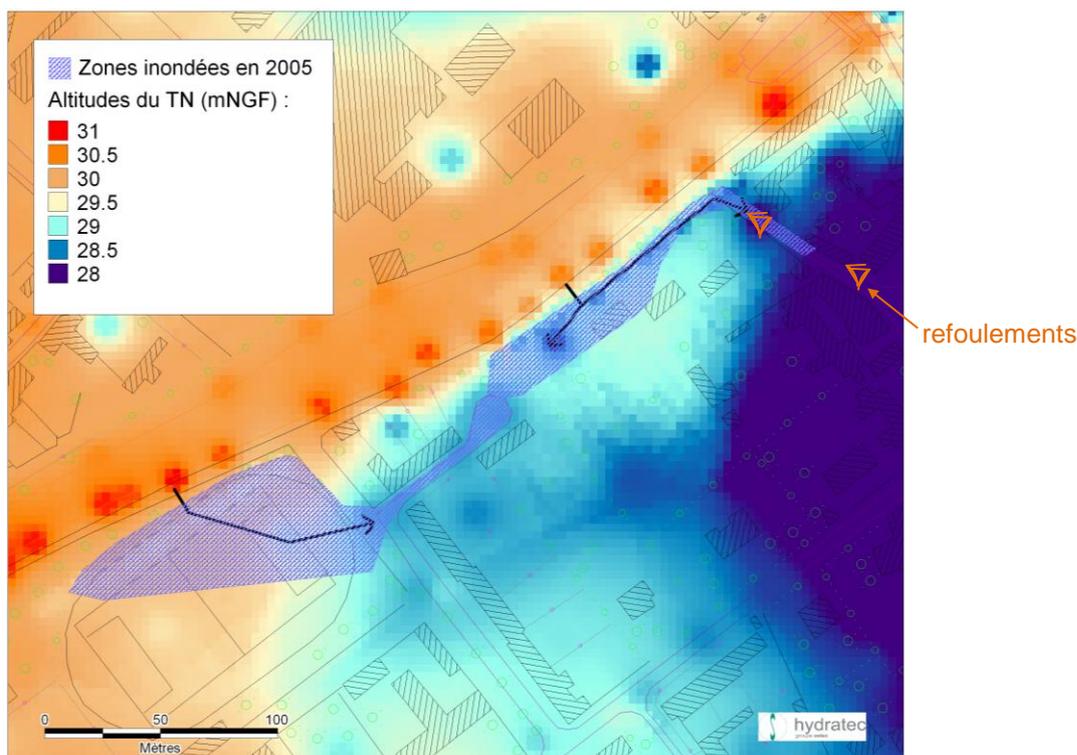


Figure 3-7 : Zone inondée à Courchelettes le 04/07/2005 (source : étude [2])

Le volume d'eau contenu dans cette zone inondable a été estimé dans l'étude [2]. Le volume d'inondation au niveau du stade par déversement par-dessus le chemin de halage a été estimé à 250 m³ et celui par déversement par la brèche a été estimé à 5000 m³. Par conséquent, la grande majorité des volumes d'inondation proviennent de l'incident qui est survenu sur la digue du canal (brèche), et non des débordements par-dessus le chemin de halage, qui sont minimales.

Les eaux se sont ensuite progressivement évacuées par les réseaux et par infiltration dans les sols. Cela prit un ou deux jours d'après le maire de Courchelettes, car les réseaux étaient aussi saturés.

Il n'y a pas de repère ou laisse de crue connu suite à cet événement.

Lors de ce même événement de 2005, la Scarpe a également failli déborder plus en aval à Douai, au niveau de la station de relèvement des eaux pluviales du boulevard Vauban, menaçant une partie du centre-ville. Les berges de la rive droite du canal ont été rehaussées par échafaudage de sacs pour empêcher les débordements, avec succès. M. Hérin (CAD) ne peut fournir de détails sur la largeur ou la hauteur de la submersion de la berge (contenue par le rehaussement temporaire de la digue).

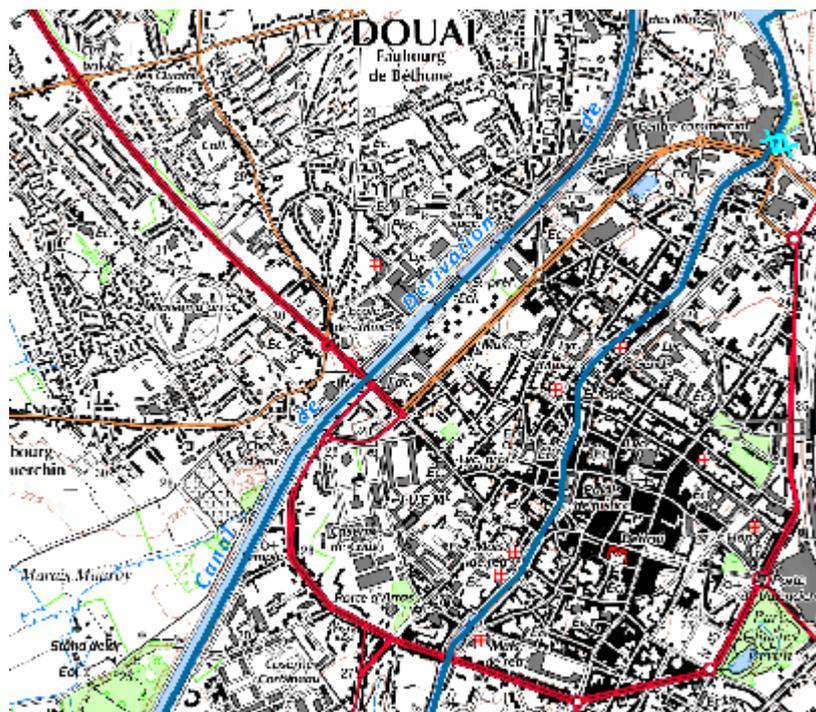


Figure 3-8 : Localisation des débordements contenus à Douai en juillet 2005

Monsieur Hérin a également signalé qu'en aval du pont Vauban, en juillet 2005, la Scarpe avait débordé en rive droite au niveau du plan d'eau du Rivage Gayant. Le niveau du plan d'eau était ainsi monté mais aucune inondation de bâtiment n'était à déplorer.

Plus en amont c'est au niveau de St-Laurent-Blangy qu'un débordement s'est produit de part et d'autre du canal, phénomène relaté par Monsieur Beugnet, directeur de la base nautique. L'eau est arrivée en limite du bâtiment de l'école (située en rive gauche du canal) sans toutefois y rentrer. Il y avait des débordements qui allaient dans le fossé aux lousps en amont et qui se rejetaient en aval.

A Athies, les entreprises en rive droite ont été inondées par débordement du canal.

3.3.2 Pluviométrie

Il s'agit d'un épisode orageux d'été. Le site de Météo-France présente un résumé de cet événement qui a été considéré comme une pluie extrême.

A partir de la soirée du 3 juillet 2005, deux sévères lignes successives d'orages (de durée proches de 6 heures) vont se former de la Somme au Nord – Pas-de-Calais à l'avant d'une limite pluvio-instable et se réactiver par une forte dynamique d'altitude. Elles vont engendrer dans la nuit du 3 au 4 juillet jusqu'en matinée du 4 juillet des précipitations d'intensité très inhabituelle dans la région.

La première ligne orageuse est axée de l'est de la Baie de Somme au sud de la Flandre intérieure, la seconde de l'Amienois au sud de Lille comme le montre la carte des précipitations couvrant les cumuls pluvieux des 2 lignes orageuses sur 48 heures.

A Lille-Lesquin, a été atteint en 12 heures un cumul de 81.2 mm. A Fiefs, il est tombé en 16 heures, 131.7 mm soit plus du double de ce qui tombe en un mois normal de juillet (62.7 mm). Il est également tombé à Arras 101.8 mm en 6 heures soit presque le double de son cumul mensuel normal de juillet (51.2 mm). Pour ces 3 stations, ces valeurs sont au-dessus des valeurs centennales correspondantes.

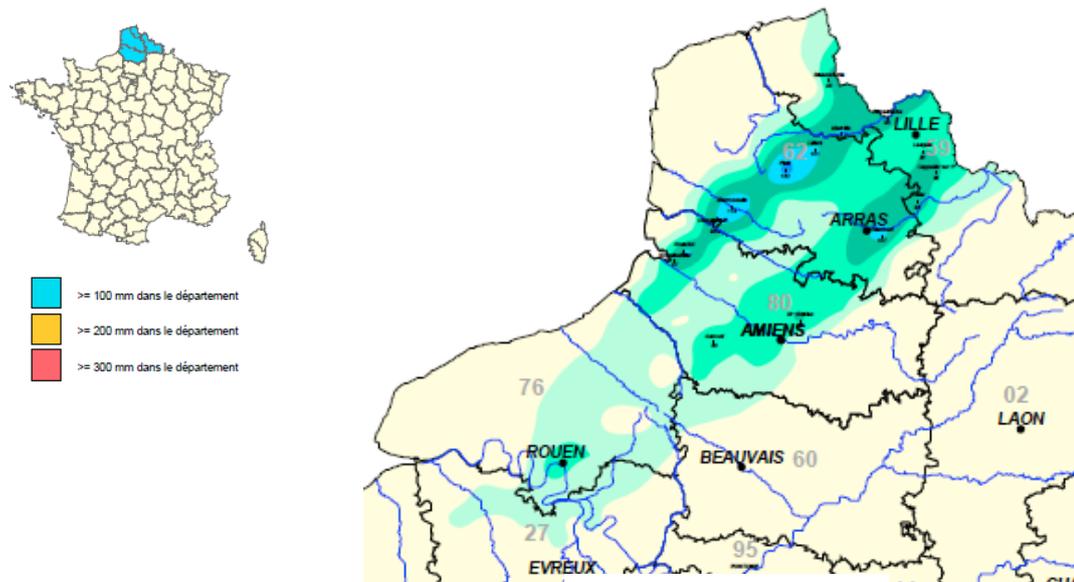
Ces intensités très exceptionnelles de précipitations ont provoqué principalement dans la région Nord-Pas-de-Calais, des dégâts et des incidents considérables : tronçons routiers

et rues submergées par les eaux jusqu'à parfois 2 mètres dans l'agglomération Lilloise, la région d'Arras (62) et d'Hazebrouk (62), des embouteillages monstres jusqu'à 100 km à la métropole lilloise et des lignes ferroviaires endommagées (particulièrement dans le Ternois entre Hesdin et St-Pol où la ligne de train a été coupée).

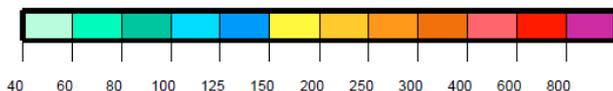
Le nombre des communes reconnues en « catastrophe naturelle » s'est élevé à 71 dans le Nord et 106 dans le Pas-de-Calais. Les orages ont aussi concerné mais de façon moins virulente une partie de la Haute-Normandie.

La station automatique d'Arras a relevé 107,4 mm en 12 heures dont :

- 101,4 mm en 6 h,
- 75,4 mm en 3 h,
- 35,6 mm en 1 h.



Hauteur des précipitations (mm)



Départements ayant enregistré plus de 100 mm au cours de l'épisode :

Nord-Pas-De-Calais : Nord Pas-de-Calais
 Picardie : Somme

Figure 3-9 : Carte Météo-France du 4 juillet 2005

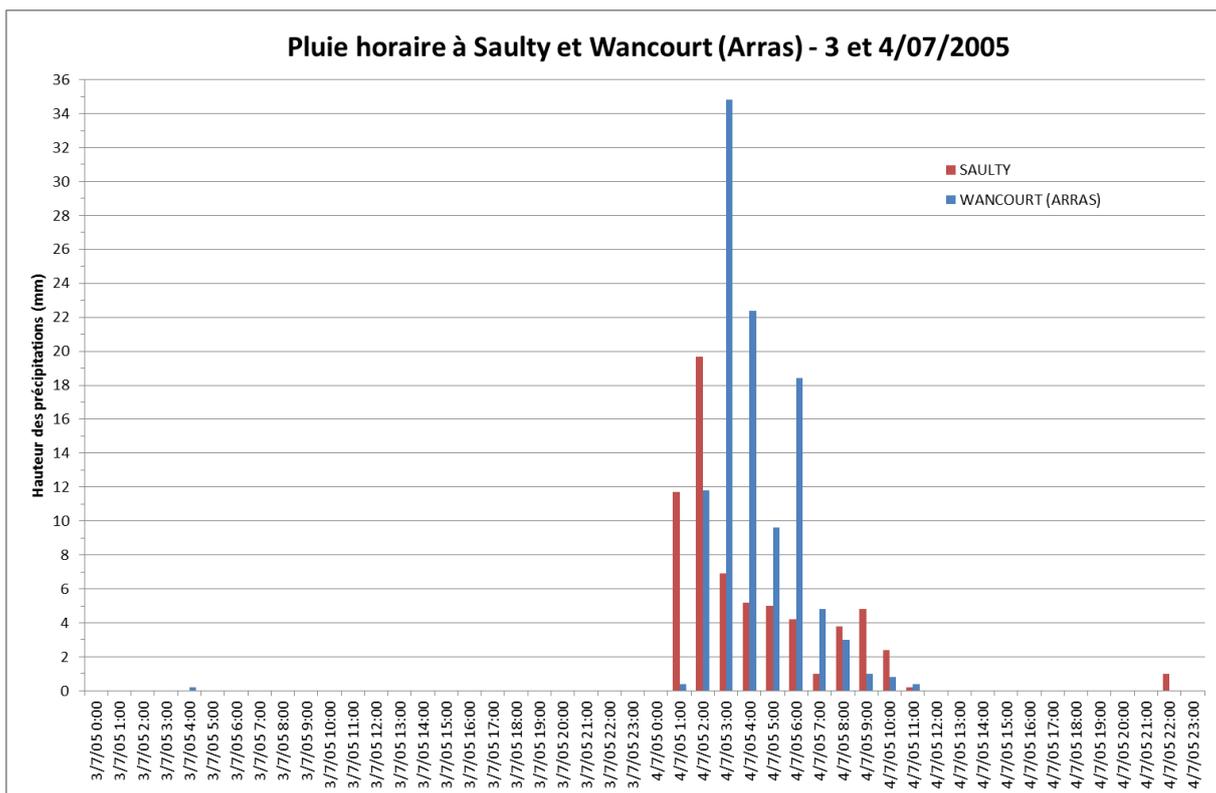


Figure 3-10 : Pluie horaire des 3 et 4 juillet 2005 à Saulty et Wancourt

Afin de pouvoir comparer les données de Saulty et de Wancourt avec celles d'Aubigny, les données horaires ont été additionnées et sont récapitulées dans le tableau suivant.

Les cumuls au pluviomètre d'Esquerchin sont également indiqués.

Date	Temps pris en compte	Pluie Météo-France (mm)			Pluie CAD (mm)
		Aubigny	Saulty	Wancourt	Esquerchin
03/07/2005	du 03/07/05 7:00 au 04/07/05 6:00	38	52.7	97.4	0
04/07/2005	du 04/07/05 7:00 au 05/07/05 6:00	16.1	13.2	10	88.2
Total sur 2 jours (mm)		54.1	65.9	107.4	88.2

Tableau 3-1 : Cumuls pluviométriques des 3 et 4 juillet 2005

On constate qu'à Wancourt, donc sur le secteur urbanisé proche d'Arras, la pluie journalière a été encore plus forte qu'à Esquerchin avec 97,4 mm. La période de retour de la pluie journalière d'Esquerchin du 04/07/2005 a été estimée centennale si l'on se réfère aux ajustements statistiques des pluies réalisés au poste pluviométrique de Lécluse par la DIREN et Météo France (période d'observation 1966 à 1999) où :

$$P_{100}^{24h} = 87,9 \text{ mm.}$$

Sur Aubigny, la pluie journalière a été beaucoup plus faible

A Saulty, station la plus proche de l'affluent le Gy, on constate que la pluie journalière a été de l'ordre de 66 mm sur les deux 2 jours, pour une cote maximale d'eau atteinte à la station de Duisans sur le Gy de 250 mm.

Les 2 stations de Météo-France à Saulty et Wancourt ainsi que les données pluviométriques à Esquerchin permettent d'évaluer la vitesse de propagation de l'orage.

TU	Saulty (mm)	Wancourt (mm)	Esquerchin
4/7/05 1:00	11.7	0.4	
4/7/05 2:00	19.7	11.8	
4/7/05 3:00	6.9	34.8	
4/7/05 4:00	5.2	22.4	93.6 mm/h
4/7/05 5:00	5	9.6	
4/7/05 6:00	4.2	18.4	
4/7/05 7:00	1	4.8	
4/7/05 8:00	3.8	3	
4/7/05 9:00	4.8	1	
4/7/05 10:00	2.4	0.8	
4/7/05 11:00	0.2	0.4	

Tableau 3-2 : Données de pluie horaire

L'intensité maximale a atteint 93.6 mm/h entre 4h55 et 5h00 le 4 juillet 2005 à Esquerchin.

L'orage a mis de l'ordre de l'heure à se déplacer entre Saulty et Wancourt, de même entre Wancourt et Esquerchin.

3.3.3 Hydrométrie

Du point de vue mesure de débit au niveau du canal de la Scarpe, les seules données exploitables sont au niveau de la station de Brebières. Le débit maximal s'est produit le 4 juillet 2005 à 7h07 avec 21,9 m³/s. A Duisans (sur le bassin versant rural amont du Gy), la cote maximale a été atteinte le même jour à 5h58 et 6h18 avec une hauteur de 249 mm par rapport au zéro de l'échelle, ce qui correspond à un débit de l'ordre de 1,8 m³/s d'après la courbe de tarage fournie par la DREAL. Entre Duisans et Brebières, le pic de crue s'est donc déplacé en une heure.

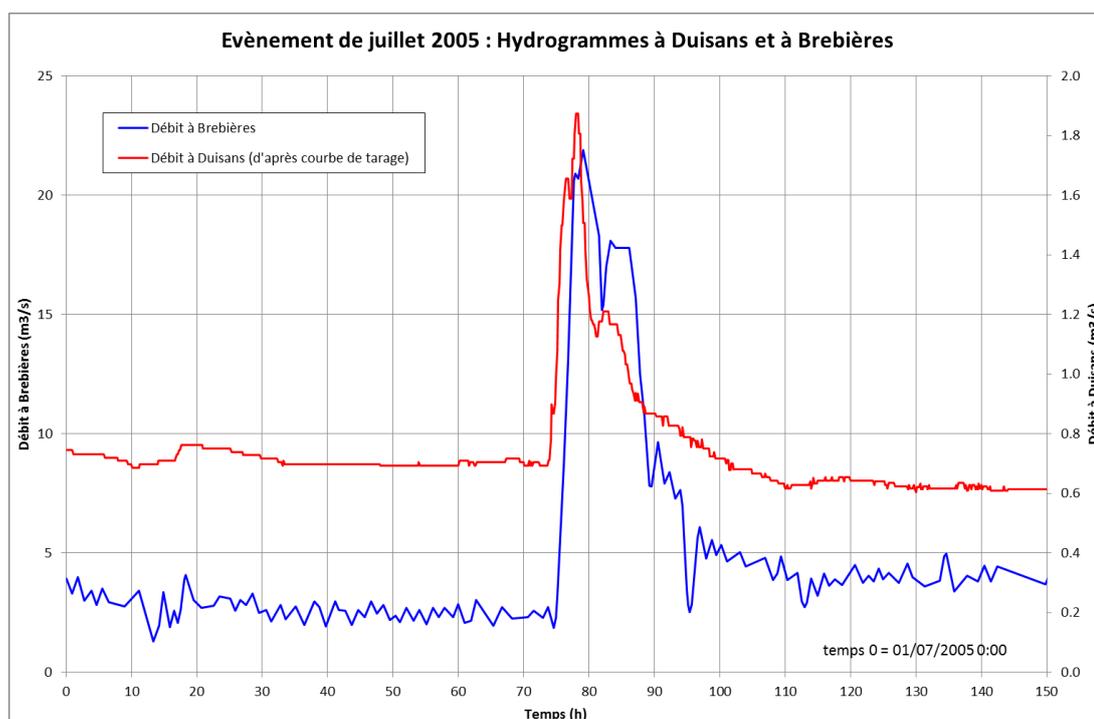


Figure 3-11 : Hydrogrammes à Duisans et à Brebières

La figure suivante permet de connaître le volume de la crue de juillet 2005 au-dessus d'un certain seuil de débit. Le volume est de 167 400 m³ au-dessus de 14 m³/s et de 377 000 m³ au-dessus de 9 m³/s.

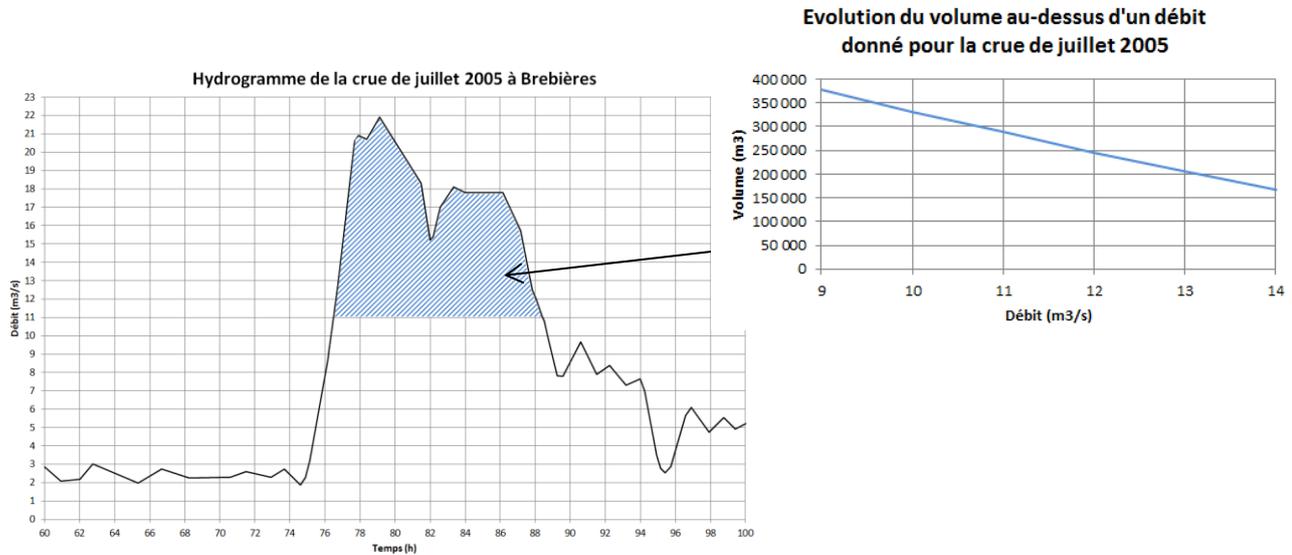


Figure 3-12 : Evolution du volume de la crue au-dessus d'un débit donné pour l'événement de juillet 2005

La figure suivante permet de superposer la pluviométrie des stations de Saulty et de Wancourt avec le débit mesuré à Brebières. La pluviométrie fournie par Météo-France est en temps universel, il faut donc rajouter 2 heures pour avoir des temps équivalents à ceux de Brebières (Heure Légale).

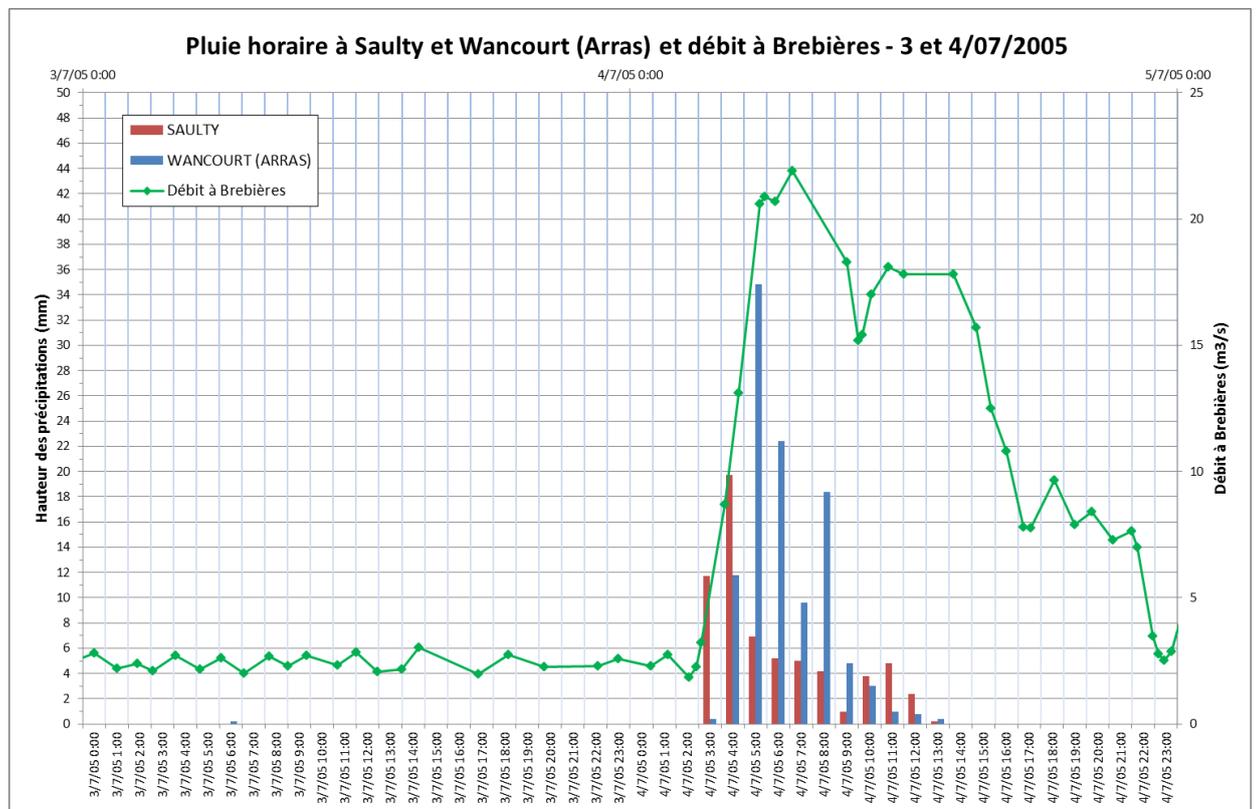


Figure 3-13 : Superposition de la pluie tombée et de l'hydrogramme à Brebières (04/07/2005)

A Saulty, le maximum de pluie est tombé entre 3h00 et 4h00, à Arras il est tombé entre 4h00 et 5h00 alors que le débit maximal à Brebières a été relevé à 7h07.

On a donc un écart de 3 à 4 heures entre la pluie tombée à Saulty et la crue à Brebières, entre Arras et Brebières l'écart se réduit donc à 2 ou 3 heures.

Les seules données hydrométriques fournies par VNF concernent le limnigramme de la Scarpe en amont de l'écluse Couteau (déjà utilisé dans l'étude [2]).

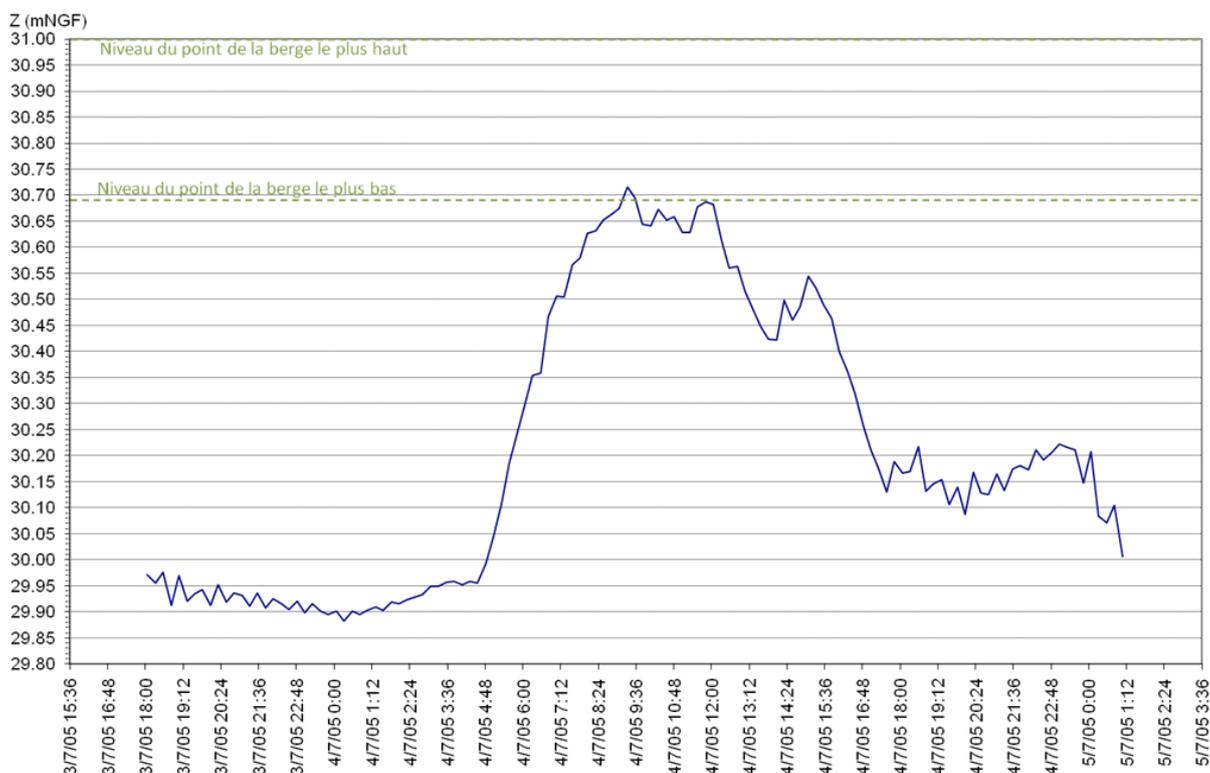


Figure 3-14 : Limnigramme de la Scarpe en amont de l'écluse Couteaux (source VNF)

Le limnigramme relevé en amont de l'écluse Couteaux (là où les inondations sont survenues à Courchelettes) indique que **les débordements par-dessus le chemin de halage ont été très faibles et très localisés**, puisque le niveau d'eau n'a dépassé que de **3 cm** au maximum le point le plus bas du chemin de halage, et ce pendant **25 minutes**.

3.3.4 Situation de la nappe

Un indicateur BSH (Bulletin de Situation Hydrologique) permet de définir les périodes de retour des situations hydrogéologiques. Il est calculé à partir des données validées ou en cours de validation pour une période minimale de 10 ans.

La fréquence d'occurrence de calcul de l'indicateur pour le mois de juillet 2005 est de 2.5 à 5 ans sec d'après la figure suivante.

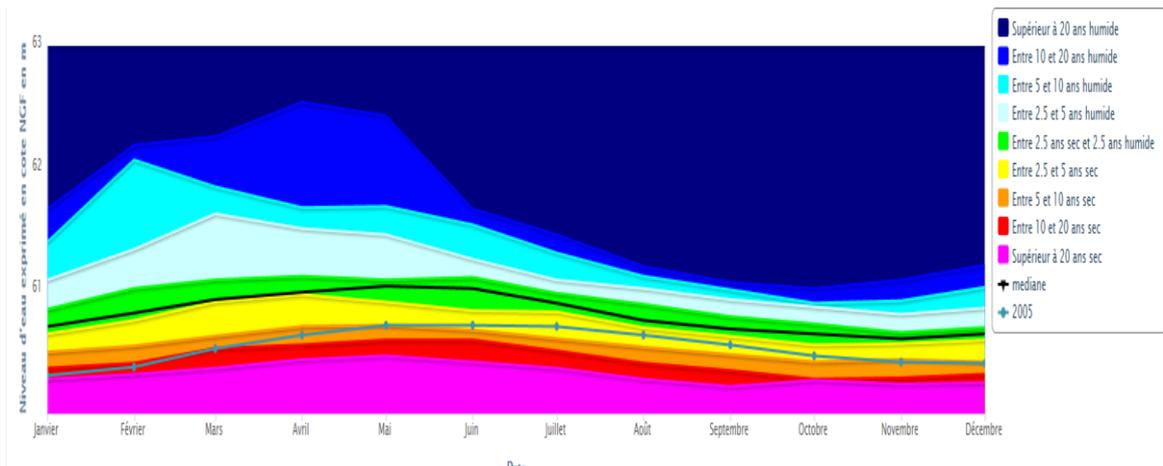


Figure 3-15 : Indicateur BSH pour l'année 2005

Par conséquent, en 2005, la nappe n'intervient pas dans la crue de la Scarpe puisque cette dernière s'est produite pendant une année de sécheresse.

Le débordement de la Scarpe canalisée en 2005 est donc dû à un orage ponctuel violent.

3.3.5 Manœuvres au niveau du canal

VNF était en gestion de crise lors de l'événement du 4 juillet 2005. Aucune manœuvre réalisée ce jour-là sur les ouvrages hydrauliques n'a été notée.

Dans l'étude [2], l'indisponibilité du barrage Couteau avait été évoqué, nous le rappelons ci-après.

« Avant la crue de 2005, le matin du 27 juin 2005, un problème est survenu sur la maçonnerie autour du vérin du barrage de Couteau. Les clapets étaient alors complètement couchés. A 17h30, des batardeaux ont été mis en place devant le clapet, qui de ce fait n'a pu être utilisé pendant la crue.

D'après M. Mordacq (VNF), la gestion des eaux s'effectuait alors :

- par les vantelles de l'écluse de Couteau sur la Scarpe,
- par de fausses bassinées à l'écluse de Courchelettes sur le canal de la Sensée,
- par l'ouverture des vannes d'écluse de Courchelettes sur le canal de la Sensée (Grand Gabarit).

Au niveau de l'ouvrage de Courchelettes, Madame Chuquet de VNF ne sait pas si ce sont de fausses bassinées ou des passages par les vantelles qui ont été réalisées.

La navigation sur le grand gabarit a été interrompue pendant l'événement du 04/07/05 pour pouvoir procéder aux fausses bassinées de l'écluse de Courchelettes.

Lors de l'événement du 3 au 4 juillet 2005, c'est donc ce système de gestion des eaux qui était en place. Il convient de s'interroger sur l'impact de ce fonctionnement dégradé sur le déroulement de la crue. »

D'après l'étude [1], le débit maximum pouvant transiter à travers le clapet est de $16 \text{ m}^3/\text{s}$, et la capacité d'évacuation de débit du barrage + écluse Couteau a été évaluée par les VNF à $10 \text{ m}^3/\text{s}$ pendant l'événement. La perte de capacité liée au barrage défectueux serait donc de $6 \text{ m}^3/\text{s}$.

Toujours d'après cette étude citant les VNF, les bassinées de compensation réalisées à Courchelettes sur le canal à Grand Gabarit ont permis d'évacuer un débit significatif vers le Douaisis, les bassinées représentant un potentiel de $10 \text{ m}^3/\text{s}$. Selon ces sources, la perte de débitance causée par les travaux sur Couteau a donc été largement compensée

par les bassinées à l'écluse de Courchelettes, qui hors circonstances exceptionnelles, ne sert pas à l'évacuation des eaux en crue de la Scarpe.

Dans ce contexte, le dysfonctionnement du barrage Couteau ne serait donc pas un facteur aggravant en matière hydraulique de la crue du 4 juillet 2005 à Courchelettes.

La genèse de l'inondation de Courchelettes est due à une combinaison de plusieurs facteurs :

- **Une averse orageuse d'extrême intensité qui a contribué à la saturation du réseau pluvial du secteur,**
- **Une petite brèche en amont de la rue Courmont qui a aggravé l'inondation au niveau de cette rue,**
- **Un débordement du canal par-dessus le chemin de halage en amont du terrain de football, sans toutefois que le chemin de halage n'ait été érodé.**

3.3.6 Eutrophisation du canal

L'événement du 4 juillet 2005 s'est donc déroulé en été alors que le canal est touché par un problème d'eutrophisation. En effet, chaque année du mois de mai au mois d'octobre, les plantes aquatiques envahissent les biefs et gênent les écoulements. Ce fut donc le cas lors du 4 juillet 2005, et plus particulièrement en aval de la base nautique au niveau où le canal se resserre au droit de la voie ferrée.

La responsable de la cellule de gestion hydraulique de VNF précise qu'il n'y avait pas eu de faucardage avant la crue.

3.4 EVÉNEMENT DE DEBUT AOÛT 2008

Cet événement est également un orage d'été mais beaucoup plus modéré que celui du 4 juillet 2005. Dans l'étude [2], l'entretien avec Monsieur Debavelaere, conseiller municipal délégué de Vitry-en-Artois avait signalé un débordement de la Scarpe dans la nuit entre les 3 et 4 août 2008 au niveau de la limite communale avec Biache-St-Vaast. La RD 42 a été coupée et les parcelles agricoles environnantes ont été inondées (environ 8 ha). Le déversement de la Scarpe, par-dessus la berge rive droite, s'est étendu sur 20 m de large, pendant une nuit (environ 8h), avec 5 à 6 cm de lame d'eau. Deux à trois jours ont été nécessaires au ressuyage des terrains vers le siphon.

Toutes les écluses VNF sont automatisées selon une cote de consigne mesurée par un flotteur, si bien que les embâcles ou herbes qui se coincent dessus empêchent le flotteur de détecter la montée des eaux, et le barrage ne s'ouvre pas. L'eutrophisation de la Scarpe est un problème important (développement de roseaux essentiellement), surtout depuis que le trafic est réduit sur ce bief. C'est ce phénomène qui s'est produit en août 2008.

Au niveau de la station de Brebières, le débit maximum journalier a été enregistré le 7 août 2008. En regardant de plus près les débits à Brebières et Duisans, on s'aperçoit qu'il y a bien eu deux montées distinctes des eaux. C'est donc la première qui a provoqué le débordement à Vitry mais pas la seconde.

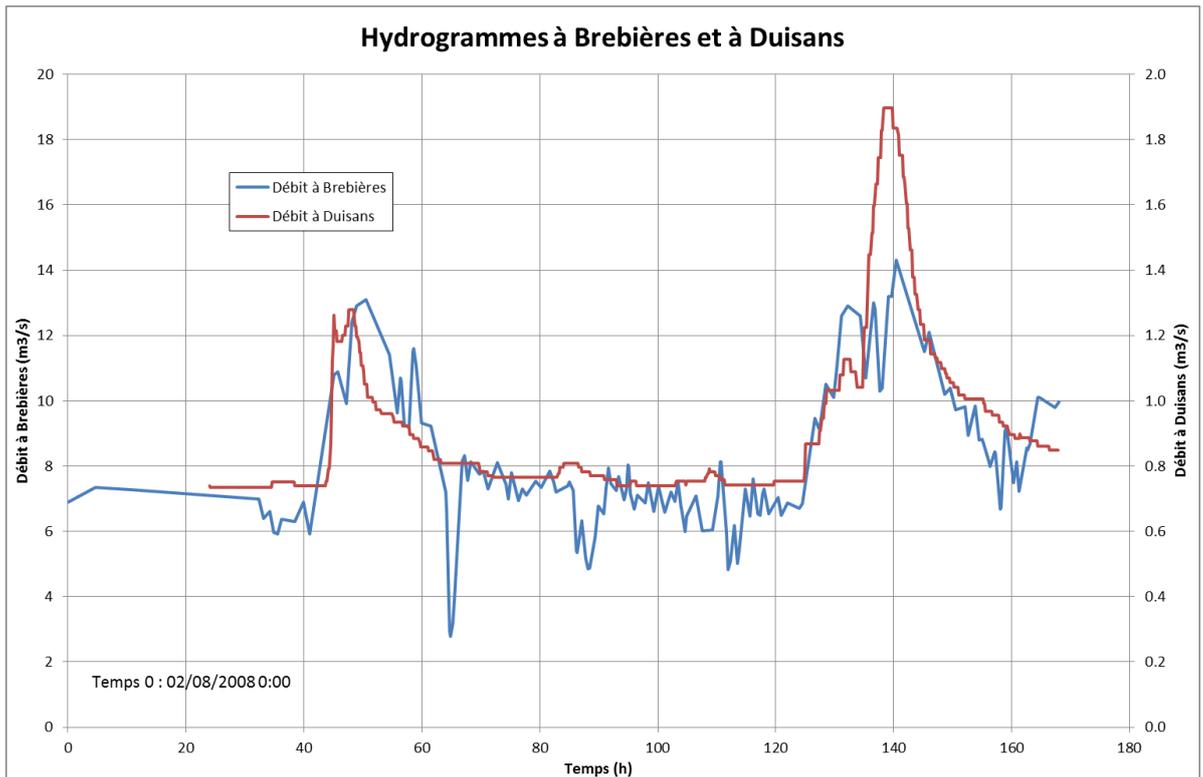


Figure 3-16 : Hydrogrammes à Duisans et Brebières

Lors du 1^{er} pic, un ouvrage ne s'était pas ouvert, il y a donc eu une manœuvre forcée que l'on ne connaît pas.

Le deuxième pic de crue à Brebières n'a pas causé de débordement. C'est donc celui-ci que nous calerons dans le modèle hydraulique.

Les données pluviométriques aux stations de Saulty et Wancourt sont présentées sur la figure suivante.

Le premier épisode de pluie apparaît plus fort que le second avec une pointe à 27 mm en 1 heure mais avec un épisode unique, alors que le deuxième comporte 2 pics de pluie éloignés de 8 h environ un peu moins importants.

Lors du premier épisode de pluie, la pluie maximale à Saulty tombe une heure avant celle de Wancourt. Pour le deuxième épisode, le décalage est moins visible si ce n'est lors du 2^{ème} pic de pluie où la pluie à Saulty a une heure d'avance sur celle de Wancourt.

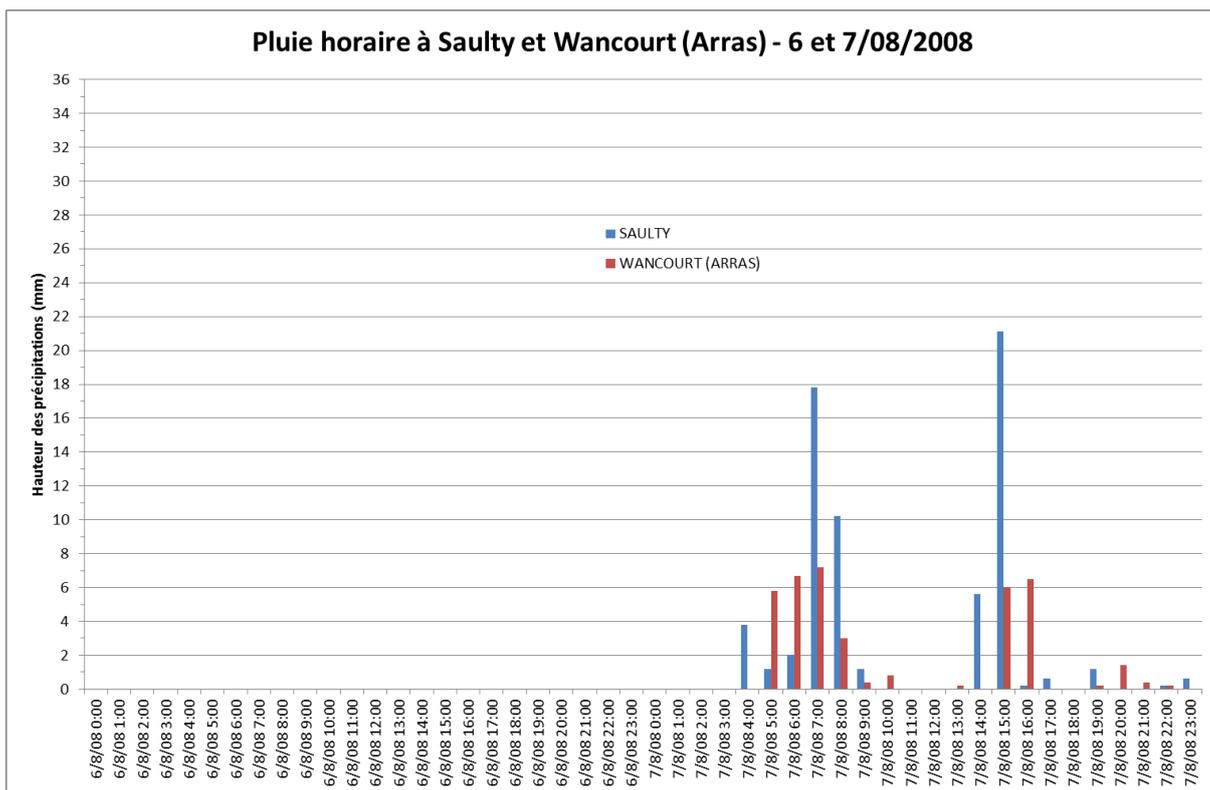


Figure 3-17 : Pluie horaire des 6 et 7 août 2008 à Saulty et Wancourt

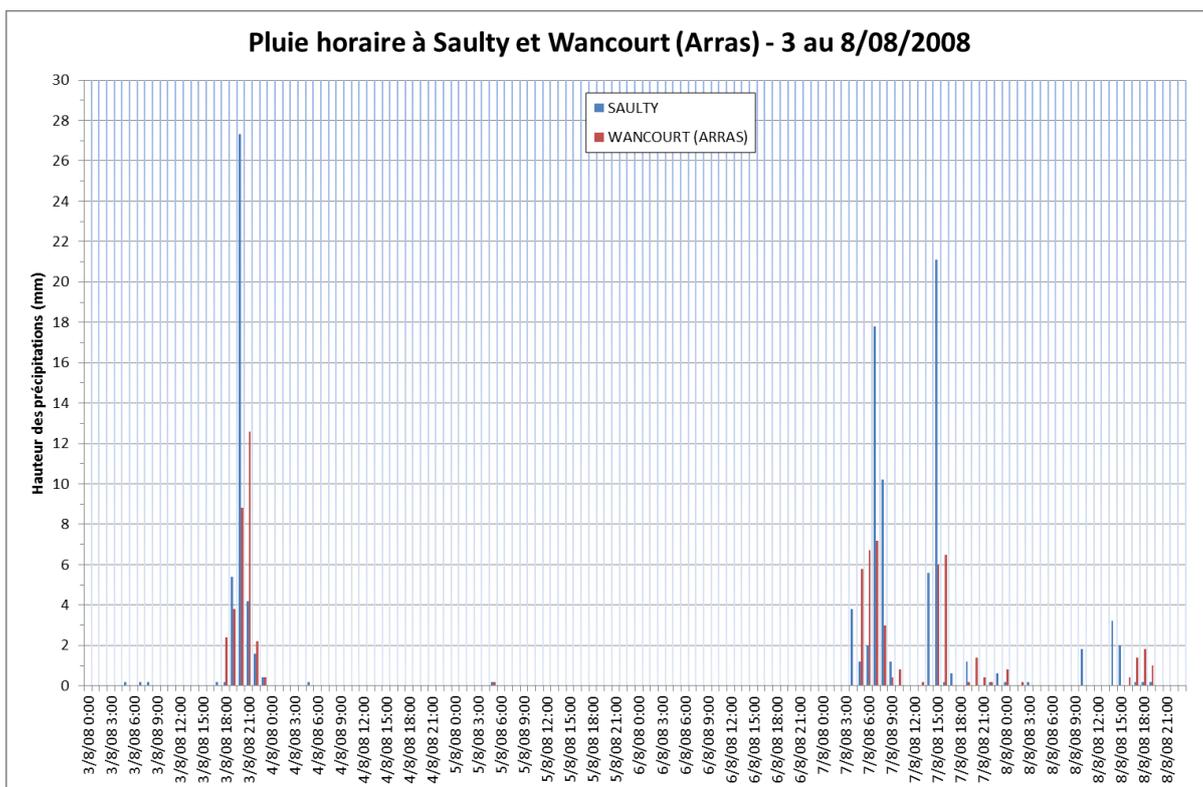


Figure 3-18 : Pluie horaire à Saulty et Wancourt du 3 au 8 août 2008

C'est pourtant le deuxième épisode pluvieux qui a engendré le débit le plus important à Brebières. On remarque cependant que le débit à Brebières est resté soutenu entre les deux épisodes avec un débit de l'ordre de 7 m³/s.

Une comparaison des cumuls pluviométriques est réalisée sur les différentes stations les 6 et 7 août 2008, elle est présentée dans le tableau suivant.

Date	Temps pris en compte	Pluie Météo-France (mm)			Pluie CAD (mm)
		Aubigny	Saulty	Wancourt	Esquerchin
06/08/2008	du 06/08/08 7:00 au 07/08/08 6:00	6.9	7	12.5	0
07/08/2008	du 07/08/08 7:00 au 08/08/08 6:00	36.2	59	27.3	48.8
Total sur 2 jours (mm)		43.1	66	39.8	48.8

Tableau 3-3 : Cumuls pluviométriques les 6 et 7 août 2008

Il est intéressant de noter que le cumul sur les deux jours à Saulty est identique à celui enregistré lors de l'événement de 2005.

La figure suivante permet de superposer la pluviométrie des stations de Saulty et de Wancourt avec le débit mesuré à Brebières. La pluviométrie fournie par Météo-France est en temps universel, il faut donc rajouter 2 heures pour avoir des temps équivalents à ceux de Brebières (Heure Légale).

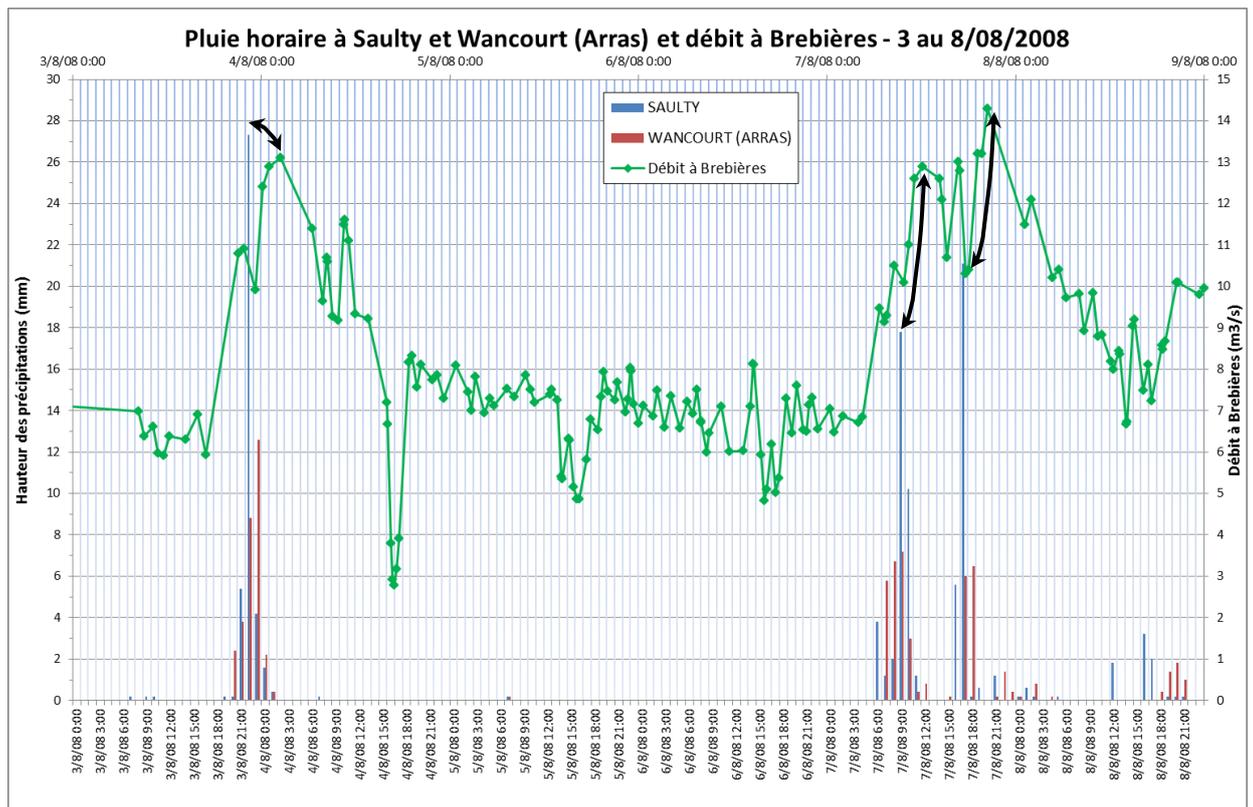


Figure 3-19 : Superposition de la pluie tombée et de l'hydrogramme à Brebières (3 au 8/08/08)

Au niveau du premier épisode pluvieux (le 3 août 2008), la pluie maximale est tombée entre 21h et 22h à Saulty et entre 22h et 23h à Arras alors que le débit maximal à Brebières a été enregistré le 4 août à 2h28. On a donc un écart de l'ordre de 5 heures entre la pluie tombée à Saulty et la crue à Brebières, et entre Arras et Brebières l'écart se réduit à 4 heures.

Pour le deuxième épisode pluvieux (le 7 août 2008), la comparaison est plus délicate car il y a 2 pics de pluie mais 3 pics de débit. Arbitrairement, on ne tient pas compte du pic

central. Au niveau du premier pic, la pluie maximale est tombée entre 8h et 9h à Saulty comme à Arras, le pic de débit qui semble correspondre est passé à 12h12 à Brebières. On a donc un écart de 3 à 4 heures entre la pluie tombée et la formation de la crue. Le deuxième pic de pluie est tombé entre 16h et 17h à Saulty et entre 17h et 18h à Arras alors que le dernier pic de crue s'est produit à 20h25 à Brebières. On a donc un écart de 4 heures entre la pluie tombée à Saulty et la crue à Brebières, et entre Arras et Brebières l'écart se réduit à 3 heures.

Le niveau de la nappe à Maroeuil n'est pas bien connu en 2008. Si on regarde les années 2007 et 2009 encadrant l'année 2008, elles sont situées dans le jaune et le vert, la nappe était donc à son niveau moyen.

Comme pour l'événement de 2005, la nappe de la craie n'a donc pas constitué d'apport déterminant pouvant expliquer au moins en partie la crue de la Scarpe.

Indicateur BSH, période de retour
00263X0129/PZASA4 - Forage de la Chaussée Brunehaut (Maroeuil) - 62
Cet indicateur est calculé pour une période **minimale de 10 ans** (càd au moins 10 valeurs moyennes mensuelles pour le mois considéré), à partir d'une série de données du 26/01/1974 au 31/12/2013 avec Uniquement les données validées correctes et en cours de validation.

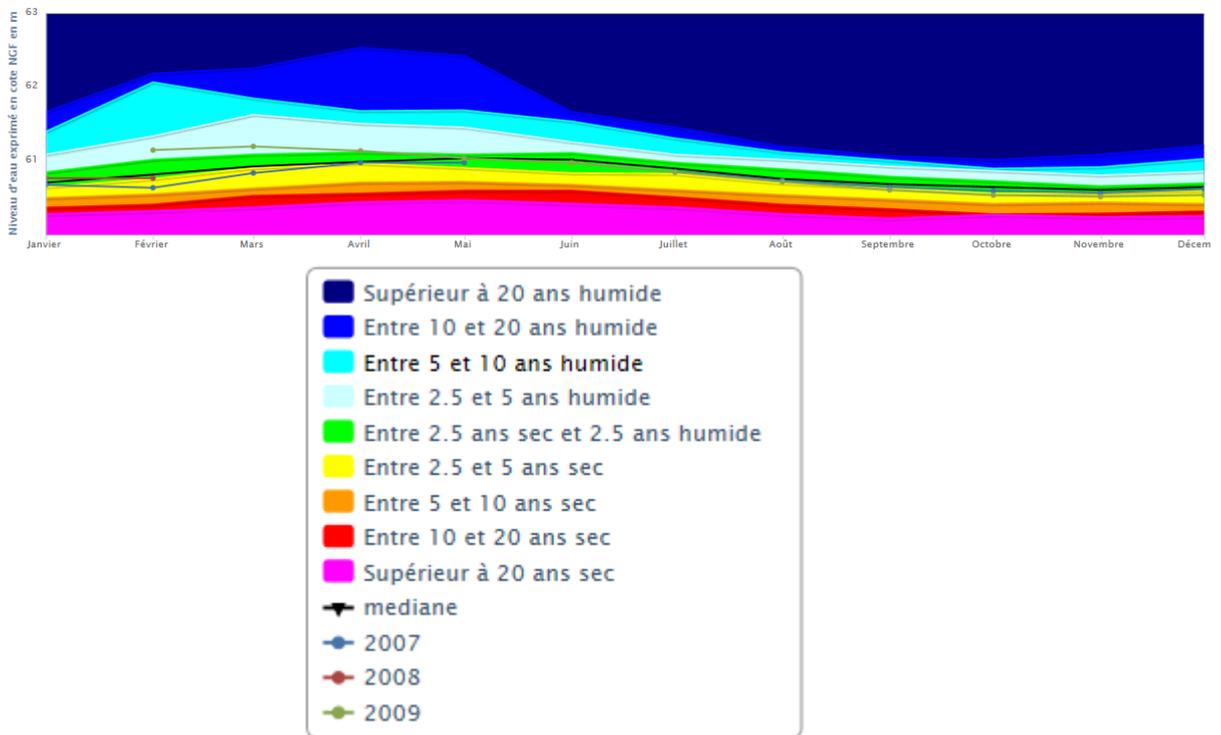


Figure 3-20 : Indicateur BSH du piézomètre de Maroeuil (années 2007-2008-2009)

Concernant les problèmes de plantes aquatiques survenant en été, on ne sait pas s'il y a eu ou pas un faucardage avant l'événement d'août 2008.

4 MODELISATION DE LA SCARPE CANALISEE ET MODELE PLUIE-DEBIT

Il s'agit de réaliser le modèle hydraulique représentant la Scarpe canalisée couplé avec un modèle pluie-débit afin d'évaluer le comportement dynamique de la baisse des niveaux et ses impacts en phase 2, mais aussi de quantifier de façon exhaustive les volumes et débits en provenance des différents territoires dont le canal est le milieu récepteur.

4.1 DÉMARCHE MISE EN OEUVRE

4.1.1 Cours d'eau modélisés

La Scarpe canalisée est modélisée depuis la Darse Méaulens jusqu'à la confluence avec les 4 canaux un peu en aval de l'écluse de Couteau et le canal à grand gabarit est modélisé depuis l'écluse de Goeulzin jusqu'en aval de l'écluse de Courchelettes. Un linéaire d'une trentaine de kilomètres est ainsi modélisé. Il est présenté sur la figure suivante.

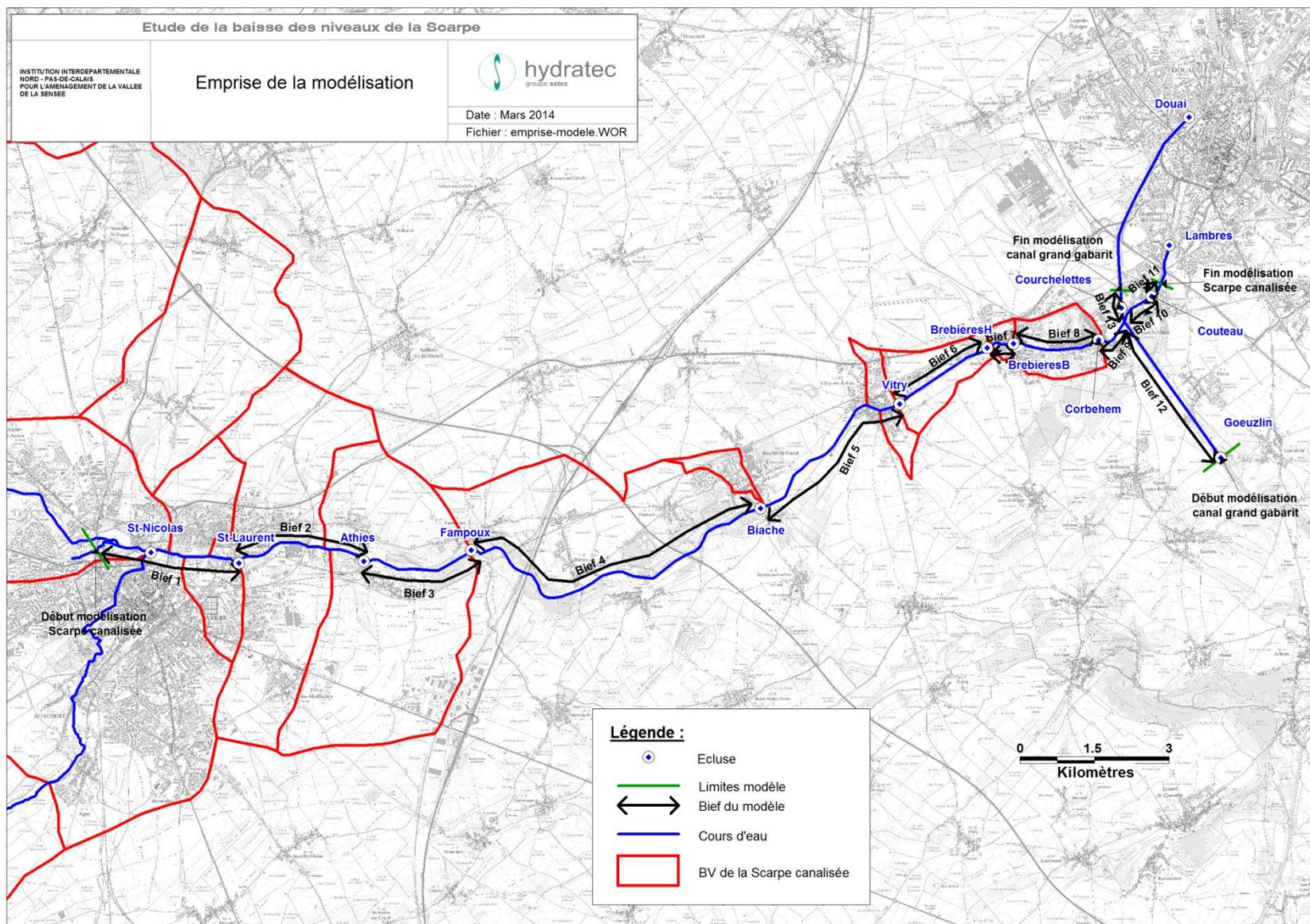


Figure 4-1 : Emprise de la modélisation

Les tronçons de cours d'eau des affluents amont ne sont pas représentés mais leurs bassins versants sont pris en compte dans la modélisation pluie-débit. La pluie tombant sur ces bassins versants est transformée en hydrogrammes qui sont injectés dans le bief modélisé de la Scarpe.

4.1.2 Evènements modélisés et situation prise en compte

Les deux évènements pris en compte sont deux orages d'été :

- Juillet 2005, car c'est le seul évènement connu ayant entraîné des débordements dans le secteur du Douaisis, début de la simulation le 03/07/2005 à 3h00
- Août 2008, c'est le deuxième évènement où le débit journalier dans la Scarpe à Brebières est maximum sur la période 2005 – 2012, début de la simulation le 07/08/2008 0h00.

Les biefs de la Scarpe canalisée sont régulés pour maintenir un certain niveau de navigation. Les simulations sont donc réalisées avec les clapets réglés sur le maintien du NNN, les manœuvres ayant été faites lors de ces deux crues n'étant pas connues.

VNF a signalé que la course des vérins des clapets n'est pas toujours maximale par rapport aux cotes basses indiquées dans les rapports d'ouvrage. En pratique, pour compenser le non abaissement du clapet, la vanne latérale manuelle est ouverte. Ce mode de fonctionnement ne peut pas être modélisé, seule la course maximale par rapport à la cote indiquée dans le dossier d'ouvrage est prise en compte.

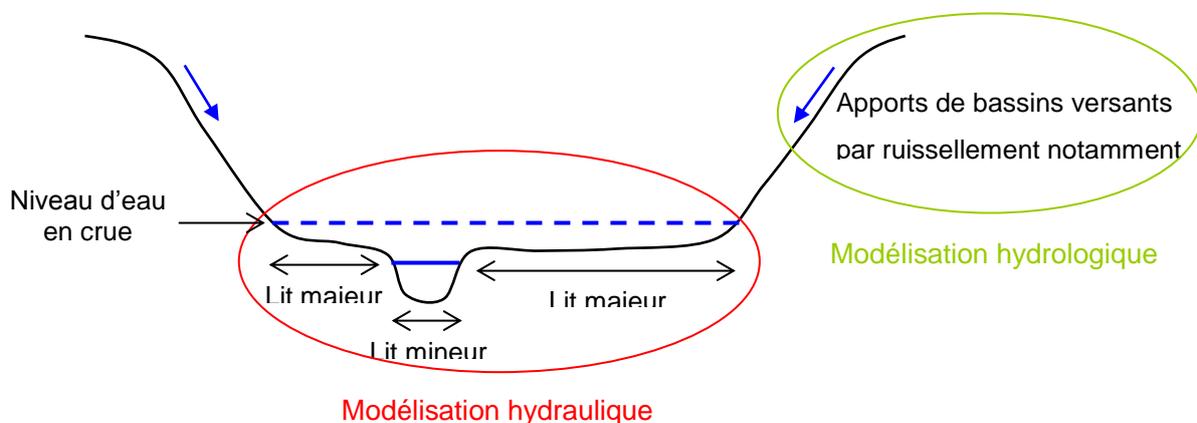
4.1.3 Topographie utilisée pour la construction du modèle

Ce sont les données bathymétriques et les caractéristiques des ouvrages présentés au chapitre 1 qui servent à la construction du modèle hydraulique.

4.1.4 Modélisation hydraulique et modélisation hydrologique

La modélisation hydraulique vise à schématiser les tronçons de vallées, c'est-à-dire leur lit mineur et leur lit majeur (plans d'eau inclus). Plusieurs modes de représentation peuvent être adoptés selon la configuration de la vallée modélisée (filaire, casier ou bi-dimensionnel).

La modélisation hydraulique permet de simuler le déplacement de l'onde de crue le long des cours d'eau, c'est-à-dire de retranscrire l'évolution des débits, des hauteurs d'eau et des vitesses au cours du temps en tout point des vallées modélisées.

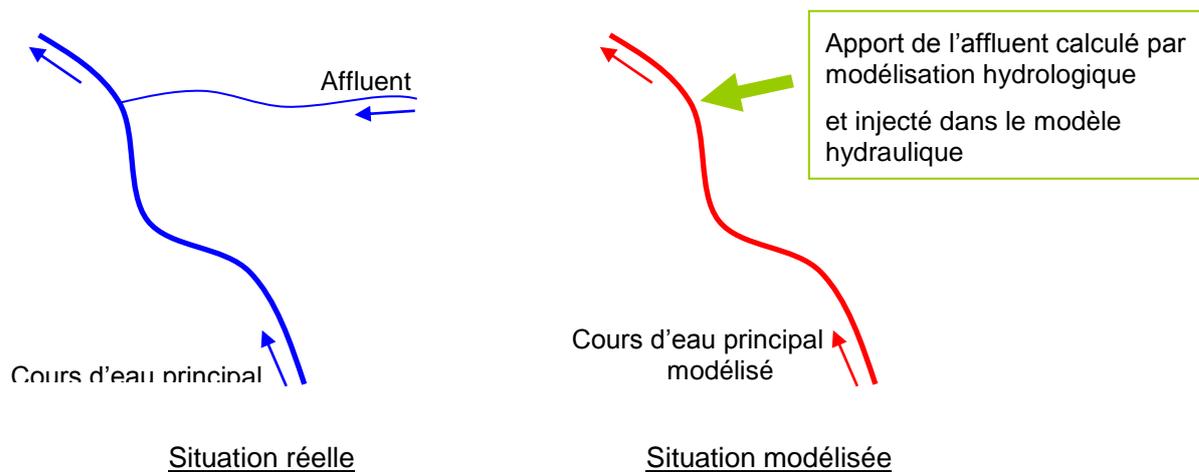


La modélisation hydrologique permet de calculer les débits exutoires de bassins versants à partir de la pluviométrie d'évènements donnés. Il s'agit en fait d'une quantification de

l'eau qui s'en évacue par ruissellement, par ressuyage des terres ou par soutien de nappe. Plusieurs méthodes de calculs peuvent être adoptées selon la nature géologique des bassins versants (SCS modifié, méthode rationnelle, réservoir linéaire, hydrogramme unitaire...).

La modélisation hydrologique permet de comprendre le comportement de réponse du bassin versant aux précipitations, et de fournir les hydrogrammes d'apport à injecter dans le modèle hydraulique.

Ainsi, les cours d'eau qui ne figurent pas dans la modélisation hydraulique sont tout de même pris en compte dans la modélisation, puisque leurs débits d'apport sont calculés dans la modélisation hydrologique et intégrés au modèle hydraulique (voir illustration ci-dessous).



4.1.5 Présentation du logiciel HYDRARIV utilisé

HYDRARIV est un progiciel de modélisation hydrologique et hydraulique des espaces fluviaux. Il est conçu pour intégrer dans un même modèle des schémas de représentation contrastés, tels que la schématisation filaire, les casiers et les maillages bi dimensionnels. Cette souplesse permet d'adapter au mieux la modélisation à la spécificité des configurations rencontrées dans le domaine fluvial et aux objectifs de modélisation poursuivis.

HYDRARIV est une application totalement autonome, gérant tout à la fois la génération et l'édition des modèles via une interface graphique dédiée, le pilotage des calculs et l'exploitation des résultats. Elle est organisée autour d'un module de pilotage développé en VB6 et d'une base de données spécifique, interne à l'application : aucune licence externe n'est requise.

Le noyau de calcul est constitué par le logiciel HYDRA, développé et exploité par Hydratec depuis plus de 20 ans. Ce noyau englobe des algorithmes généraux intéressant les écoulements superficiels, il est utilisé dans plusieurs domaines d'intervention, dont l'hydraulique fluviale. La chaîne de simulation HYDRA est totalement transparente à l'utilisateur car elle est pilotée par l'interface d'HYDRARIV.

Les concepts de modélisation manipulés par HYDRARIV présentent un haut niveau d'intégration avec pour avantages :

- **L'ergonomie** : la description d'un domaine fluvial est basée sur des schémas de modélisation diversifiés accordant une grande latitude de choix au modélisateur selon sa compréhension du fonctionnement hydraulique du système modélisé. Par ailleurs

HYDRARIV est conçu pour fonctionner dans un environnement WINDOWS. Il respecte les « guides de style Windows », ainsi que les règles d'ergonomie des environnements Windows.

- La fiabilité et la robustesse : la génération d'un modèle hydraulique subit de nombreux contrôles de cohérence des données et active automatiquement les options de calcul les plus appropriées aux caractéristiques du modèle défini par l'utilisateur,
- La performance : l'organisation interne des entités de modélisation est entièrement prise en charge par des programmes de génération spécifiques. Ceux-ci sont conçus pour optimiser la taille des systèmes matriciels et donc minimiser les temps de calcul.

Toutes les informations complémentaires sur le logiciel HYDRARIV sont accessibles sur le site internet : <http://www.hydratec-software.com/>. L'annexe 4 présente le logiciel Hydrariv.

4.2 MODÉLISATION HYDROLOGIQUE

La modélisation hydrologique et hydraulique de la présente étude est réalisée à l'aide du logiciel de modélisation fluvial HYDRARIV, logiciel sous licence Hydratec.

Comme expliqué au paragraphe 4.1.4, la modélisation hydrologique permet de « convertir » les hauteurs de pluie mesurées (par Météo France) en débit à l'exutoire d'un bassin versant. Cette modélisation permet d'obtenir tous les hydrogrammes d'entrée et intermédiaires des rivières modélisées sur le bassin versant.

La démarche est la suivante :

1. Choix des pluviomètres et recueil des données pluviométriques sur chaque pluviomètre ;
2. Découpage du bassin versant de la Scarpe canalisée en sous-bassins de modélisation hydrologique sur lesquels les calculs sont menés individuellement ;
3. Mise en œuvre du modèle de transformation pluie-débit (tâche effectuée en interne à HydraRiv).

4.2.1 Données pluviométriques utilisées

Le choix des pluviomètres est fait afin de couvrir le mieux possible le bassin versant de la Scarpe.

Les données pluviométriques utilisées concernent les postes de :

- Saulty,
- Wancourt (Arras),
- Aubigny.

Les deux premiers postes retenus comportent des données horaires plus précises, le poste d'Aubigny n'ayant que des données journalières, la pluie journalière est discrétisée au pas de temps horaire suivant la même répartition que celle mesurée au poste pluviométrique le plus proche, à savoir le poste de Saulty.

4.2.2 Découpage en sous-bassins versants

Le débit à l'exutoire du bassin versant dépend notamment de :

- Sa surface,
- La nature du sol,
- L'état de saturation du sol,
- Des hauteurs de précipitations pendant l'événement.

Le découpage du bassin versant de la Scarpe en sous-bassins versants d'apports est donc réalisé de telle sorte que ces paramètres soient homogènes au sein d'un sous-bassin versant. Il est présenté sur la figure suivante.

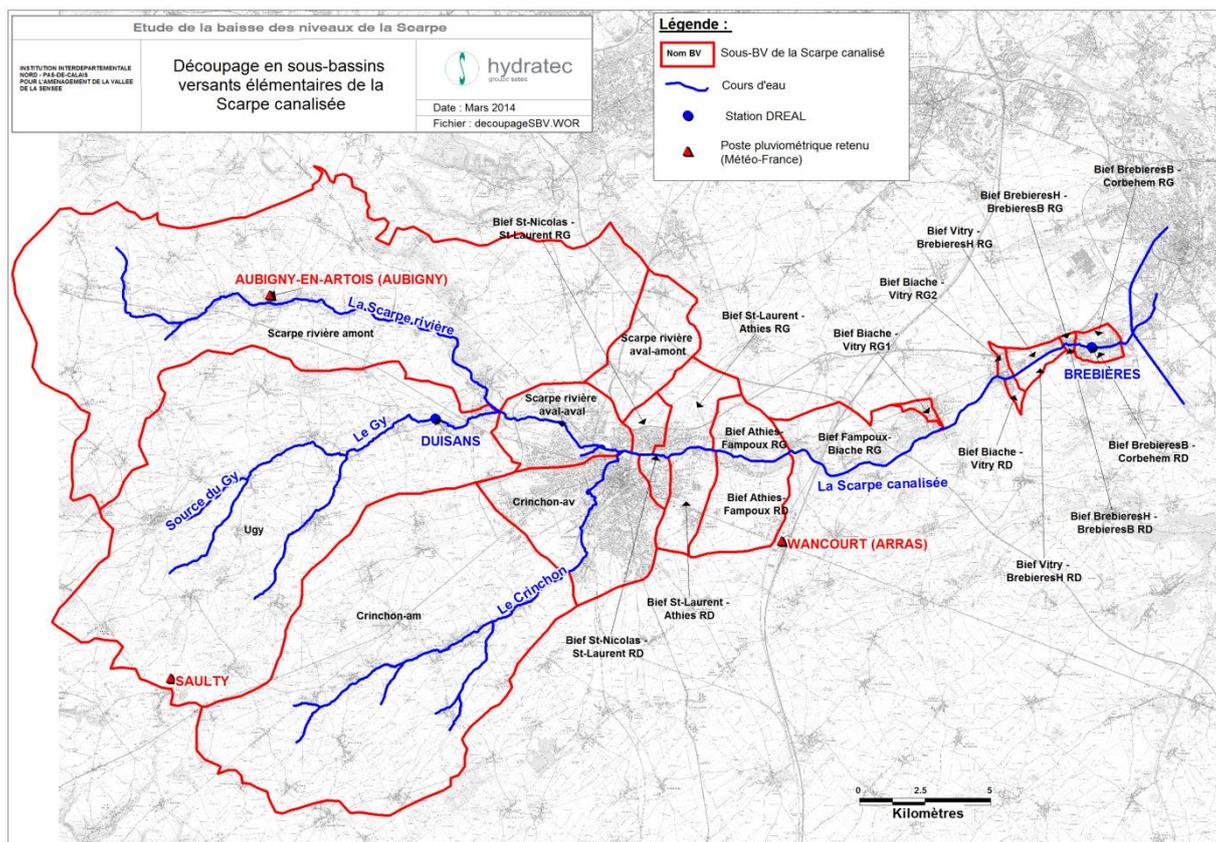


Figure 4-2 : Découpage en sous-bassins versants de la Scarpe canalisée

Le bassin versant de l'affluent du Gy est contrôlé par la station de mesures de hauteurs d'eau de Duisans mais la courbe de tarage associée à cette station n'est pas fiable.

La seule station de mesure de débit est située à Brebières, elle contrôle donc la quasi-totalité du débit de la Scarpe canalisée.

Le calage du modèle hydrologique devra se faire parallèlement au calage du modèle hydraulique.

L'hydrogramme calculé à l'exutoire de chaque bassin versant est injecté dans le modèle hydraulique en un point d'injection (après un éventuel routage hydrologique prenant en compte le temps de transfert pour les sous-bassins lointains du point d'injection). Au total, il y a 22 points d'injection de débit dans le modèle de la Scarpe canalisée.

4.2.3 Mise en œuvre du modèle pluie/débit

A partir des chroniques de pluies enregistrées aux différents pluviomètres, le module de calcul hydrologique d'HydraRiv calcule un hyétogramme moyen tombant sur chaque sous-bassin versant. La méthode utilisée est l'interpolation par pondération des distances.

Ensuite, la fonction de production de la pluie nette sert à calculer la proportion des pluies brutes (mesurées) qui ruisselle et la fonction de production pluie-débit transforme le hyétogramme des pluies nettes calculé précédemment en un hydrogramme à injecter dans le modèle hydraulique.

Dans le modèle de la Scarpe canalisée, des sous bassins versants ruraux et urbains ont été identifiés. Le tableau suivant récapitule, pour les deux types de bassins versants, les modèles conceptuels choisis pour la fonction de production de la pluie nette et pour la fonction de production du ruissellement.

Type de bassin versant	Fonction de production de la pluie nette choisie	Fonction de production du ruissellement choisie
Ruraux	Modèle SCS	Modèle de l'hydrogramme unitaire de type Socose
Urbains	Modèle du coefficient de ruissellement constant	Réservoir linéaire

Tableau 4-1 : Modules pluie/débit utilisés pour la modélisation hydrologique

Ces modèles ont été choisis car ils permettent de bien représenter les types de bassins versants de la Scarpe ruraux et urbains.

Ces modèles sont décrits en pages suivantes (cf. 0 et 4.2.3.2).

Les hydrogrammes calculés aux exutoires des sous-bassins versants sont ensuite sommés ou routés (transférés vers l'aval moyennant un retard de l'hydrogramme) ou directement injectés, selon la position du bassin versant considéré par rapport au point d'injection dans le modèle hydraulique.

4.2.3.1 Bassins versants ruraux

❖ Modèle SCS :

Le schéma de ce modèle est présenté sur la figure page suivante.

Dans ce modèle, le sol est constitué de deux couches superposées :

- La Réserve Facilement utilisable (RFU), occupée par la végétation, qui est le siège d'échanges importants de la pluie brute avec l'atmosphère via le mécanisme d'évapo-transpiration (ETP),
- La couche de sol intermédiaire (J), caractérisée par une capacité maximum de stockage de l'humidité, représentée par une hauteur moyenne J_0 .

La RFU est la couche de sol directement alimentée par la pluie brute qui se vidange par évapotranspiration. En cas de saturation, l'excédent rejoint la couche de sol intermédiaire.

La couche de sol intermédiaire, alimenté par l'excédent de la couche RFU, se vidange par ressuyage et par ruissellement. De plus, cette couche peut aussi se vider par pertes (faibles en général) vers les couches profondes.

L'hypothèse fondamentale consiste à supposer que la couche de sol intermédiaire se comporte comme une éponge dont le taux d'absorption varie en sens inverse du niveau d'imbibition : la partie non absorbée ruisselle. Par ailleurs, en l'absence de précipitation, le sol se ressuie lentement, le débit de ressuyage étant supposé proportionnel à la hauteur de lame d'eau accumulée dans le sol.

Ce modèle très simple dans sa conception, est défini par 4 paramètres :

- RFU : Hauteur de la Réserve Facilement Utilisable exprimée en mm.
- J : La hauteur d'interception potentielle du sol en mm.
- T_r : Le temps de réponse du bassin au ressuyage, en jours.
- f_0 : Perte par infiltration vers les couches profondes en mm/j.

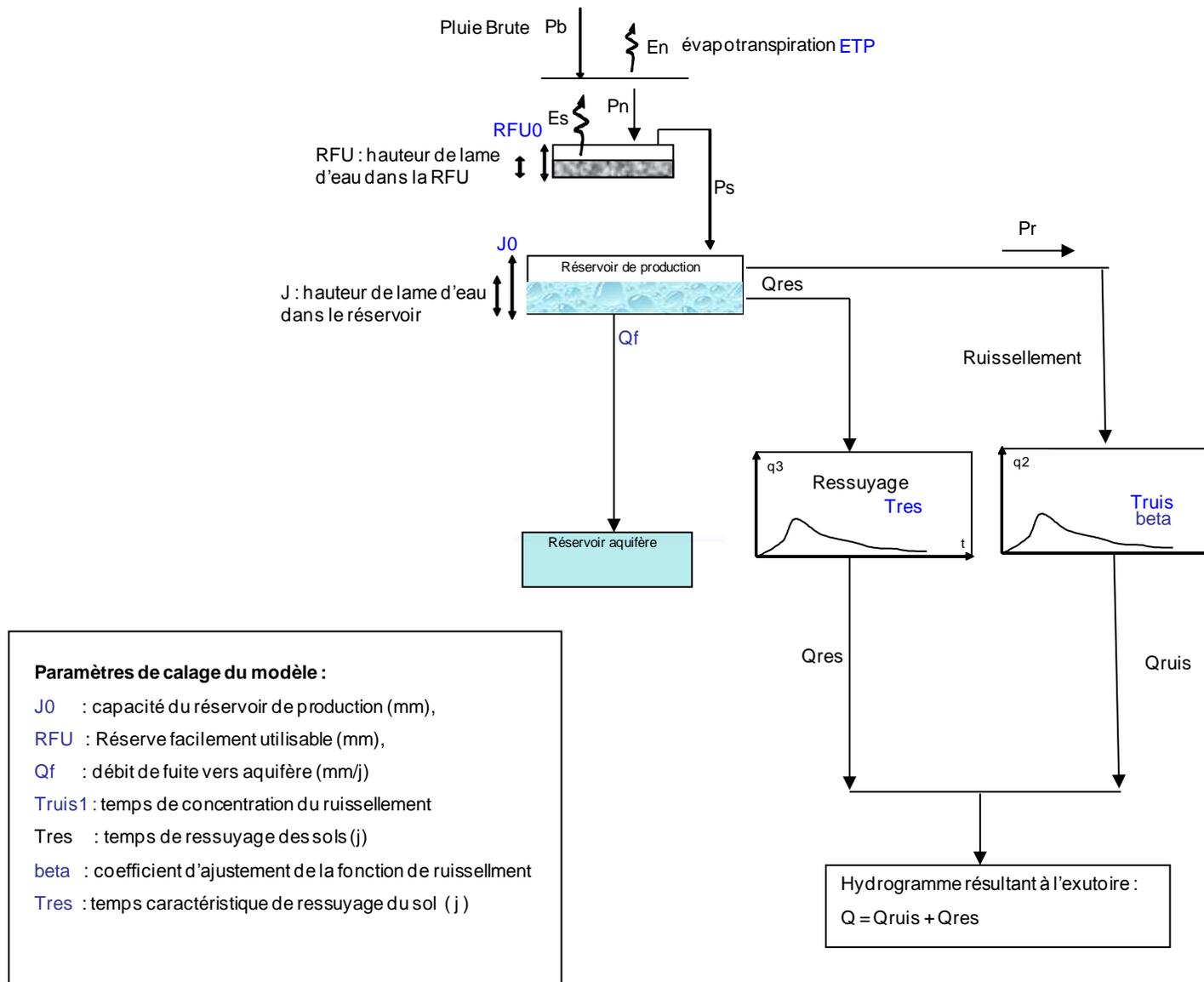


Figure 4-3 : Schéma conceptuel du modèle SCS

❖ Hydrogramme unitaire de type Socose

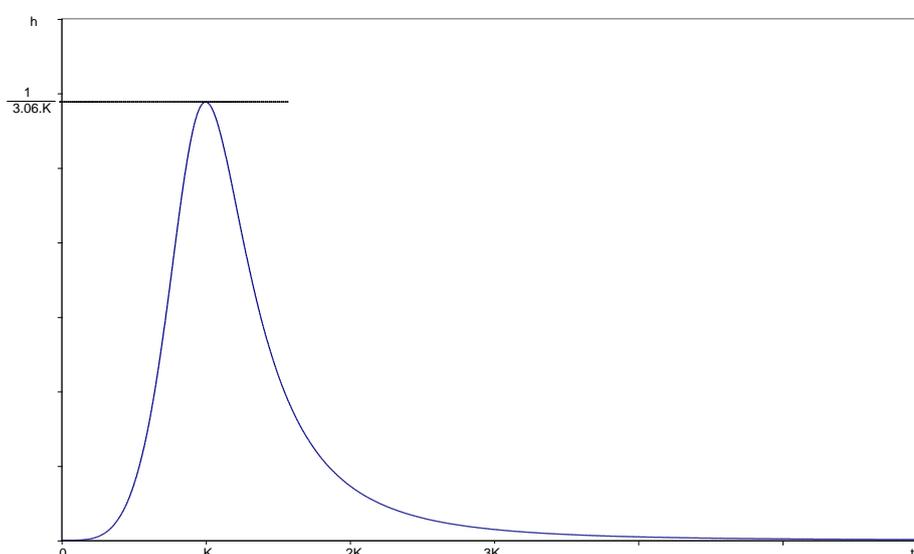
Cette méthode consiste à transformer chaque élément de ruissellement potentiel en un hydrogramme élémentaire et à sommer les différents hydrogrammes pour obtenir l'hydrogramme de crue.

L'hydrogramme unitaire de base est celui proposé dans la méthode SOCOSE. La fonction de transfert est définie comme suit :

$$h(t) = \frac{3.6}{1.53} * \frac{1}{K} * \frac{\left(\frac{t}{K}\right)^4}{1 + \left(\frac{t}{K}\right)^8}$$

Avec K : temps de réponse du bassin versant.

La fonction a l'allure suivante :



4.2.3.2 Bassins versants urbains

❖ Modèle du coefficient de ruissellement constant :

Le modèle du coefficient de ruissellement constant est adapté pour les bassins versants urbanisés, pour lesquels les temps de réponse sont faibles.

Ce modèle est défini par un unique paramètre : le coefficient de ruissellement, supposé constant tout au long de la crue.

La lame d'eau $Q_e(t)$ est reliée à tout instant à l'intensité de la pluie brute $i(t)$ par :

$$Q_e(t) = C_r \times i(t) \times \frac{1}{360}$$

où le coefficient de ruissellement C_r est constant.

❖ Réservoir linéaire

Avec la méthode du réservoir linéaire, chaque bassin versant est vu comme un réservoir qui temporise l'arrivée des pluies pour en restituer du débit tout en conservant le volume. En outre, cette temporisation s'effectue d'une manière linéaire.

Dans la méthode du réservoir linéaire, le seul paramètre de calage explicite est le coefficient K, temps de réponse du bassin versant. Ce calage concerne essentiellement la pointe de l'hydrogramme de sortie : temps et débit de pointe.

4.3 PRÉSENTATION DU MODÈLE HYDRAULIQUE

La modélisation hydraulique de la présente étude est réalisée à l'aide du logiciel de modélisation fluvial HYDRARIV, logiciel sous licence Hydratec.

La modélisation utilisée ici fait intervenir le domaine filaire, caractérisé par une direction privilégiée d'écoulement le long de l'axe de vallée. Le domaine filaire représente le lit mineur et le lit majeur du cours d'eau. Il est défini à l'aide de profils en travers de la vallée.

4.3.1 Domaine filaire

Le domaine filaire représente le lit mineur et le lit majeur de la Scarpe canalisée de la partie de la liaison à grand gabarit entre l'écluse de Goeluzin et l'écluse de Courchelettes ainsi que de la Scarpe moyenne jusqu'à l'écluse de Coueau. La limite entre le lit mineur et le lit majeur a été prise à la cote de débordement des biefs indiqués dans les dossiers d'ouvrage. Le lit mineur est représenté par 6 couples de points (cote / largeur) qui ont été déterminés à partir des profils bathymétriques. Un lit majeur arbitraire (aucune topographie disponible) est modélisé afin de représenter l'étalement de l'eau au-dessus du niveau de débordement. Treize biefs filaires sont modélisés et sont présentés Figure 4-1.

L'exemple suivant présente un profil en travers sur le bief St-Nicolas – St-Laurent, le niveau NNN vaut 53.21 m et la cote de débordement est à 53.66 m.

Lit mineur			Lit majeur Rive gauche			Lit majeur Rive droite		
	Zmin (ngl)	Bmin (m)	Zmaj (ngl)	Bmaj (m)	Zmaj (ngl)	Bmaj (m)		
1	52.11	0.00	53.66	0.00	53.66	0.00		
2	52.51	22.00	53.96	20.00	53.96	20.00		
3	53.21	23.00						
4	53.66	23.50						
5								
6								

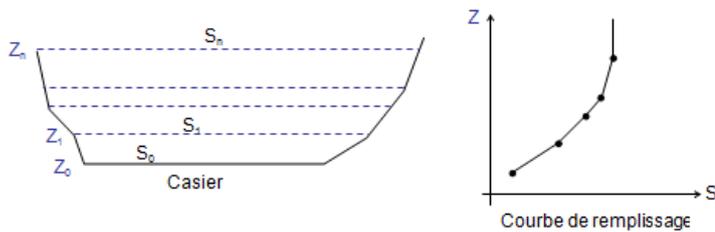
Fraction du lit majeur actif (Landa)	0.90000
Coef. d'échange entre le lit majeur actif et le lit d'expansion en crue (Mu1)	-999.00000
Coef. d'échange entre le lit majeur actif et le lit d'expansion en décrue (Mu2)	-999.00000
Cote de la muette RG (ngl)	-999.00
Cote de la muette RD (ngl)	-999.00

Figure 4-4 : Profil en travers représentant la Scarpe canalisée entre St-Nicolas et St-Laurent

4.3.2 Domaine casier

Le domaine casier remplace le lit majeur du domaine filaire lorsque les écoulements y sont faibles ou lorsque le lit mineur est perché. Le domaine casier pourra être utilisé en phase 2 pour représenter les zones potentielles de stockage (frayère de Fampoux par exemple) qui pourraient délester le lit de la Scarpe canalisée.

Les casiers sont définis par une loi de remplissage : surface en fonction de la cote altimétrique.



4.3.3 Singularités

Les singularités hydrauliques traduisent généralement la présence d'un ouvrage hydraulique particulier dans le lit mineur du cours d'eau modélisé. Il peut notamment s'agir de :

- un point d'apport hydrologique,
- un pont créant une perte de charge,
- un seuil fontal,
- un vannage,
- un ouvrage de dérivation,
- un pompage...

HydraRiv dispose d'un panel de singularités hydrauliques ponctuelles permettant de **schématiser** ces différentes situations.

Les zones rétrécies ponctuellement sont modélisées à l'aide d'une perte de charge de type Bradley, la zone rétrécie est assimilée à des culées de pont.

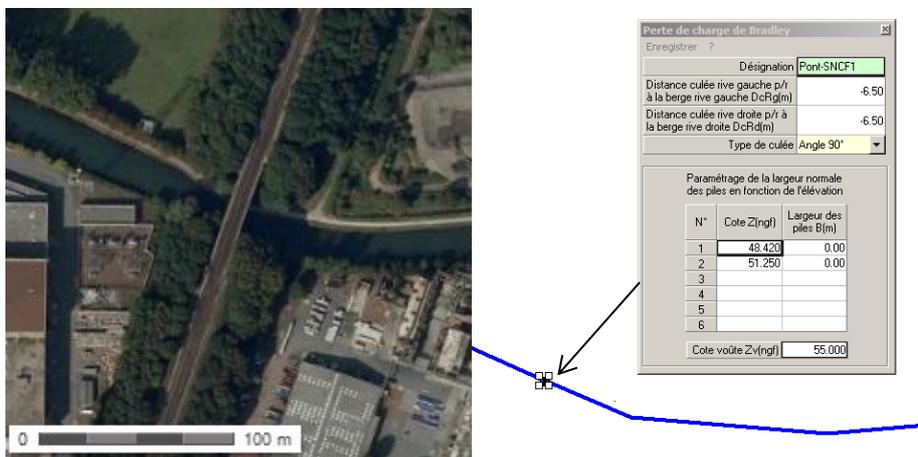


Figure 4-5 : Représentation d'un rétrécissement du canal en aval de St-Laurent

Dans le cas présent, tous les ouvrages aux niveaux des écluses sont modélisés avec des stations de gestion qui permettent de coupler plusieurs lois d'écoulement.

Les clapets automatisés sont modélisés à l'aide un maillage par vanne avec régulation en cote de type PID (Proportionnel Intégral Dérivé), la régulation étant faite sur le niveau NNN.

Les ouvrages à côté des écluses sont modélisés sous forme de déversoirs. Les vannes, qui sont fermées en crue, peuvent être déversantes.

La figure suivante présente un exemple de modélisation au niveau de l'ouvrage de St-Laurent-Blangy.

Représentation du déversement sur les portes d'écluse

Maillage à seuil latéral (QMS)

Enregistrer ?

Désignation	QMS_EclLaurent
Cote radier (NGF)	53.63
Largeur seuil (m)	5.20
Coefficient Seuil	0.60
Cote seuil (NGF)	53.63

de l'eau due à la réoxygénation

Editer...

Consigne de régulation détectée...

Représentation du clapet automatisé

Maillage avec régulation de niveau de type PID (RGZ)

Enregistrer ?

Désignation	RGZ_Laurent
Cote radier fenêtre (NGF)	51.53
Cote voute fenêtre (NGF)	54.00
Largeur vanne (m)	6.400
Coefficient de vanne en régime dénoyé	0.60
Coefficient de vanne en régime noyé	0.60
Type actions vanne	1 : Vanne à effacer
Cote butée vanne en position basse (NGF)	51.53
Cote butée vanne en position haute (NGF)	54.00
Vitesse max de déplacement de la vanne (cm/s)	0.10000
Désignation du point de consigne	Nod_105
Cote critique (NGF)	99999.00
Terme proportionnel (m2/s)	50.00
Terme intégral (m2/s2)	0.00
Terme dérivé (m2)	0.00
Pas de temps de régulation (s)	10

Courbe consigne

N°	Temps (heures)	Niveau de consigne (NGF)
1	0.00	53.21
2	150.00	53.21
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Consigne de régulation détectée...

Représentation du profil en travers amont

Vallée disymétrique (VL): CUA-PT7

Enregistrement Visu ?

Identifiant de la section: CUA-PT7

Lit mineur	Zmin (ngf)	Bmin (m)
1	52.11	0.00
2	52.51	22.00
3	53.21	23.00
4	53.66	23.50
5		
6		

Lit majeur Rive gauche	Zmaj (ngf)	Bmaj (m)	Lit majeur Rive droite	Zmaj (ngf)	Bmaj (m)
1	53.66	0.00	1	53.66	0.00
2	53.96	20.00	2	53.96	20.00
3			3		
4			4		

Fraction du lit majeur actif (Lamda): 0.90000

Coef. d'échange entre le lit majeur actif et le lit d'expansion en crue (Mu1): -999.00000

Coef. d'échange entre le lit majeur actif et le lit d'expansion en décrue (Mu2): -999.00000

Cote de la murette RG (ngf): -999.00

Cote de la murette RD (ngf): -999.00

Scarpe canalisée

Maillage à seuil latéral (QMS)

Enregistrer ?

Désignation	QMS_VanLaurent
Cote radier (NGF)	53.54
Largeur seuil (m)	3.50
Coefficient Seuil	0.60
Cote seuil (NGF)	53.54

Qualité de l'eau due à la réoxygénation

Editer...

Consigne de régulation détectée...

Représentation du déversement sur la vanne levante fermée

Maillage à seuil latéral (QMS)

Enregistrer ?

Désignation	QMS_SeuilLaurent
Cote radier (NGF)	53.30
Largeur seuil (m)	4.20
Coefficient Seuil	0.60
Cote seuil (NGF)	53.30

Qualité de l'eau due à la réoxygénation

Editer...

Consigne de régulation détectée...

Représentation du déversement sur le seuil en rive gauche

Figure 4-6 : Modélisation des ouvrages au niveau de St-Laurent-Blangy

Nota Bene : En l'absence de données sur l'écluse de Courchelettes, la cote haute des portes de l'écluse est prise égale à 30,80 mNGF. De plus, une régulation à la cote NNN est imposée au niveau de l'écluse de St-Nicolas.

4.3.4 Conditions limites aval

Deux conditions limite aval de type Strickler sont saisies dans le modèle. Le dernier bief sur la Scarpe est situé en aval de l'écluse Couteau et le dernier bief sur le canal à grand gabarit est situé en aval de l'écluse de Courchelettes.

Pour l'évènement de 2005, un débit sortant est évalué au niveau de l'écluse de Courchelettes pour représenter les fausses bassinées qui ont eu lieu.

4.3.5 Présentation du modèle de la Scarpe canalisée dans Hydrariv

Le modèle réalisé sous Hydrariv est présenté sur la figure page suivante.

On y distingue les tronçons filaires en bleu et les singularités représentant les ouvrages de la Scarpe, les pluviomètres et les bassins versants (BV) permettant de faire la transformation pluie-débit. Les bassins versants ruraux sont surlignés en jaune et les bassins versants urbains sont surlignés en rouge.

Le tableau suivant récapitule les noms des différents bassins versants injectés dans le modèle hydraulique (nom commençant par BV et figuré en nuage sur le schéma page suivante) et les exutoires de ces bassins versants (nom commençant par HYBV et figuré en carré bleu sur le schéma). Un exutoire peut ainsi récupérer deux BV. C'est le cas de l'exutoire « HYBV_Bia-Vit » qui reçoit les BV « BV_Bia-Vit-RD » et « BV_Bia-Vit-RG2 ».

Nom exutoire	Nœud	PK	Nom BV	Nom BV
HYBV_Crin-am	nod_1	0	BV_Crinchon-am	
HYBV_Crin-av	nod_21	0.3007	BV_Crinchon-av	
HYBV_Ugy	nod_122	0.8869	BV_Ugy	
HYBV_scarpe-am	nod_164	0.8972	BV_Scar-riv-am	
HYBV_Sca-av-am	nod_165	0.92088	BV_Scar-riv-av-a	
HYBV_Sca-riv-av-b	nod_26	1.1916	BV_Scar-riv-av-b	
HYBV_Nic-Lau-RG	nod_151	1.3771	BV_Nic-Lau-RG	
HYBV_Nic-Lau-RD	nod_152	2.5866	BV_Nic-Lau-RD	
HYBV_Lau-Ath-RD	nod_153	3.2842	BV_Lau-Ath-RD	
HYBV_Lau-Ath-RG	nod_154	3.7236	BV_Lau-Ath-RG	
HYBV_Ath-Fam-RD	nod-35	5.6005	BV_Ath-Fam-RD	
HYBV_Ath-Fam-RG	nod_155	5.7082	BV_Ath-Fam-RG	
HYBV_Fam-Bia-RG	nod_156	10.5805	BV_Fam-Bia-RG	
HYBV_Bia-Vit-RG1	nod_157	14.8399	BV_Bia-Vit-RG1	
HYBV_Bia-Vit	nod_158	18.1414	BV_Bia-Vit-RD	BV_Bia-Vit-RG2
HYBV_Vit-BreH	nod_159	19.5594	BV_Vit-BreH-RD	BV_Vit-BreH-RG
HYBV_BreH-BreB	nod_160	20.9966	BV_BreH-BreB-RD	BV_BreH-BreB-RG
HYBV_BreB-Cor	nod_161	22.1472	BV_BreB-Cor-RD	BV_BreB-Cor-RG

Tableau 4-2 : Tableau de correspondance entre les exutoires et les BV

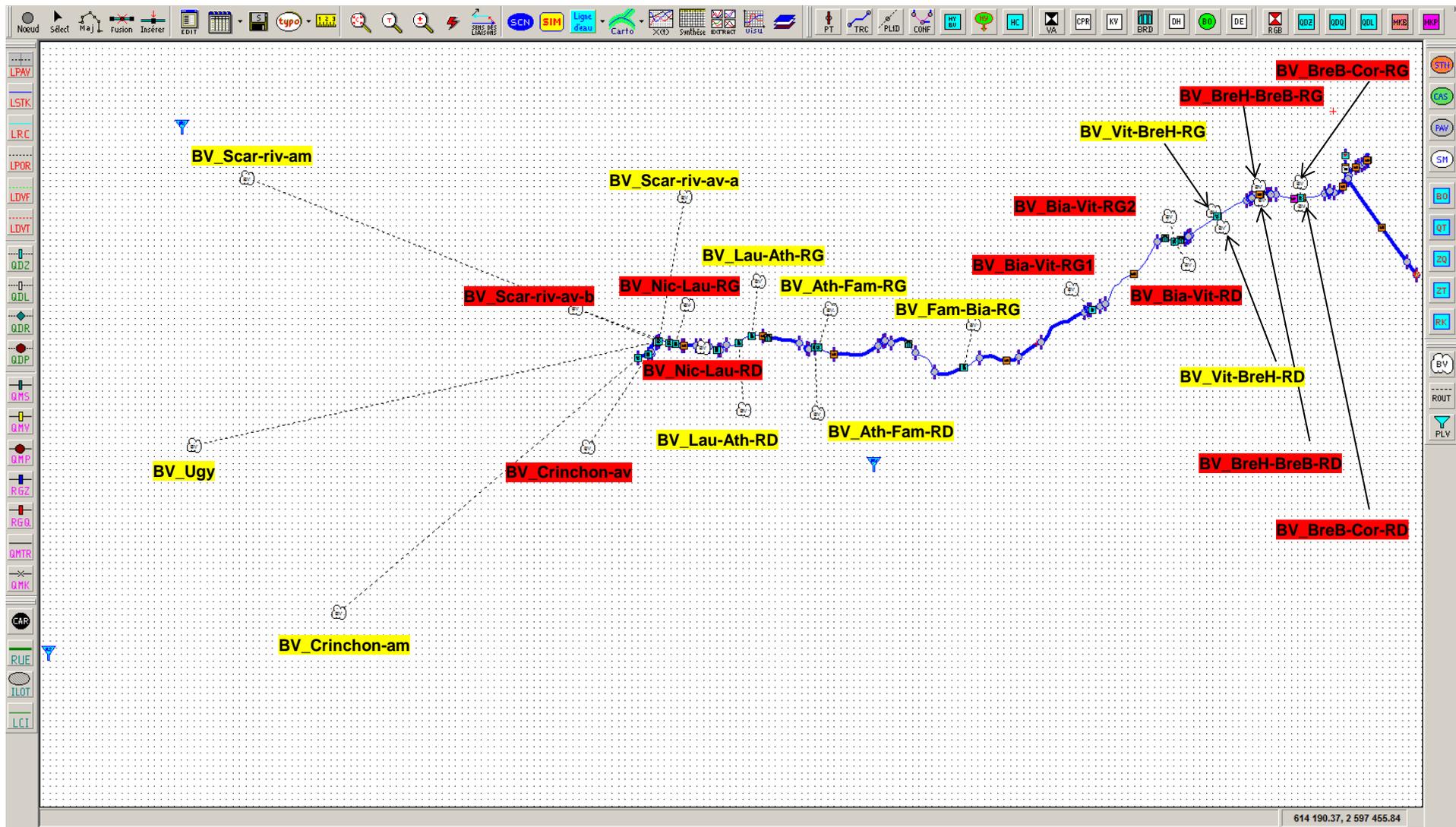


Figure 4-7 : Visualisation du modèle de la Scarpe canalisée dans son environnement Hydrariv

4.4 CALAGE DES MODÈLES HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

Le modèle est calé sur deux scénarios hydrologiques, c'est-à-dire que pour ces événements, les paramètres du modèle sont ajustés de façon à ce que la modélisation reproduise le plus fidèlement possible les données mesurées (débits, hauteurs d'eau, volumes écoulés, temps de propagation).

Les deux crues de calage sont :

- La crue de juillet 2005 : simulée du 03/07/2005 3:00 au 07/07/2005 ;
- La crue d'août 2008 : simulée du 07/08/2008 0:00 au 11/08/2008.

4.4.1 Données disponibles

Les données de calages disponibles sont les suivantes :

- Hydrogramme à Brebières (en aval de la Scarpe canalisée) issu de la Banque Hydro,
- Limnigramme en amont de l'écluse de Couteau (pour l'évènement de 2005) issu des données fournies par VNF.

Nota Bene : Les débits à Duisans peuvent être calculés par l'intermédiaire des mesures de cote et de la courbe de tarage mais celle-ci est jugée peu fiable par la DREAL Nord-Pas-de-Calais, ces données ne sont donc pas intégrées au processus de calage.

4.4.2 Méthode de calage

Les paramètres hydrologiques sont dans un premier temps réglés individuellement sur les sous-bassins versants en fonction :

- des caractéristiques géométriques,
- de la topographie,
- de la géologie,
- de l'occupation des sols.

La modélisation hydrologique et hydraulique permet de vérifier la pertinence des paramètres retenus sur les bassins versants par comparaison des hydrogrammes et limnigrammes mesurés et calculés.

Le calage vise à reproduire :

- le débit maximal et la cote maximal de l'évènement ;
- le débit de base ;
- le temps de réponse (calage temporel de la pointe) ;
- le volume ruisselé et l'allure générale des hydrogrammes ou limnigrammes.

4.4.3 Paramètres de calage

❖ *Pour le modèle hydrologique*

Les paramètres de calage dépendent du type de modèle conceptuel utilisé (SCS et hydrogramme de type Socose ou coefficient de ruissellement constant et réservoir linéaire), comme indiqué dans le paragraphe 4.2.3. Ils sont présentés dans le tableau suivant.

Ruraux		Urbains	
Modèle SCS	Modèle de l'hydrogramme unitaire de type Socose	Modèle du coefficient de ruissellement constant	Réservoir linéaire
<ul style="list-style-type: none"> RFU : Hauteur de la Réserve Facilement Utilisable exprimée en mm. J : La hauteur d'interception potentielle du sol en mm. Tr : Le temps de réponse du bassin au ressuyage, en jours. f_o : Perte par infiltration vers les couches profondes en mm/j. 	<ul style="list-style-type: none"> K : temps de réponse du bassin versant en minutes. 	<ul style="list-style-type: none"> Cr : coefficient de ruissellement. 	<ul style="list-style-type: none"> k : temps de réponse en minutes.

Tableau 4-3 : Paramètres de calage des différents modules hydrologiques

Les paramètres des lois de production finalement retenus sont identiques aux deux crues d'étude.

❖ Pour le modèle hydraulique

Les principaux paramètres typologiques de calage sont les coefficients de Strickler.

Le logiciel HYDRARIV permet de distinguer les coefficients de Strickler du lit mineur (ici de l'ordre de 30) et du lit majeur (ici de l'ordre de 15). Ces coefficients, qui traduisent la rugosité des lits, influencent globalement les vitesses d'écoulement et permettent de régler les niveaux d'eau localement.

Les paramètres typologiques retenus sont identiques aux deux crues d'étude.

4.4.4 Résultats du calage

❖ Crue de juillet 2005

Afin de représenter au mieux la situation réelle, des ajustements sont apportés au modèle pour la crue de juillet 2005 :

- L'ouvrage de Couteau est remplacé par un seuil fixe à 29,85 mNGF afin de représenter les batardeaux mis en place sur l'ouvrage durant cette période,
- Un délestage de débit à Courchelettes est ajouté afin de représenter les fausses bassinées effectuées pour évacuer le débit à l'aval. Le débit évacué modélisé est de l'ordre 10 m³/s (valeur estimée par VNF). Le délestage de débit ne s'effectue que lorsque la cote dans le bief amont est supérieure à la cote NNN,
- Le taux d'humidité des sols initial a été pris à zéro compte tenu du caractère estival de l'événement.

Les hydrogrammes et les limnigrammes calculés par le modèle sont comparés aux mesures pour la crue de juillet 2005.

La figure suivante présente les différents apports calculés par la modélisation pluie-débit puis injectés dans le modèle hydraulique. En pointillé sont indiqués les apports des bassins versants ruraux, et en trait continu ceux des bassins versants urbains. La position des différents BV est indiquée sur la Figure 4-7.

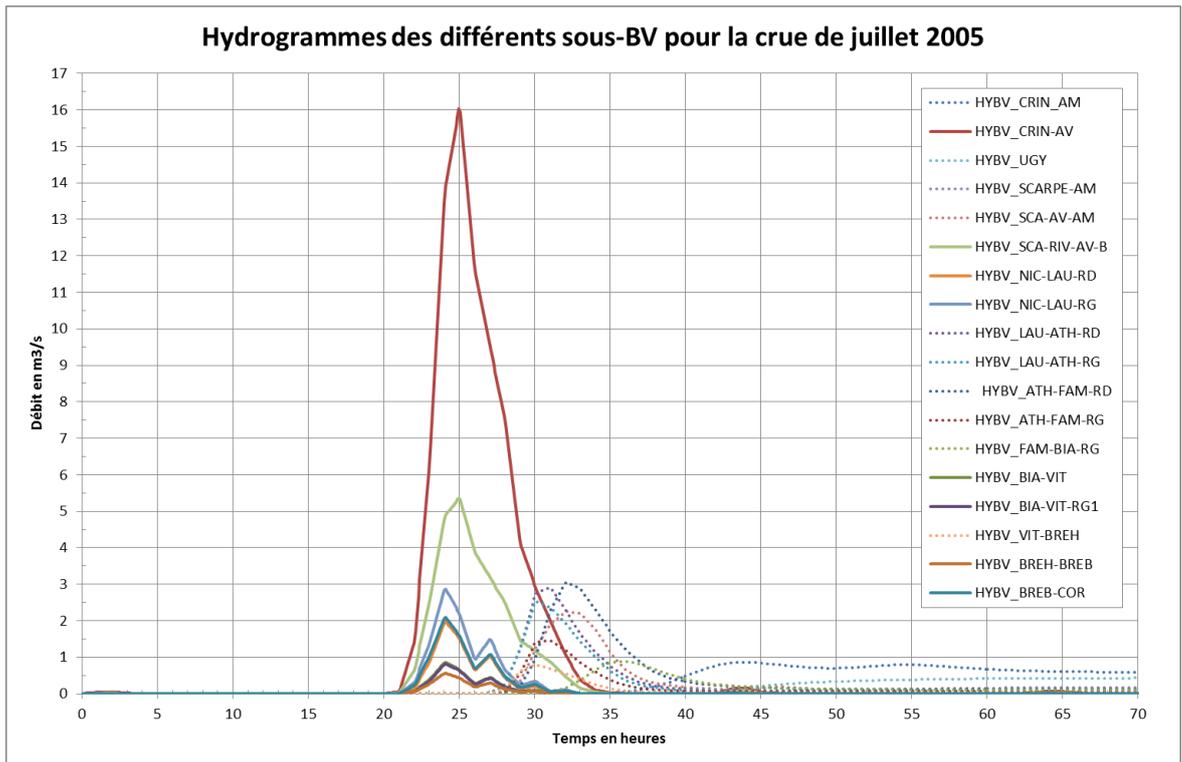


Figure 4-8 : Hydrogrammes des différents sous-BV pour la crue de juillet 2005

La figure ci-dessous illustre la comparaison des débits, mesurés et calculés, de la Scarpe à Brebières.

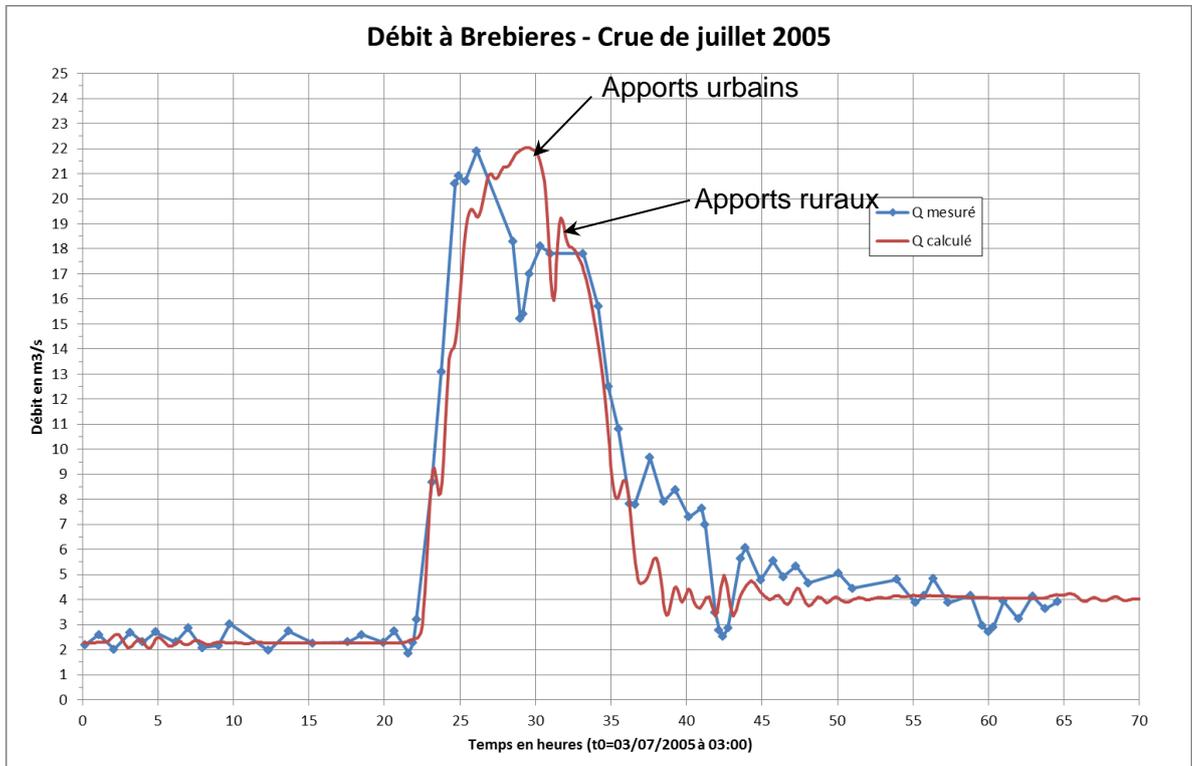


Figure 4-9 : Hydrogrammes mesuré et calculé à Brebières pour la crue de juillet 2005

Le temps de réponse issu des calculs est très proche du temps de réponse issu des mesures. L'allure générale et le volume ruisselé sont également bien représentés.

Le coefficient de Strickler utilisé est de 30 dans le lit mineur, il tient compte de l'eutrophisation du lit car les valeurs usuellement utilisées dans les canaux sont plutôt de l'ordre de 33 à 60. En effet, dans son livre « Diagnostic, aménagement et gestion des rivières », Gérard Degoutte présente le tableau des coefficients de Strickler suivant.

Nature des parois	Valeur de K en m ^{1/2} /s
Béton lisse	75-90
Canal en terre, non enherbé	60
Canal en terre, enherbé	50
Canal recouvert de matelas Reno*	33-37
Rivière de plaine, sans végétation arbustive	35-40
Rivière de plaine, large, végétation peu dense	30
Rivière à berges étroites très végétalisées	10-15
Lit majeur en prairie	20-30
Lit majeur en vigne ou taillis	10-15
Lit majeur urbanisé	10-15
Lit majeur en forêt	< 10

Tableau 4-4 : Ordres de grandeurs du coefficient de Strickler de canaux ou rivières

De plus, un test a été réalisé avec un coefficient de Strickler inférieur. Il tendait à ralentir la progression de la crue et la forme de l'hydrogramme obtenue à Brebières n'était pas bonne.

Le débit de pointe calculé (22,0 m³/s) est identique au débit de pointe mesuré (21,9 m³/s). Les débits de base avant et après l'épisode pluvieux calculés par le modèle sont équivalents à ceux mesurés. Le premier pic calculé semble moins rapide que celui mesuré (d'environ 3 h) mais ceci est sans doute accentué car les points de mesure sont peu nombreux après la pointe (espace de plus de 2 h entre le maximum et le point suivant).

Le premier pic de débit observé correspond aux apports des bassins versants urbains alors que le deuxième correspond aux apports des bassins versants ruraux. L'épisode pluvieux étant court mais intense, les apports urbains arrivent avant les apports ruraux.

On note cependant une quasi-concomitance des apports urbains et ruraux.

La figure ci-après illustre la comparaison des cotes d'eau, mesurées et calculées, de la Scarpe en amont de l'écluse de Couteau.

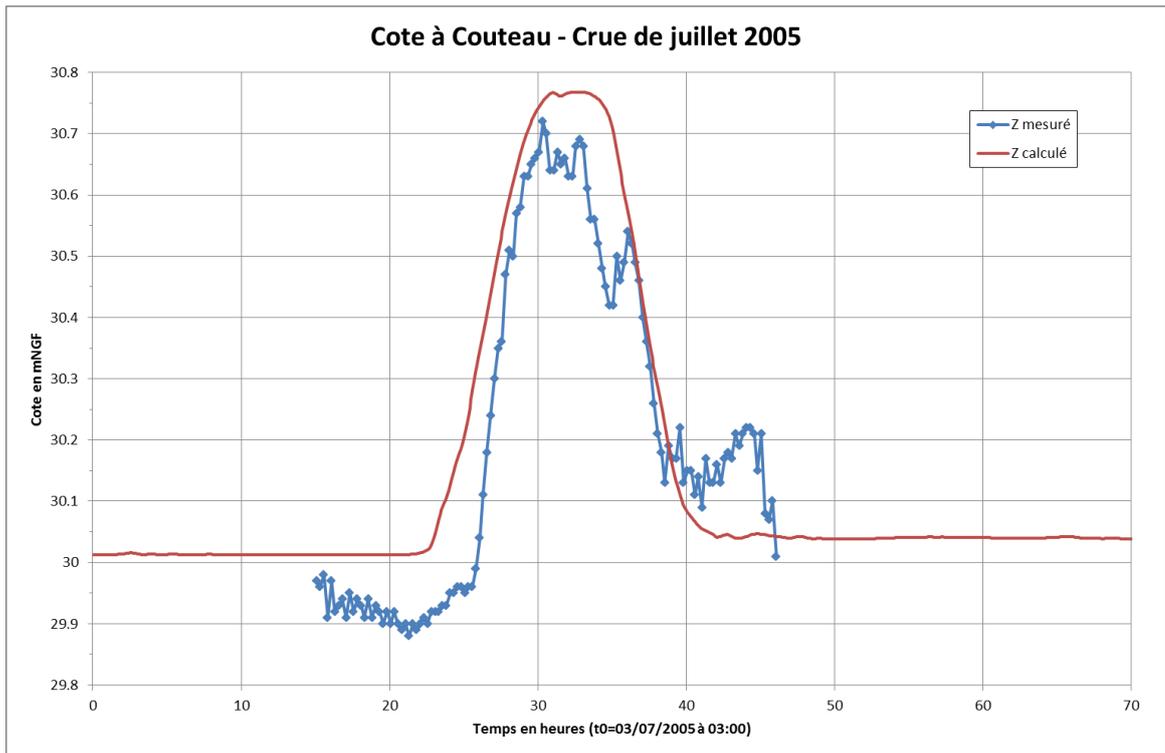


Figure 4-10 : Limnigrammes mesuré et calculé à Couteau pour la crue de juillet 2005

Le temps de réponse issu des calculs est proche du temps de réponse issu des mesures. L'allure générale du limnigramme est également bien représentée.

La cote maximale calculée (30,77 mNGF) est supérieure de 5cm à la cote maximale mesurée à Couteau (30,72 mNGF).

Concernant le profil en long maximal de la ligne d'eau, il est présenté sur la figure page suivante.

Des débordements sont à noter au niveau des biefs suivants :

- Amont de St-Nicolas,
- Bief St-Nicolas – St-Laurent,
- Bief St-Laurent – Athies,
- Bief Fampoux – Biache,
- Bief Corbehem – Couteau,

qui semblent correspondre à ceux qui se sont produits en juillet 2005.

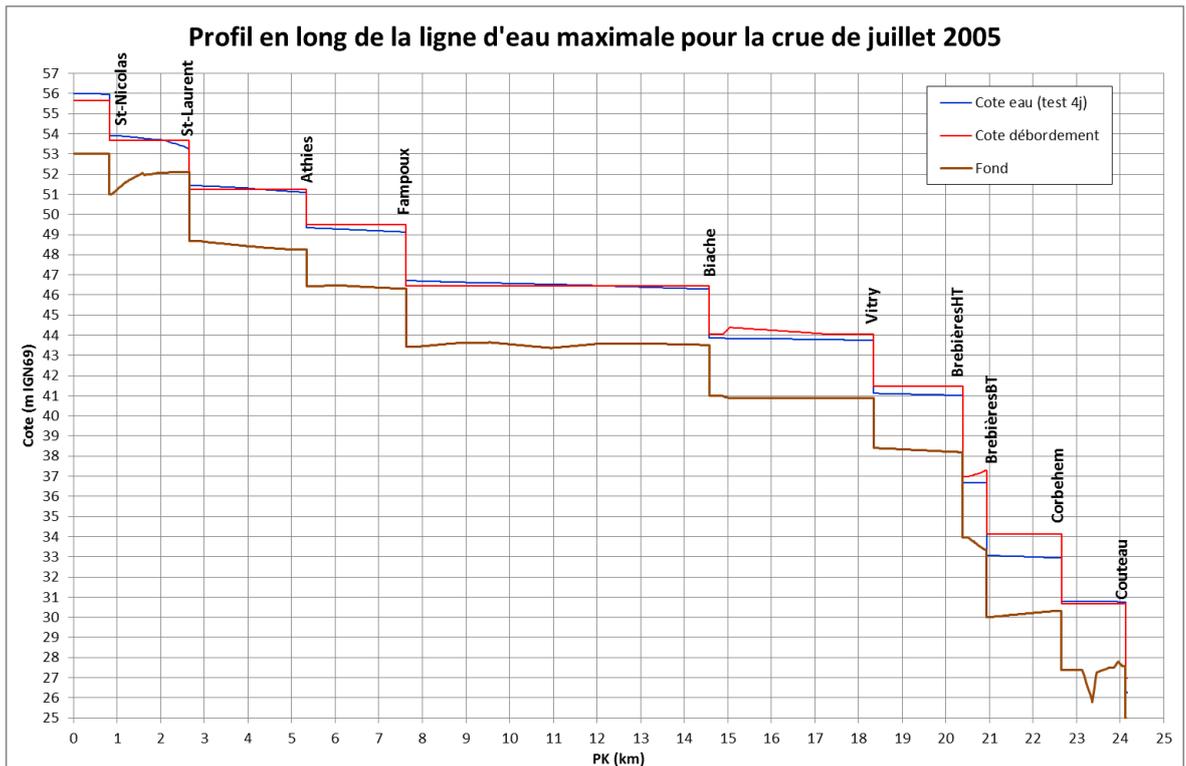


Figure 4-11 : Profil en long de la ligne d'eau maximale pour la crue de juillet 2005

La figure suivante permet d'observer le déplacement de la crue le long de la Scarpe canalisée. L'hydrogramme du bief 1 est calculé en aval de l'écluse de St-Nicolas et l'hydrogramme du bief 9 est calculé en aval de l'écluse de Corbehem.

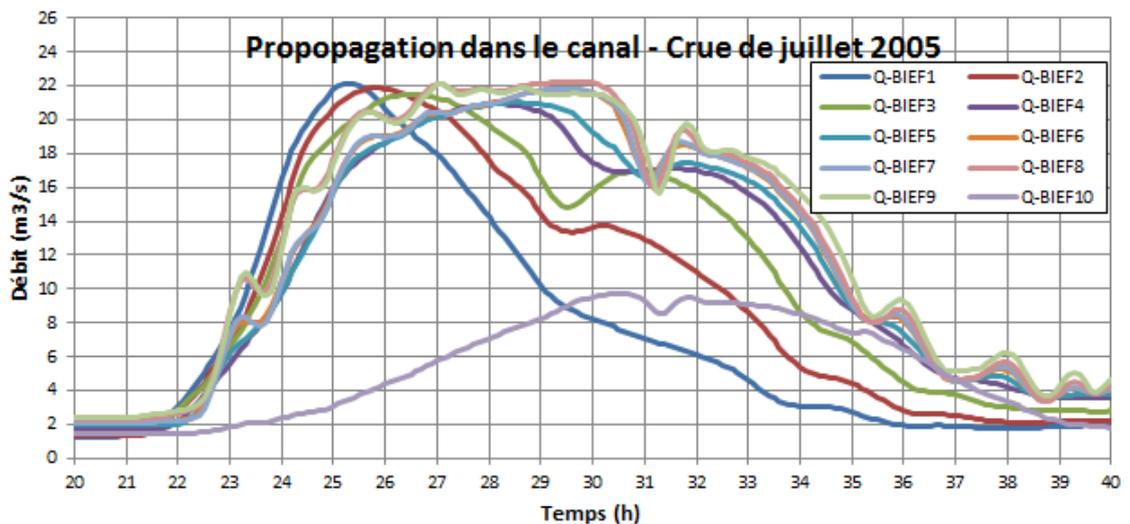


Figure 4-12 : Propagation dans le canal pour la crue de juillet 2005

On note plusieurs phénomènes :

- La montée de la crue est quasi simultanée,
- Les apports intermédiaires n'augmentent pas le débit maximal mais épaississent d'abord l'hydrogramme,
- Sur les derniers biefs avant la confluence avec les 4 canaux l'hydrogramme est pratiquement inchangé car les bassins versants d'apport sont petits,
- Sur les biefs 8 et 9, le débit maximal s'étale sur 3 heures,

- L'événement fort (débit arbitrairement pris $> 12 \text{ m}^3/\text{s}$) dure une douzaine d'heures,
- Le volume de la crue au-dessus de $14 \text{ m}^3/\text{s}$ (valeur indicative) est de l'ordre de 190000 m^3 .

La crue parcourt la Scarpe canalisée en 2 heures entre l'amont de l'écluse de St-Laurent et Brebières. On remarque qu'entre Brebières et l'amont de l'écluse de Couteau, la pointe de crue met 3 heures, ce qui paraît important. Ceci s'explique par le fonctionnement inhabituel de l'écluse de Courchelettes qui a laissé passer un débit de l'ordre de $10 \text{ m}^3/\text{s}$ correspondant aux fausses bassinées qui ont été réalisées.

❖ **Crue d'août 2008**

Afin de représenter au mieux la situation réelle, des ajustements pour le calage sont apportés au modèle pour la crue d'août 2008 :

- Un débit de base de $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$ est ajouté au modèle pour représenter les forts débits mesurés dans la Scarpe durant les semaines précédant l'événement, il inclut le débit de nappe et le débit dû au ressuyage des sols du pic du 3 août 2008,
- Le taux d'humidité initial des sols est pris égal à 7,5% afin de prendre en compte la saturation des sols due à l'épisode pluvieux survenu le 03/08/2008 et à un mois précédent également plus pluvieux que celui précédant l'événement de 2005 (pour l'événement de juillet 2005, le taux d'humidité des sols a été pris égal à zéro). On note sur l'unité territoriale de Douai : 40,9 mm en juin 2005 et 87 mm en juillet 2008.

La figure suivante présente les différents apports calculés par la modélisation pluie-débit puis injectés dans le modèle hydraulique. En pointillé, sont indiqués les apports des bassins versants ruraux, et en trait continu ceux des bassins versants urbains. La position des différents BV est indiquée sur la Figure 4-7.

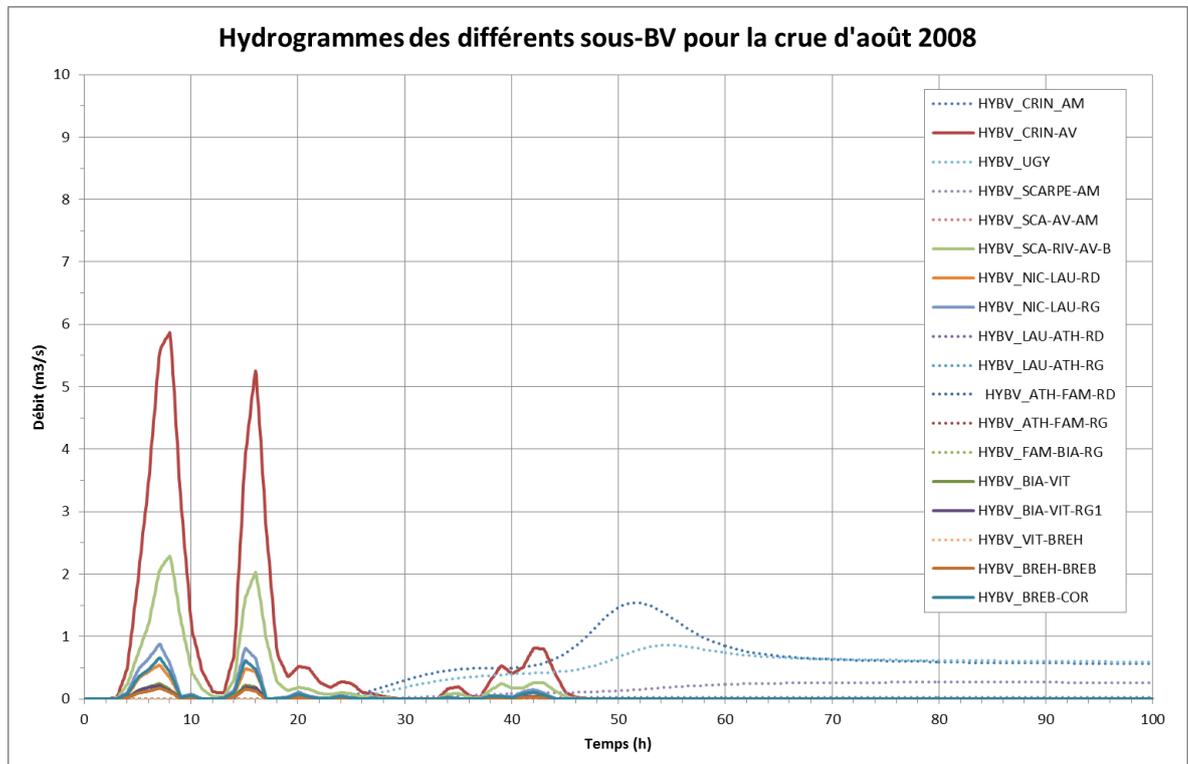


Figure 4-13 : Hydrogrammes des différents sous-BV pour la crue d'août 2008

La figure suivante illustre la comparaison des débits, mesurés et calculés, de la Scarpe à Brebières.

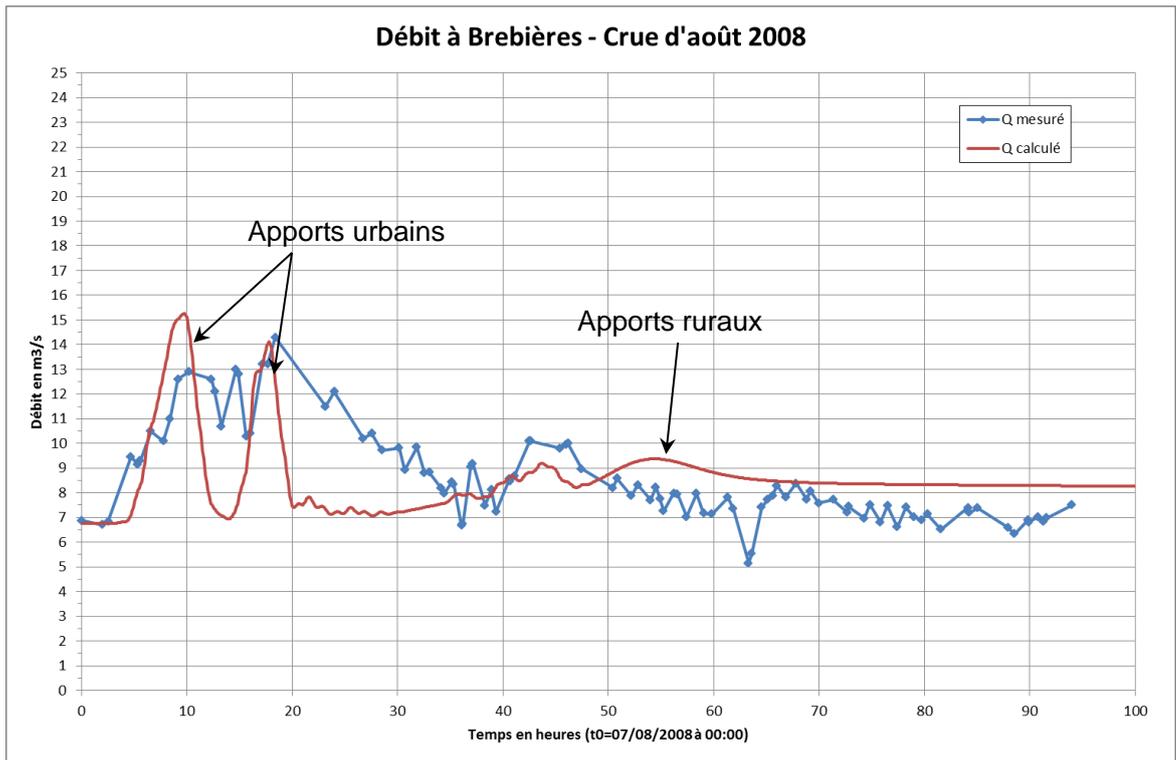


Figure 4-14 : Hydrogrammes mesuré et calculé à Brebières pour la crue d'août 2008

Le temps de réponse issu des calculs est proche du temps de réponse issu des mesures.

Le premier débit de pointe calculé ($15,3 \text{ m}^3/\text{s}$) est inférieur de 18% au débit de pointe mesuré ($13 \text{ m}^3/\text{s}$) et le deuxième pic est bien calé ($14,3 \text{ m}^3/\text{s}$). Le débit de base avant l'épisode pluvieux est bien représenté.

Globalement, il manque du volume pour cette crue entre les apports urbains et les apports ruraux. La modélisation est réalisée en considérant un fonctionnement optimal des clapets respectant le maintien de la cote NNN. En pratique, ce n'est pas forcément ce qui se passe car parfois la vanne manuelle à côté du clapet est ouverte car le clapet ne s'ouvre pas suffisamment. Par conséquent, on ne connaît pas les manœuvres qui ont pu être effectuées les 7 et 8 août 2008.

Comme il s'agit d'un épisode pluvieux en deux temps, moins intense que celui de juillet 2005, les bassins versants urbains réagissent également en deux temps et bien avant les bassins versants ruraux. Les deux pics pluvieux sont à peine suffisants pour remplir la couche intermédiaire de sol, c'est pourquoi les bassins versants ruraux réagissent beaucoup plus tard qu'en juillet 2005.

La figure suivante présente le profil en long de la ligne d'eau maximale pour la crue d'août 2008.

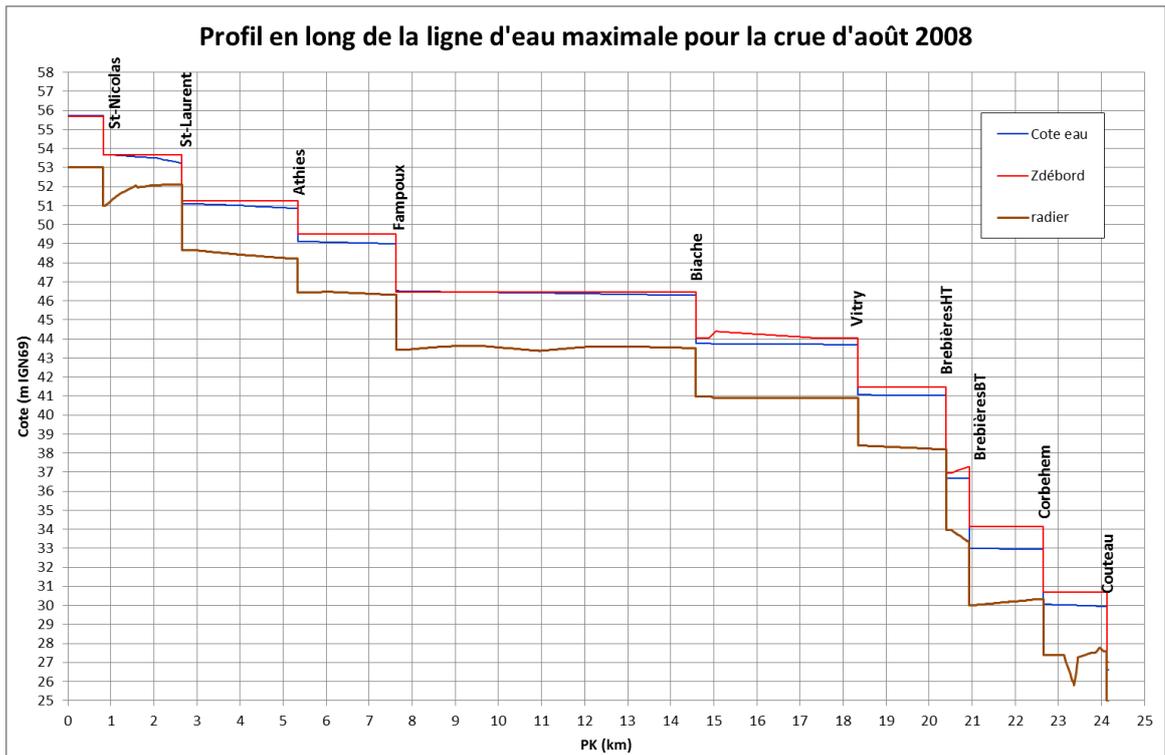


Figure 4-15 : Profil en long de la ligne d'eau maximale pour la crue d'août 2008

Il y a trois biefs qui sont en limite de débordement :

- amont St-Nicolas,
- bief St-Nicolas – St-Laurent,
- bief Fampoux – Biache.

Concernant la propagation de la crue dans le canal de la Scarpe, la figure suivante présente les hydrogrammes obtenus au niveau des différents biefs.

L'hydrogramme du bief 1 se situe en aval de l'écluse de St-Nicolas et l'hydrogramme au niveau du bief 10 se situe en amont de l'écluse de Couteau (cf Figure 4-1 pour la localisation des biefs modélisés).

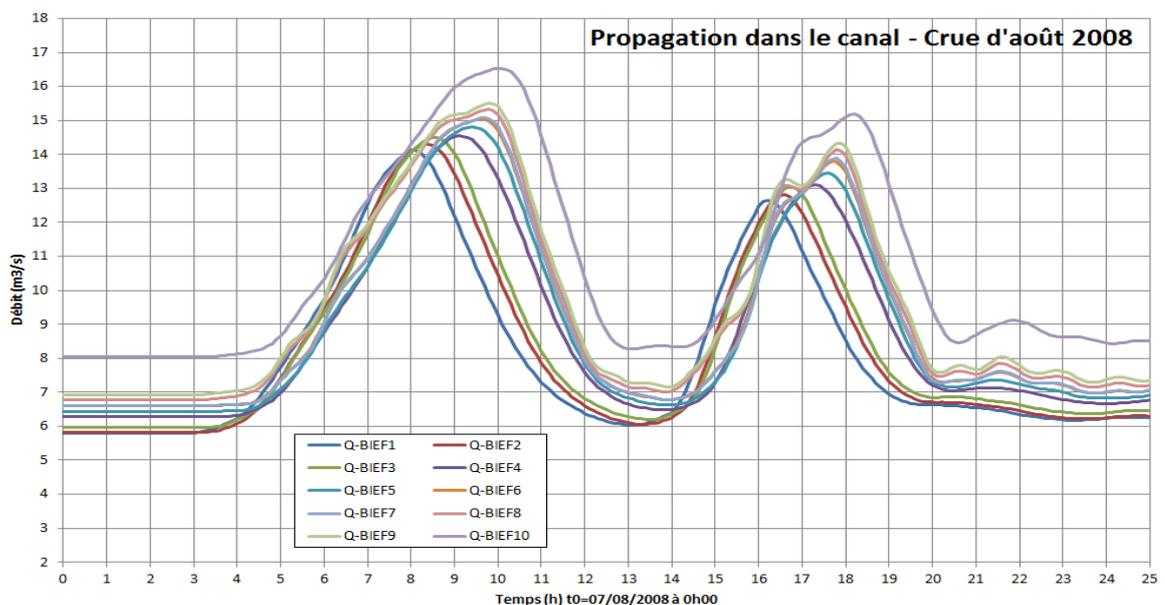


Figure 4-16 : Propagation dans le canal pour la crue d'août 2008

La crue met donc 1,7 h pour parcourir la Scarpe canalisée entre l'amont de St-Laurent et Brebières. Entre Brebières et l'amont de l'écluse de Couteau, elle met 0,3 h.

Le temps de propagation global sur la Scarpe est donc de 2 h.

❖ **Résultats globaux du calage**

La procédure de calage et de validation du modèle hydrologique s'est heurtée au manque de données de débits à l'exutoire des bassins versants d'apports et sur la Scarpe d'une part, et à l'absence de plans précis des réseaux qui a rendu difficile le découpage des bassins versants urbains d'autre part.

Ces limitations ont imposé de rester global dans le choix des paramètres de calage des apports hydrologiques, car les points de contrôle sont trop peu nombreux pour pouvoir affiner efficacement ces lois au cas par cas.

Cependant, l'allure générale des hydrogrammes est globalement bien reproduite par le modèle hydrologique et hydraulique. De plus, les hydrogrammes d'apports sont bien calés en dynamique pour les deux crues, puisque les temps de réponse et le nombre de pics de crue sont bien représentés.

Les résultats sont aussi satisfaisants car les écarts des débits de pointe calculés par rapport aux mesures varient entre 1 et 7% sur les deux crues.

En 2005, la pluie intense a saturé rapidement les sols. Ainsi, les bassins versants urbains et ruraux ont vite réagi et leurs apports se sont en partie cumulés (2^{ème} pointe de crue observée dans l'hydrogramme à Brebières).

En 2008, la réaction est différente car la pluie est moins intense. La couche intermédiaire de sol met plus de temps à se remplir d'où une réaction plus lente des bassins versants ruraux. Il n'y a donc pas de concomitance entre apports urbains et apports ruraux comme ce fut le cas en juillet 2005.

4.5 EXPLOITATION DU MODÈLE – TESTS COMPLEMENTAIRES REALISES

Le modèle calé peut servir à tester différentes configurations d'écoulement. Il s'agit ici de quantifier les impacts de la présence de végétation dans le canal ou de différentes pluies, et ainsi évaluer les conditions à partir desquelles des problèmes de débordement commencent et les incidences sur la propagation de la crue.

Ce chapitre en réalise la synthèse.

4.5.1 Problème d'eutrophisation dans le canal

❖ **Etude VNF de 2012**

Une étude a été réalisée par VNF concernant la problématique des plantes aquatiques sur la Scarpe amont canalisée entre les écluses de Biache et de Corbehem pendant le premier semestre 2012.

Chaque année, les niveaux d'eau relevés sur les biefs de la Scarpe amont à l'approche du printemps ou de l'été présentent une pente d'eau qui peut avec le temps devenir de plus en plus forte. Le delta du bief (= niveau aval de l'ouvrage amont - niveau amont de l'ouvrage aval) s'accroît.

Durant l'été 2012, deux débits plus importants ont été relevés à la station de Brebières :

- Le 22 juin avec un débit maximal de 14 m³/s,
- Le 6 juillet avec un débit maximal de 14 m³/s.

Sur le bief Fampoux-Biache, un premier delta de 10 cm est apparu début juin coïncidant avec la prolifération des plantes aquatiques. Un faucardage a eu lieu à la fin du mois de juin. Cependant le delta a de nouveau progressivement augmenté pour atteindre 15 cm vers la mi-juillet. Un second faucardage a donc été réalisé à la fin du mois d'août.

Sur le bief Biache-Vitry, un premier delta de 15 cm est apparu à la mi-juin. La cote de consigne a donc été abaissée le 16 juillet (- 0.20 m / NNN amont), ce qui a fait baisser le niveau en amont du bief (aval Biache). Le delta a ensuite eu tendance à s'amplifier, un premier faucardage a donc été programmé courant août.

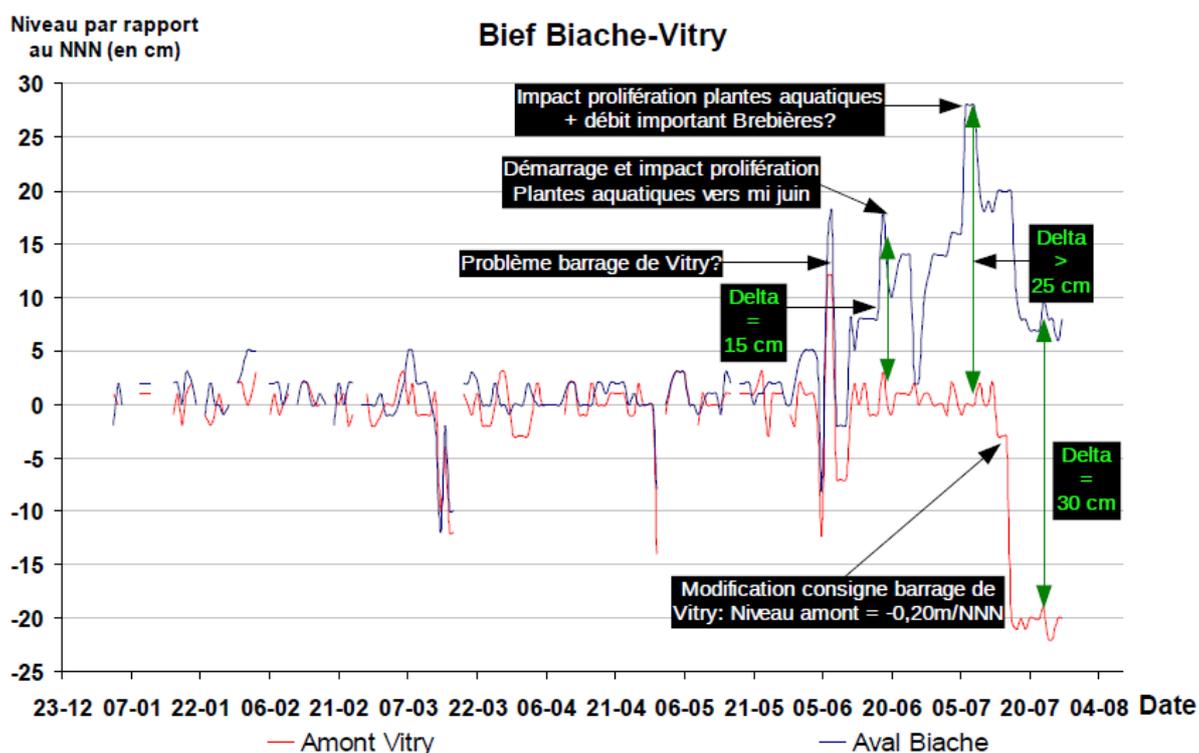


Figure 4-17 : Evolution des niveaux sur le bief Biache - Vitry

Sur le bief Vitry-BrebièresHT, un premier delta de 5 cm a été mesuré dès le début du mois de juillet coïncidant avec la prolifération des plantes et un débit important transitant dans ce bief, dû notamment à la pluviométrie forte de début juillet. Le dernier delta mesuré à 7 cm fin juillet montre tout de même l'existence d'une pente d'eau mais aucun faucardage n'a été fait.

Sur les biefs BrebièresHT-BrebièresBT et BrebièresBT-Corbehem, aucun delta important n'a été mesuré pendant cette période.

En conclusion, cette étude a permis de proposer une procédure de déclenchement de faucardage d'un bief, la condition étant que le delta entre l'aval et l'amont doit atteindre 10 cm pendant 5 jours consécutifs.

❖ **Test de sensibilité du modèle sur le coefficient de Strickler**

Le coefficient de Strickler permet de représenter la rugosité des parois et du fond du chenal d'écoulement. Le modèle hydraulique a été calé avec une rugosité de 30 prenant en compte la présence de plantes aquatiques pendant l'été. L'augmentation de ce coefficient permet de représenter les écoulements sans plantes aquatiques.

Trois tests sont réalisés en modifiant cette valeur à 35 puis à 40 puis à 25 au niveau de tous les biefs du modèle pour la crue de début août 2008. Le choix s'est porté sur la crue

de 2008 plutôt que sur celle de 2005 qui a connu des manœuvres anormales au niveau du bief des 4 canaux.

Les résultats sont consignés dans le tableau page suivante. Les colonnes présentent :

- Le nom du bief,
- Les cotes amont et aval du bief (en m IGN69),
- Le delta ΔH (cote amont – cote aval) en m,
- La longueur du bief en m,
- La pente hydraulique du bief (en %)
- La cote NNN en m IGN69,
- La différence entre les deltas en m.

Selon les biefs, le delta est variable entre 1 et 45 cm dans le cas avec coefficient de Strickler à 30, ce qui est cohérent avec les deltas obtenus lors du premier semestre 2012. L'augmentation du coefficient de Strickler entraîne bien une diminution significative du delta dans les biefs et inversement. Notons que dans les résultats de ces tests, la cote aval reste pratiquement identique car elle est régulée par l'ouvrage qui maintient le niveau NNN et c'est donc la cote amont qui varie.

D'après les mesures réalisées en 2012, le bief Fampoux-Biache affichait un delta entre 10 et 15 cm, ce qui correspond à un coefficient de Strickler de l'ordre de 40.

Le bief Biache-Vitry a atteint un delta de l'ordre de 15 cm, avec un coefficient de Strickler à 25 on a un delta de 9 cm, il faudrait alors diminuer encore ce coefficient pour atteindre les 15 cm observés en 2012.

Le bief Vitry-BrebièresHT a atteint un delta de 5 à 7 cm lors de l'été 2012 ce qui correspond à un coefficient de Strickler de 25.

Ces différents tests montrent bien que le delta de chaque bief augmente avec la présence de plantes aquatiques.

CRUE 2008 - Ks = 30

Bief	Amont	Aval	$\Delta H1$	Longueur	Pente %	NNN
Méaulens - St-Nicolas	55.75	55.72	0.02	550	0.004	55.02
St-Nicolas - St-Laurent	53.67	53.21	0.45	1750	0.026	53.21
St-Laurent - Athies	51.11	50.85	0.25	2690	0.009	50.85
Athies - Fampoux	49.13	48.99	0.13	2260	0.006	48.99
Fampoux - Biache	46.52	46.28	0.24	6900	0.003	46.2
Biache - Vitry	43.76	43.70	0.07	3800	0.002	43.69
Vitry - BrebièresHT	41.06	41.02	0.05	2100	0.002	41.01
BrebièresHT - BrebièresBT	36.68	36.68	0.01	550	0.001	36.57
BrebièresBT - Corbehem	33.00	32.94	0.06	1750	0.003	32.93
Corbehem - Couteau	30.06	30.01	0.05	1300	0.004	29.99

CRUE 2008 - Ks = 35

Bief	Amont	Aval	$\Delta H2$	Longueur	Pente %	NNN	$\Delta H2-\Delta H1$
Méaulens - St-Nicolas	55.74	55.72	0.02	550	0.003	55.02	-0.01
St-Nicolas - St-Laurent	53.59	53.21	0.38	1750	0.022	53.21	-0.07
St-Laurent - Athies	51.06	50.85	0.20	2690	0.008	50.85	-0.05
Athies - Fampoux	49.10	49.00	0.10	2260	0.005	48.99	-0.03
Fampoux - Biache	46.47	46.28	0.19	6900	0.003	46.2	-0.05
Biache - Vitry	43.75	43.70	0.05	3800	0.001	43.69	-0.02
Vitry - BrebièresHT	41.05	41.02	0.03	2100	0.002	41.01	-0.01
BrebièresHT - BrebièresBT	36.69	36.68	0.01	550	0.001	36.57	0.00
BrebièresBT - Corbehem	32.98	32.94	0.04	1750	0.002	32.93	-0.02
Corbehem - Couteau	30.04	29.99	0.04	1300	0.003	29.99	-0.01

CRUE 2008 - Ks = 40

Bief	Amont	Aval	$\Delta H3$	Longueur	Pente %	NNN	$\Delta H3-\Delta H1$
Méaulens - St-Nicolas	55.74	55.72	0.01	550	0.003	55.02	-0.01
St-Nicolas - St-Laurent	53.54	53.21	0.32	1750	0.018	53.21	-0.13
St-Laurent - Athies	51.02	50.86	0.17	2690	0.006	50.85	-0.09
Athies - Fampoux	49.08	49.00	0.08	2260	0.003	48.99	-0.05
Fampoux - Biache	46.44	46.28	0.15	6900	0.002	46.2	-0.08
Biache - Vitry	43.74	43.70	0.04	3800	0.001	43.69	-0.03
Vitry - BrebièresHT	41.05	41.02	0.03	2100	0.001	41.01	-0.02
BrebièresHT - BrebièresBT	36.69	36.68	0.01	550	0.001	36.57	0.00
BrebièresBT - Corbehem	32.99	32.95	0.04	1750	0.003	32.93	-0.02
Corbehem - Couteau	30.02	29.98	0.03	1300	0.003	29.99	-0.02

CRUE 2008 - Ks = 25

Bief	Amont	Aval	$\Delta H4$	Longueur	Pente %	NNN	$\Delta H4-\Delta H1$
Méaulens - St-Nicolas	55.76	55.72	0.04	550	0.006	55.02	0.01
St-Nicolas - St-Laurent	53.76	53.21	0.55	1750	0.031	53.21	0.09
St-Laurent - Athies	51.18	50.85	0.32	2690	0.012	50.85	0.07
Athies - Fampoux	49.17	48.99	0.18	2260	0.008	48.99	0.04
Fampoux - Biache	46.59	46.28	0.30	6900	0.004	46.2	0.07
Biache - Vitry	43.78	43.69	0.09	3800	0.002	43.69	0.02
Vitry - BrebièresHT	41.08	41.01	0.06	2100	0.003	41.01	0.02
BrebièresHT - BrebièresBT	36.69	36.67	0.01	550	0.002	36.57	0.00
BrebièresBT - Corbehem	33.02	32.93	0.09	1750	0.005	32.93	0.03
Corbehem - Couteau	30.10	30.03	0.07	1300	0.006	29.99	0.02

Tableau 4-5 : Résultats avec des coefficients de Strickler de 30, 35, 40 et 25

Il est intéressant de regarder la vitesse de propagation de l'onde de crue à partir des tests réalisés. La figure suivante présente les hydrogrammes obtenus au niveau du bief 1 et du bief 9.

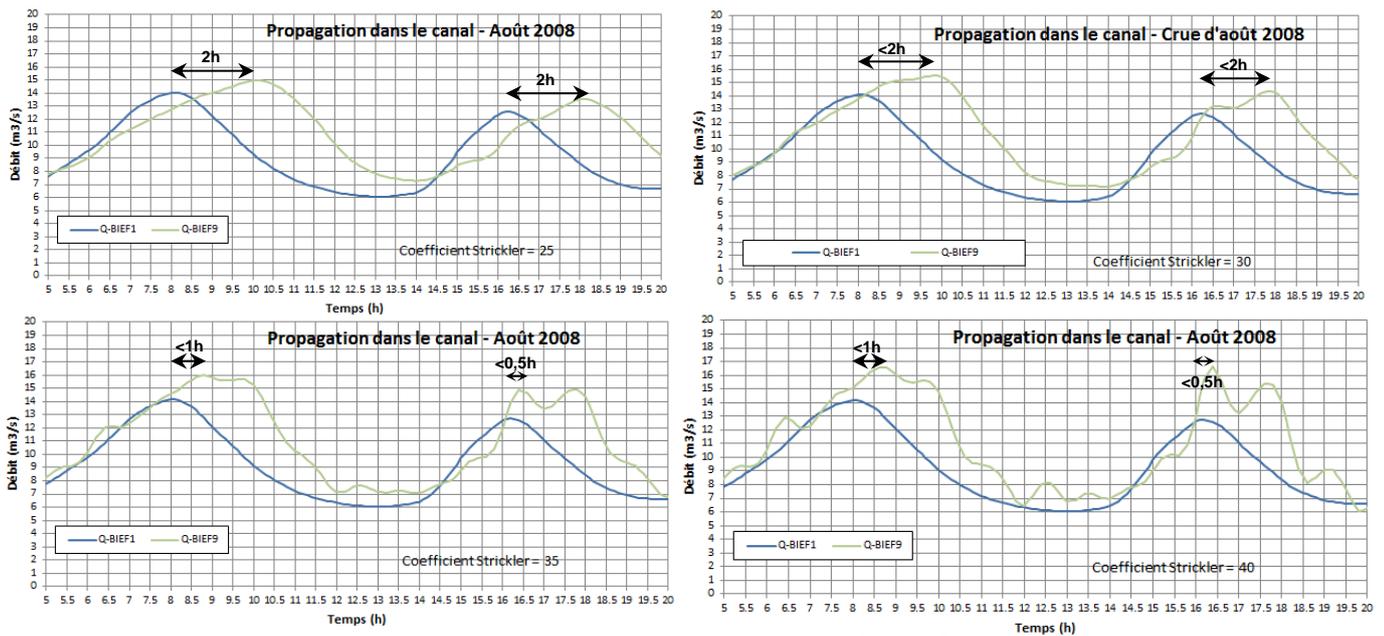


Figure 4-18 : Hydrogrammes dans les biefs 1 et 9 pour différents Strickler dans le lit mineur

On constate que le temps de propagation est inversement proportionnel au coefficient de Strickler. Pour $K_s = 25$, la crue met 2 h à se propager, pour $K_s = 40$, la crue met moins d'une heure sur le premier pic et moins d'une demi-heure sur le deuxième.

L'augmentation du coefficient de Strickler tend à accélérer la propagation de la crue, si bien que les ouvrages de régulation s'ouvrent plus vite.

La présence de plantes aquatiques tend donc à ralentir la propagation de la crue.

4.5.2 Tests avec pluies de différentes période de retour

L'objet de ce paragraphe est de déterminer quelles pluies sont génératrices de débordements de la Scarpe canalisée dans Douai.

Pour ce faire, la connaissance du débit capable de la Scarpe dans Douai est nécessaire. Douai n'étant pas couvert par la modélisation hydraulique réalisée dans le cadre de l'étude, cette information a été demandée à VNF.

En l'absence de réponse, le débit critique à ne pas dépasser au niveau de Brebières est arbitrairement évalué à $21 \text{ m}^3/\text{s}$. En effet, ce débit a été un peu dépassé en juillet 2005 ($22 \text{ m}^3/\text{s}$) et a entraîné quelques débordements contenus dans le secteur du Douaisis. De plus, à Douai, les sacs juxtaposés sur les berges ont probablement permis de contenir de l'ordre de $1 \text{ m}^3/\text{s}$.

Deux types de pluie peuvent par ailleurs être testés : les pluies d'hiver, et les pluies d'été.

A priori, les événements préjudiciables se produisent plutôt en été. Aucun événement hivernal n'a été signalé lors des enquêtes.

Si on regarde la fiche climatologique de la station de Cambrai-Epinoy (62) (voir en annexe 5), les mois avec les pluviométries journalières les plus importantes sont effectivement juin, juillet et août, donc les mois d'été. Les hauteurs quotidiennes maximales de précipitation en mm ont été déterminées par mois sur 60 ans. Les plus importantes se sont produites en juin, juillet et août.

Les pluies journalières au niveau de la station de Lille (42 km au nord-est d'Arras) ont été analysées sur 10 ans. Les pluies maximales mensuelles ont été obtenues et on s'aperçoit qu'il y a un facteur 3 entre les pluies journalières d'été de juillet-août (60 mm) et les pluies journalières d'hiver (20 mm).

Nb	Année	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1	2002	9.4	14.2	16.6	8.2	26.8	15.0	18.2	46.6	8.6	10.0	17.0	16.6
2	2003	19.4	5.6	20.6	23.0	16.6	12.0	12.0	31.0	4.6	10.6	15.6	10.2
3	2004	23.0	6.8	5.4	11.2	20.6	12.2	15.8	18.6	12.2	7.4	22.8	13.6
4	2005	12.6	19.4	11.4	12.4	12.0	10.6	59.4	62.8	8.4	10.0	29.0	6.8
5	2006	8.6	16.2	10.8	7.2	13.8	34.6	19.2	17.8	5.0	12.6	8.0	11.0
6	2007	9.2	16.0	11.0	0.0	13.2	22.0	24.0	15.8	12.6	15.2	11.2	11.2
7	2008	8.4	9.8	14.8	12.2	20.2	22.4	19.4	30.8	29.8	10.8	17.8	9.0
8	2009	20.2	17.8	12.8	9.0	35.6	15.6	16.2	16.8	8.2	8.6	15.0	15.2
9	2010	12.4	10.8	7.0	10.6	20.3	14.1	24.8	34.3	16.5	14.7	31.4	12.1
10	2011	9.4	11.8	4.8	10.6	6.9	10.0	20.9	29.3	33.0	8.1	5.6	21.6
Max mensuel		23.0	19.4	20.6	23.0	35.6	34.6	59.4	62.8	33.0	15.2	31.4	21.6

Tableau 4-6 : Pluies journalières à la station de Lille

Ces informations tendent à montrer que les pluies d'hiver ne sont pas génératrices de fortes crues sur le bassin versant de la Scarpe.

On se demandera tout de même dans un second temps quelle pluie d'hiver serait susceptible d'engendrer un débit de crue dans le Douaisis, tout en sachant qu'en hiver, un débit de nappe pourrait s'ajouter au débit généré par la pluie.

4.5.2.1 Modélisation de pluies d'été

Nous reprenons le modèle utilisé pour la pluie d'août 2008, mais avec un coefficient d'humidité des sols nul et un coefficient de Strickler du lit mineur égal à 30 (on considère donc qu'il y a de l'eutrophisation dans les biefs).

o Pluie d'été de durée intense 32h (temps de réponse du BV de la Scarpe)

Le temps de concentration global du bassin versant de la Scarpe canalisée est d'environ 40 h en faisant une moyenne avec différentes formules couramment utilisées (Passini, Ventura, Giandotti, Kirpich...).

La pluie utilisée est de type double triangle car le temps de réponse du bassin versant de la Scarpe est bien supérieur à 30 min (limite d'utilisation à partir de laquelle on utilise la pluie de type double triangle).

Cette pluie de projet est entièrement définie par cinq paramètres :

- La durée totale t_3 ,
- La durée de la période intense : t_1 ,
- La position de la pointe d'intensité par rapport au début de la pluie : rapport t_2/t_3 ,
- L'intensité atteinte au début de la période intense : i_1 ,
- L'intensité maximale atteinte pendant la période intense : i_2 .

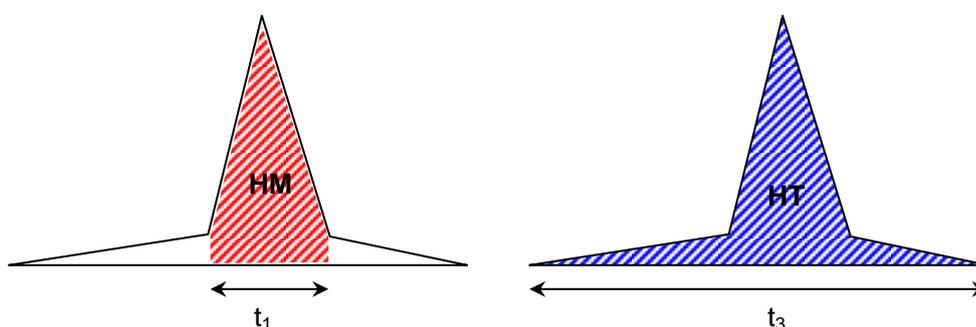
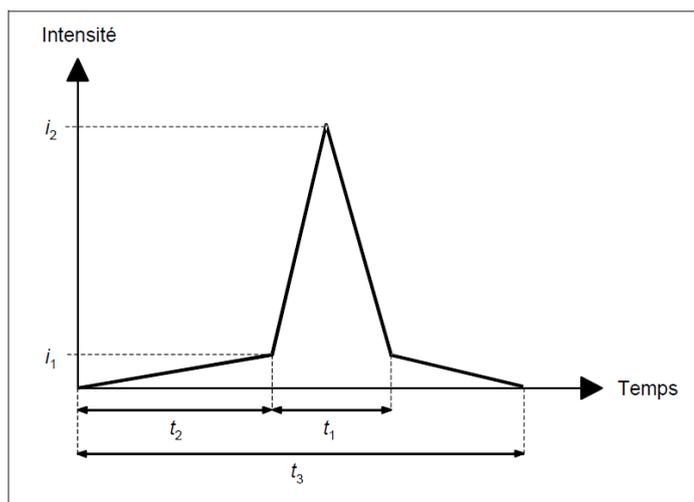


Figure 4-19 : Exemple de pluie de projet double triangle

La durée t_1 doit être choisie égale au temps de réponse du bassin versant, qui est égal à $0.8 \times$ le temps de concentration du bassin versant. Ici $t_c = 40$ h, on a alors $t_1 = 32$ h.

Le temps t_3 est généralement pris égal à 2 ou 3 fois le temps t_1 .

On prendra donc $t_1 = 32$ h et $t_3 = 96$ h.

Les études menées notamment par le LHM montrent que la période de retour de l'épisode intense doit être choisie environ deux à trois fois plus forte que la période de retour de l'épisode total.

Les coefficients de Montana ont été obtenus auprès de Météo-France à la station d'Arras (statistiques sur la période 1989-2011) pour des durées entre 24 h et 96 h.

Durée de retour	Coefficient de Montana		Hauteur en mm			
	a	b	t = 24 h	t = 32 h	t = 72 h	t = 96 h
5	8.259	0.753	50	53	65	70
10	12.061	0.778	61	65	77	82
20	16.54	0.797	72	77	90	96
30	19.524	0.806	80	85	99	105
50	23.858	0.817	90	95	110	116
100	30.533	0.83	105	110	127	133

Tableau 4-7 : Coefficients de Montana pour des pluies de durée de 24 h à 96 h

Les pluies d'été sont généralement plus localisées sur un secteur. Des tests sont donc réalisés dans ce sens en localisant la pluie sur un des trois pluviomètres et en utilisant les pluies doubles triangles définies précédemment à partir du temps de concentration du bassin versant total de la Scarpe canalisée. La nomenclature des différentes simulations

est indiquée dans le tableau suivant. Par exemple, le test P30S simule une pluie double triangle trentennale centrée sur le pluviomètre de Saulty.

Période de retour pluie	10 ans	20 ans	30 ans	50 ans	100 ans
Pluvio Aubigny	P10A	P20A	P30A	P50A	P100A
Pluvio Saulty	P10S	P20S	P30S	P50S	P100S
Pluvio Wancourt (Arras)	P10W	P20W	P30W	P50W	P100W

Tableau 4-8 : Nomenclature pour les simulations des pluies d'été

Les résultats des simulations sont présentés en annexe 6.

Le tableau suivant synthétise les résultats obtenus et donne les débits de pointe dans les biefs 1 et 9 et indique si le maximum de la crue est dû aux bassins versants urbains ou aux bassins versants ruraux.

Simulation	Débit bief 1	Débit Bief 9	Max dû aux BV urbains	Max dû aux BV ruraux
P10A	1.9	3.0		X
P10S	2.5	3.6		X
P10W	6.0	7.9	X	
P20A	5.3	6.5		X
P20S	6.9	9.0		X
P20W	5.7	6.7	X	
P30A	11.7	12.9		X
P30S	20.3	20.9		X
P30W	7.2	10.8		X
P50A	17.4	18.4		X
P50S	30.5	27.1		X
P50W	8.1	14.2		X
P100A	25.9	24.9		X
P100S	45.4	32.8		X
P100W	9.8	19.3		X

Tableau 4-9 : Résultats pour les pluies d'été

Plusieurs enseignements sont déduits de ces tests :

- Seules les pluies localisées sur Arras font réagir les bassins versants urbains de façon prépondérante,
- L'intensité des pluies est trop faible pour créer une crue conséquente sur les bassins versants urbains,
- Il faut une pluie centennale sur Aubigny pour avoir un débit critique pour le secteur du Douaisis dû aux bassins versants ruraux,
- Il faut une pluie un peu inférieure à une cinquantennale sur Saulty pour avoir un débit critique pour le secteur du Douaisis due aux bassins versants ruraux,
- Une pluie centennale de durée intense 32 h localisée uniquement sur Arras ne suffit pas pour générer un débit critique.

Au niveau de Saulty, il faut rester prudent sur les conclusions car la modélisation pluie débit réalisée sur ce secteur tend à simplifier la réalité. Le Crinchon est une rivière sujette aux remontées de la nappe phréatique, peu pentue et son débit est sans doute largement laminé dans sa traversée au niveau d'Arras avant d'arriver dans la Scarpe canalisée. Les débits obtenus par le modèle sont donc certainement surestimés.

Les 2 bassins versants urbains susceptibles de générer de forts débits dans la Scarpe sont les deux situés au niveau d'Arras. Leur temps de concentration est plus faible (de l'ordre de 9 h) que celui du bassin versant de la Scarpe canalisée. Il est donc intéressant de tester des pluies plus intenses au niveau d'Arras.

○ **Pluies d'été de durée intense 7h (temps de réponse des BV urbains)**

De nouvelles pluies doubles triangles sont construites sur la base d'un temps de concentration de 9h, correspondant au temps de concentration des bassins versants urbains.

Les coefficients de Montana au niveau de la station d'Arras ont été acquis pour des durées entre 3h et 12h.

Durée de retour	Coefficient de Montana		Hauteur en mm			
	a	b	t = 3 h	t = 7 h	t = 9 h	t = 12 h
5	12.376	0.807	34	40	42	44
10	17.435	0.827	43	50	52	54
20	23.02	0.839	53	61	63	66
30	26.081	0.841	60	68	71	74
50	30.342	0.843	69	78	81	85
100	36.056	0.842	82	94	97	102

Tableau 4-10 : Coefficients de Montana pour des pluies de durée de 3h à 12h

Cinq nouvelles simulations sont réalisées en concentrant les pluies sur Arras :

- P10EW : pluie d'été double triangle, durée intense 7 h et période de retour 10 ans,
- P20EW : pluie d'été double triangle, durée intense 7 h et période de retour 20 ans,
- P30EW : pluie d'été double triangle, durée intense 7 h et période de retour 30 ans,
- P50EW : pluie d'été double triangle, durée intense 7 h et période de retour 50 ans,
- P100EW : pluie d'été double triangle, durée intense 7 h et période de retour 100 ans.

Les résultats obtenus sont présentés en annexe 6. Le tableau suivant récapitule les débits obtenus dans les biefs 1 et 9 et indique sur le maximum de la crue est dû aux bassins versants urbains et/ou aux bassins versants ruraux.

Simulation	Débit bief 1	Débit Bief 9	Max dû aux BV urbains	Max dû aux BV ruraux
P10EW	14.4	16.9	X	
P20EW	17.2	19.1	X	
P30EW	18.66	19.84	X	
P50EW	21.35	21.29	X	X
P100EW	25.45	24.03	X	X

Tableau 4-11 : Résultats pour les pluies d'été avec des pluies de durée intense 7h

Avec une durée intense de 7h, ce sont bien les bassins versants urbains qui réagissent le plus.

A partir d'une période de retour de cinquante ans, l'apport des bassins versants ruraux devient non négligeable et se cumule aux apports des bassins versants urbains augmentant le volume de la crue mais pas son débit maximal. On obtient ainsi des résultats similaires à la crue de juillet 2005.

Il faut donc une pluie de durée 9h de l'ordre de la centennale centrée sur Arras pour atteindre le débit critique dans le secteur du Douaisis.

○ Synthèse des pluies d'été

La figure suivante récapitule les résultats des différentes simulations effectuées. Un « R » est indiqué lorsque la pointe de la crue est due aux bassins versants ruraux et un « U » lorsque la pointe de la crue est due aux bassins versants urbains.

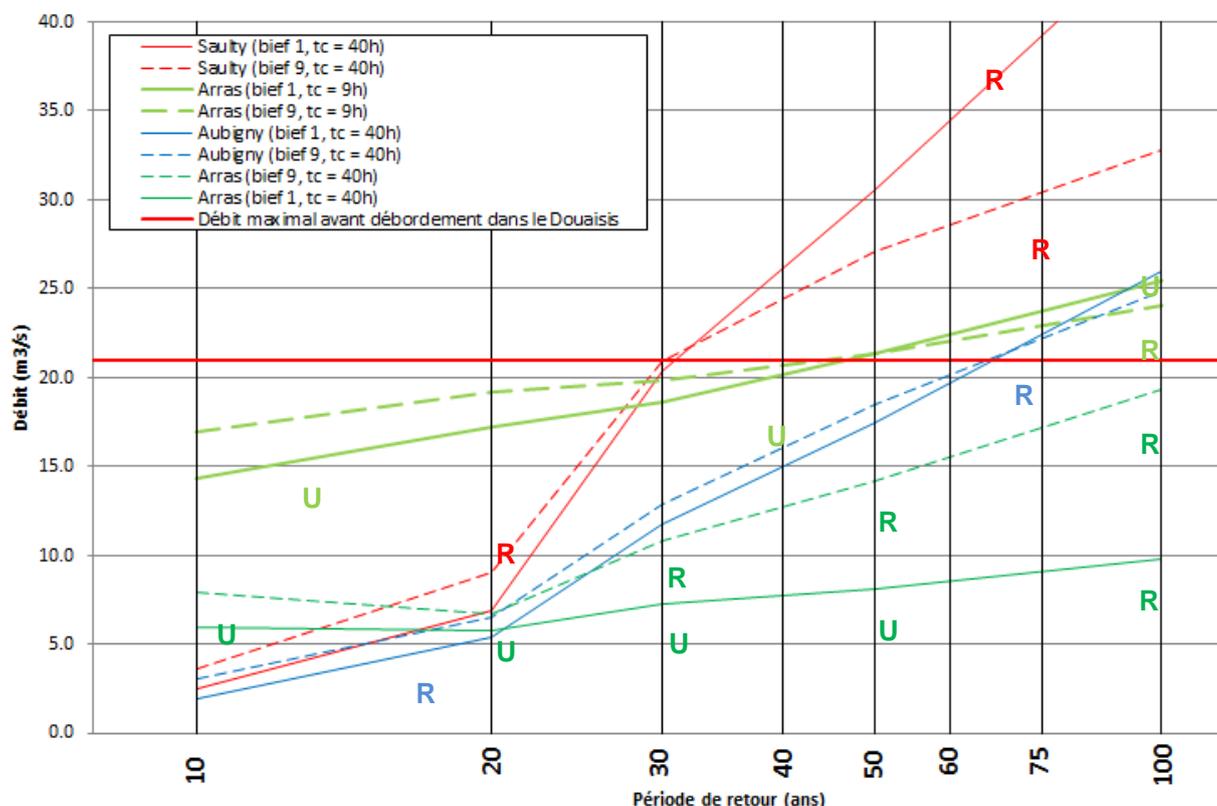


Figure 4-20 : Evolution des débits de pointe obtenus pour les différentes pluies d'été en fonction de la période de retour de la pluie

Les pluies d'été pouvant engendrer une situation de crise² sur le secteur du Douaisis sont :

- Une pluie de durée 32 h supérieure à une période de retour trentennale, centrée sur Saulty (pointe de crue due aux apports des bassins versants ruraux),
- Une pluie de durée 32 h de période de retour comprise entre 60 et 75 ans, centrée sur Aubigny (pointe de crue due aux apports des bassins versants ruraux),
- Une pluie de durée 9 h de période de retour comprise entre 40 et 50 ans, centrée sur Arras (pointe de crue due aux apports urbains).

On constate que les débits calculés dans les biefs 1 et 9 sont relativement proches dans la mesure où les apports du bassin versant sont concentrés en tête de la Scarpe canalisée et que l'on reste à des niveaux de débit n'atteignant pas les 21 m³/s.

4.5.2.2 Modélisation d'une pluie d'hiver

Afin de modéliser un événement hivernal, on utilise une pluie en forme de trapèze en considérant qu'il tombe 30 mm en 24 h.

On prend un taux de saturation du sol de 20% puis de 30% représentatifs d'une période hivernale et un coefficient de Strickler du lit mineur de 40 car il n'y a pas d'eutrophisation du lit mineur en hiver.

² On rappelle que dans l'attente des résultats VNF, le seuil de crise dans Douai a été défini arbitrairement à 21 m³/s à Brébières.

Les simulations sont les suivantes :

- 10HBs02 : pluie de 30 mm en 24 h, $K_s = 40$ et coefficient d'humidité des sols de 20%,
- 10HBs03 : pluie de 30 mm en 24 h, $K_s = 40$ et coefficient d'humidité des sols de 30%.

Les résultats des simulations sont présentés en annexe 7 et le tableau suivant en récapitule les résultats.

Simulation	Débit bief 1 (m^3/s)	Débit bief 9 (m^3/s)
P10HB02	3.8	5.2
P10HB03	14.1	15.7

Pour ces deux simulations, ce sont les bassins versants ruraux qui génèrent le pic de la crue, cependant le débit critique de $21 m^3/s$ n'est pas atteint.

Ceci confirme les observations faites depuis une vingtaine d'années selon lesquelles aucune crue d'hiver n'a provoqué de situation de crise dans le Douaisis.

Si on ajoute un débit de nappe de l'ordre de $5 m^3/s$ correspondant à une année de crue de nappe exceptionnelle (type 2001), on reste en-dessous du débit générateur d'un événement de crise dans le secteur du Douaisis. Par ailleurs, la combinaison d'une pluie centennale avec un niveau de nappe exceptionnel correspond à un événement très rare contre lequel il est peu envisageable de se prémunir.

Les pluies d'hiver ne sont donc pas génératrices d'événement de crise dans le secteur du Douaisis.

5 SYNTHÈSE : DETERMINATION DES CONDITIONS DE FORMATION DES ÉVÉNEMENTS DOMMAGEABLES

Le seul événement dommageable qui a eu lieu sur le secteur du Douaisis est la crue de juillet 2005. C'est le débit le plus important enregistré à la station de Brebières (de l'ordre de $22 \text{ m}^3/\text{s}$ pour le débit instantané).

Le deuxième événement étudié, la crue de début août 2008, a engendré des débordements uniquement au niveau de Vitry, il n'est donc pas considéré comme une situation de crise dans le cadre de la présente étude.

Ces 2 événements se sont produits l'été, lorsque le problème d'eutrophisation vient augmenter les lignes d'eau, perturber les capteurs de niveau d'eau et donc le fonctionnement des ouvrages.

Ces deux événements n'ont pas été accompagnés de crue de nappe pouvant venir perturber les écoulements de la Scarpe car ils sont estivaux.

Le schéma suivant récapitule les différents temps de réponse et de propagation qui ont pu être identifiés entre les maximums de pluie et les maximums de crue.

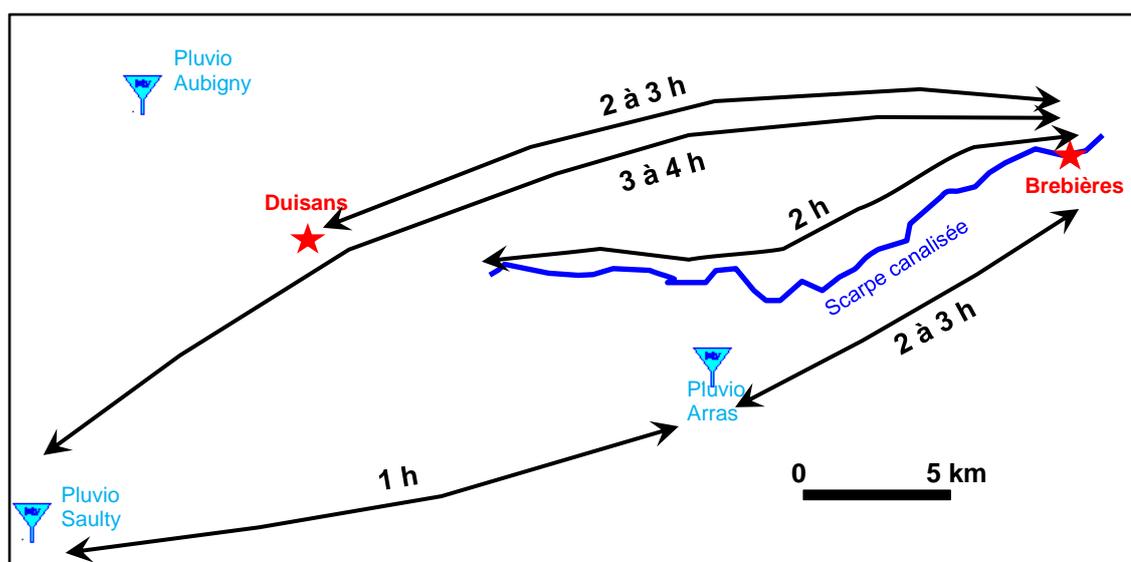


Figure 5-1 : Schéma des temps de propagation entre maxima pluie-pluie, pluie-débit et débit-débit en été

L'objet de cette première phase d'étude est de déterminer les conditions d'apparition d'un événement de crise dans le secteur du Douaisis (secteur non modélisé dans la présente étude). Le débit limite à ne pas dépasser au droit de Douai ne nous ayant pas été communiqué par VNF, nous avons fait l'hypothèse qu'il est généré par un débit de $21 \text{ m}^3/\text{s}$ à Brebières.

D'après les éléments recueillis et les calculs réalisés, les crues d'hiver n'engendrent pas de situation de crise dans le secteur du Douaisis amont, même avec un apport de nappe conséquent (type 2001).

Les crues plus délicates à gérer pour la Scarpe canalisée sont les crues d'été engendrées par des orages violents. En effet, la prolifération des algues perturbe les capteurs et donc la régulation normale des biefs, et augmente les niveaux d'eau.

Les tests effectués sur l'impact de l'eutrophisation montrent que :

- une diminution de 5 points du coefficient de Strickler fait monter la ligne d'eau en amont d'un bief entre 0 et 9 cm,
- une augmentation de 5 points du coefficient de Strickler fait diminuer la ligne d'eau en amont d'un bief entre -7 et 0 cm,

les écarts selon les biefs dépendant d'une part de la longueur du bief et d'autre part de sa profondeur (c'est le bief entre St-Nicolas et St-Laurent qui accuse les plus grandes variations de cotes).

De plus, la présence de plantes aquatiques tend à ralentir la propagation de la crue de l'ordre de 1 h.

Les situations de crise possibles sont les suivantes :

- Une pluie d'été de durée intense 32 h de période de retour 30 ans centrée sur Saulty (la modélisation n'ayant pas intégré le fait que le Crinchon passe en souterrain dans Arras, ce doit être plus proche d'une cinquantennale pour avoir une situation de crise),
- Une pluie d'été de durée intense 32 h de période de retour comprise entre 60 et 75 ans, centrée sur Aubigny,
- Une pluie d'été de durée intense de 7 h de période de retour comprise entre 40 et 50 ans, centrée sur Arras.

Ce sont donc des pluies d'été fortes (au-delà d'une période de retour 30 ans) qui provoquent une situation de crise dans le secteur du Douaisis. L'événement de juillet 2005 était effectivement dû à une pluie plus que centennale mais Douai a bénéficié du délestage qui s'est fait par le barrage de Courchelettes (en raison des travaux au niveau du barrage de Couteau), ce qui a pu limiter les dégâts.

En connaissant les débits en entrée de la Scarpe canalisée, on disposerait de 2 h pour effectuer des manœuvres sur les ouvrages pour abaisser préventivement les niveaux d'eau du canal. Au niveau de la base nautique, il existe déjà un système de mesure du débit mais sans enregistrement. La deuxième phase de l'étude permettra de savoir si les niveaux d'eau des biefs peuvent être abaissés en moins de 2 h.

Une autre solution pour éviter une situation de crise consisterait à installer un ou plusieurs déversoirs fixes positionnés un peu en-dessous de la cote de débordement du bief, au niveau des zones de débordement potentielles évoquées au paragraphe 2.6. Cette solution permettrait d'éviter de manœuvrer les ouvrages et délesterait la Scarpe avant le secteur de Douai.

Les données nécessaires à la suite de l'étude sont :

- **Le débit admissible par la Scarpe canalisée dans Douai,**
- **Le débit qu'il est possible de faire transiter par le barrage de Courchelettes en situation de crise.**

Avec ces deux informations, il sera possible de déterminer le volume de crue qu'il faudrait écrêter ou stocker dans de la Scarpe canalisée pour éviter une situation de crise dans Douai.

ANNEXES

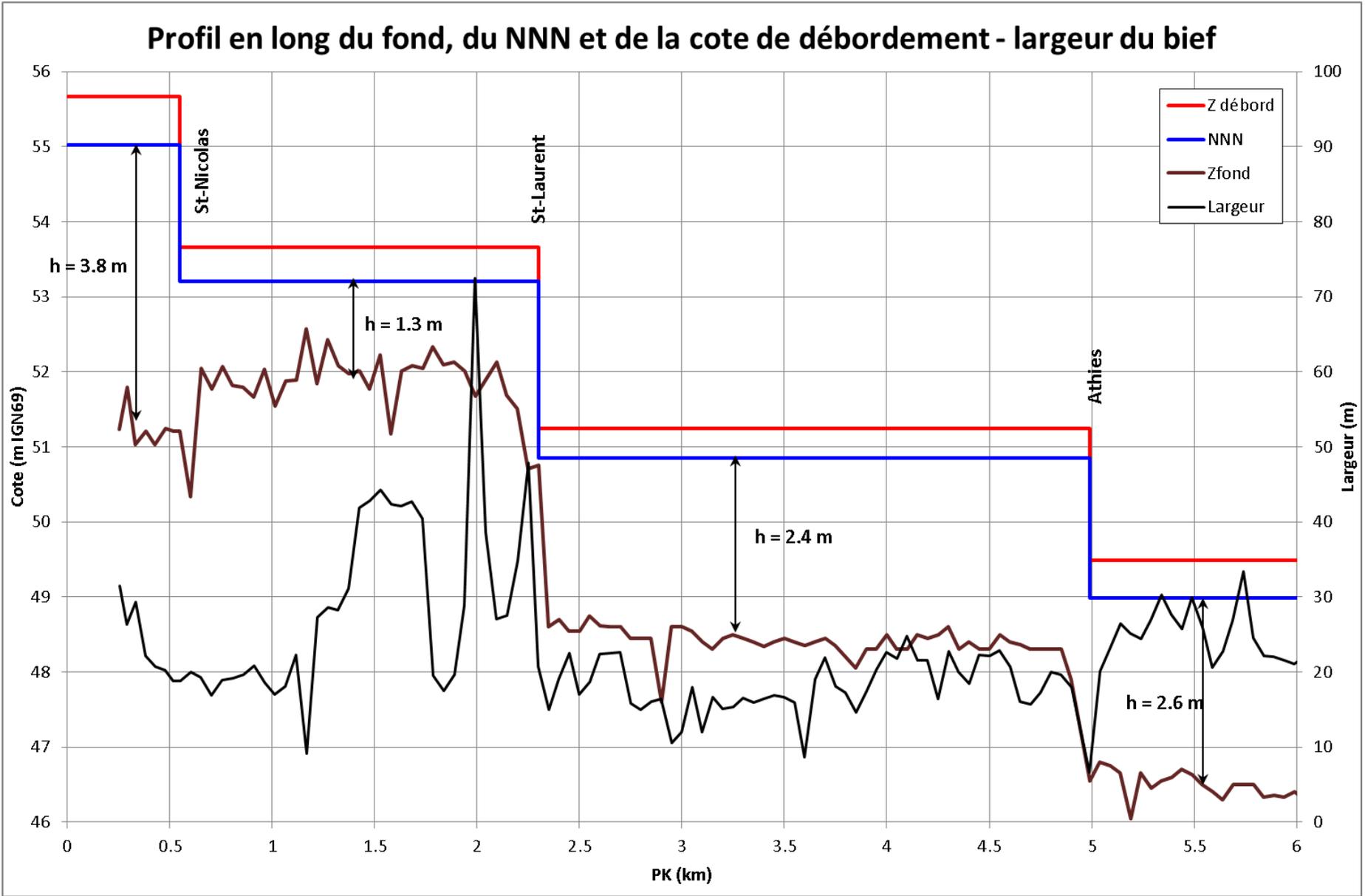


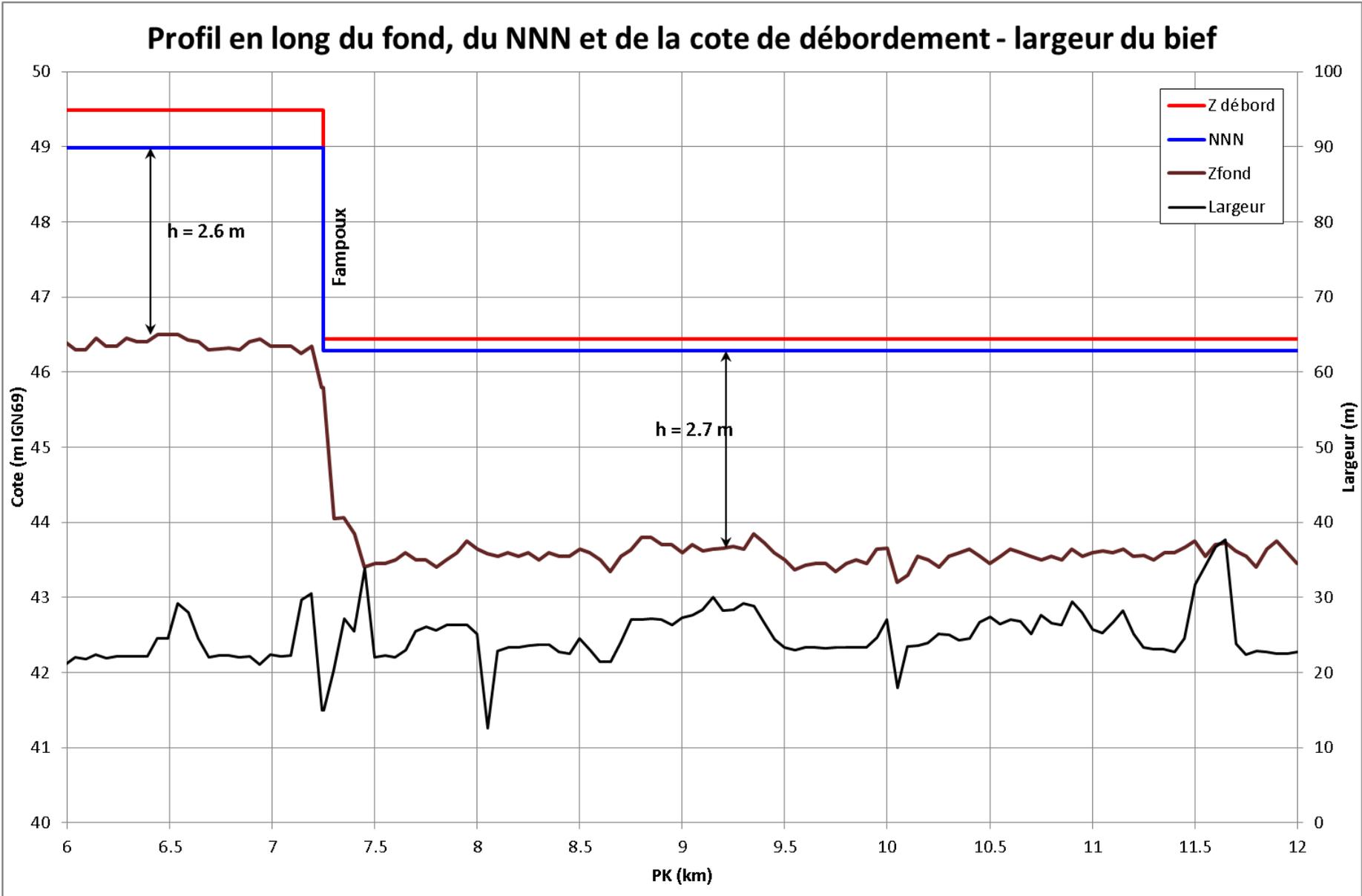
ANNEXE 1

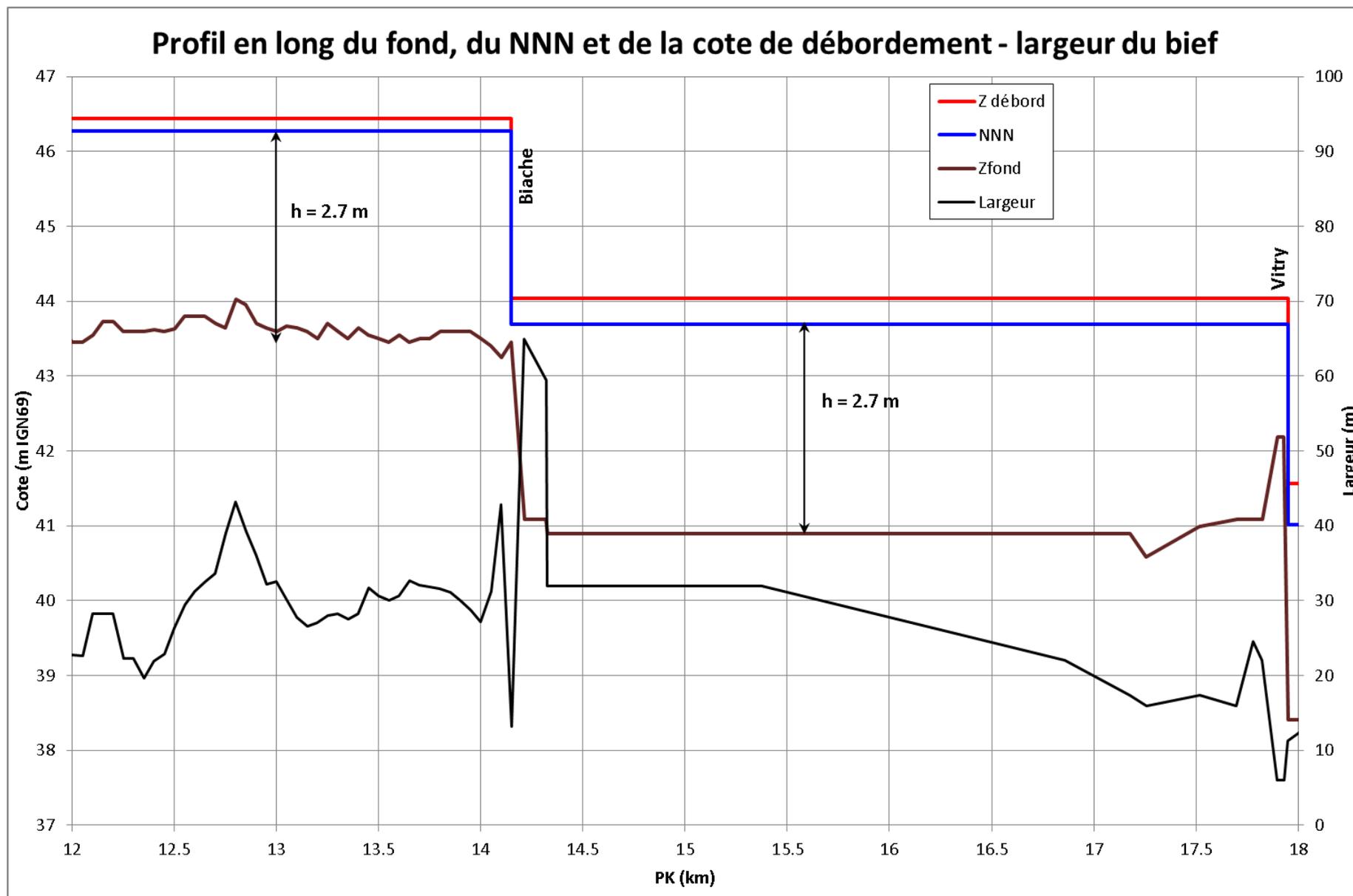
Compte-rendu des entretiens

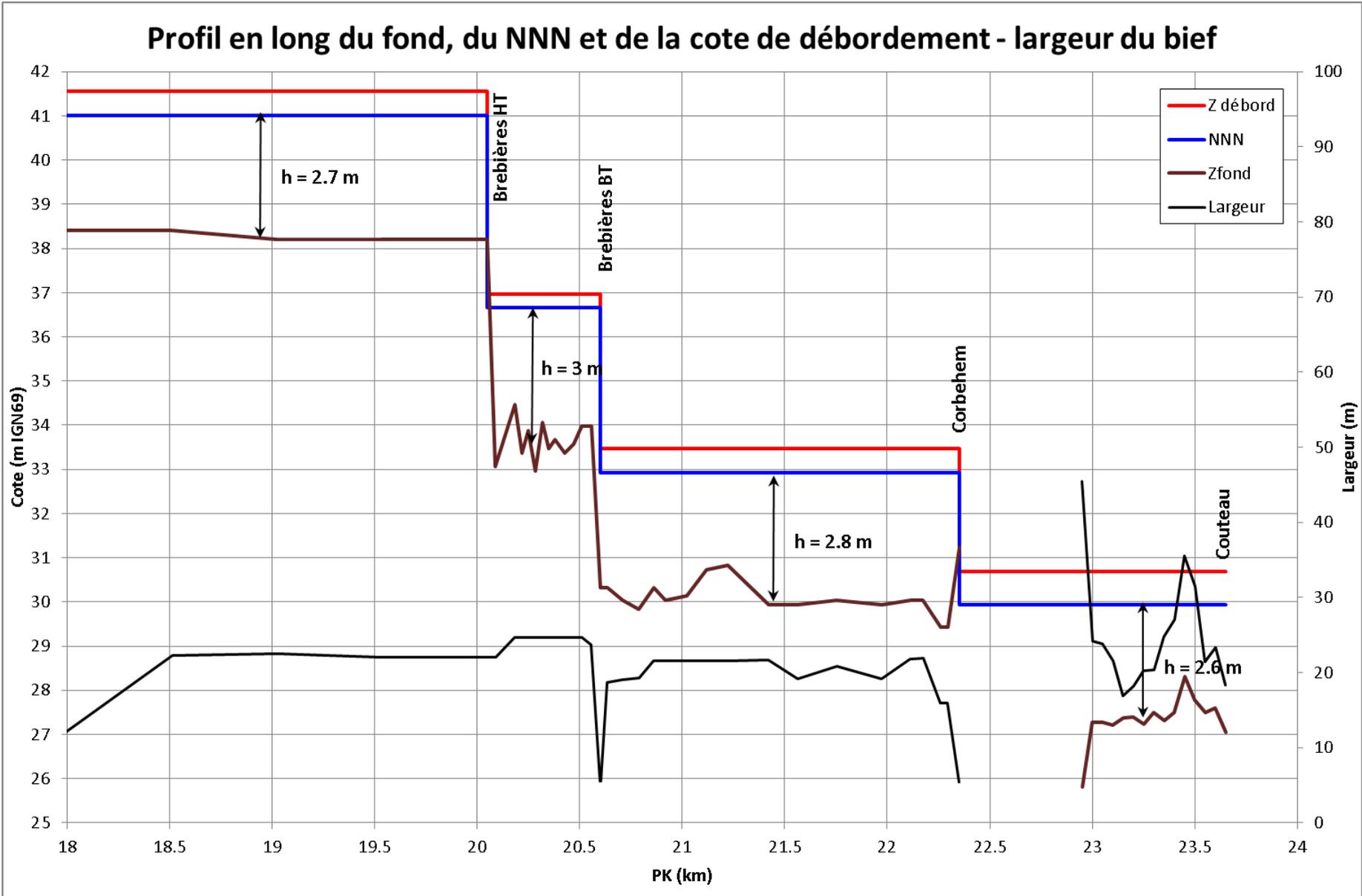
ANNEXE 2

Profils en long de la Scarpe canalisée avec profondeur maximale et largeur moyenne





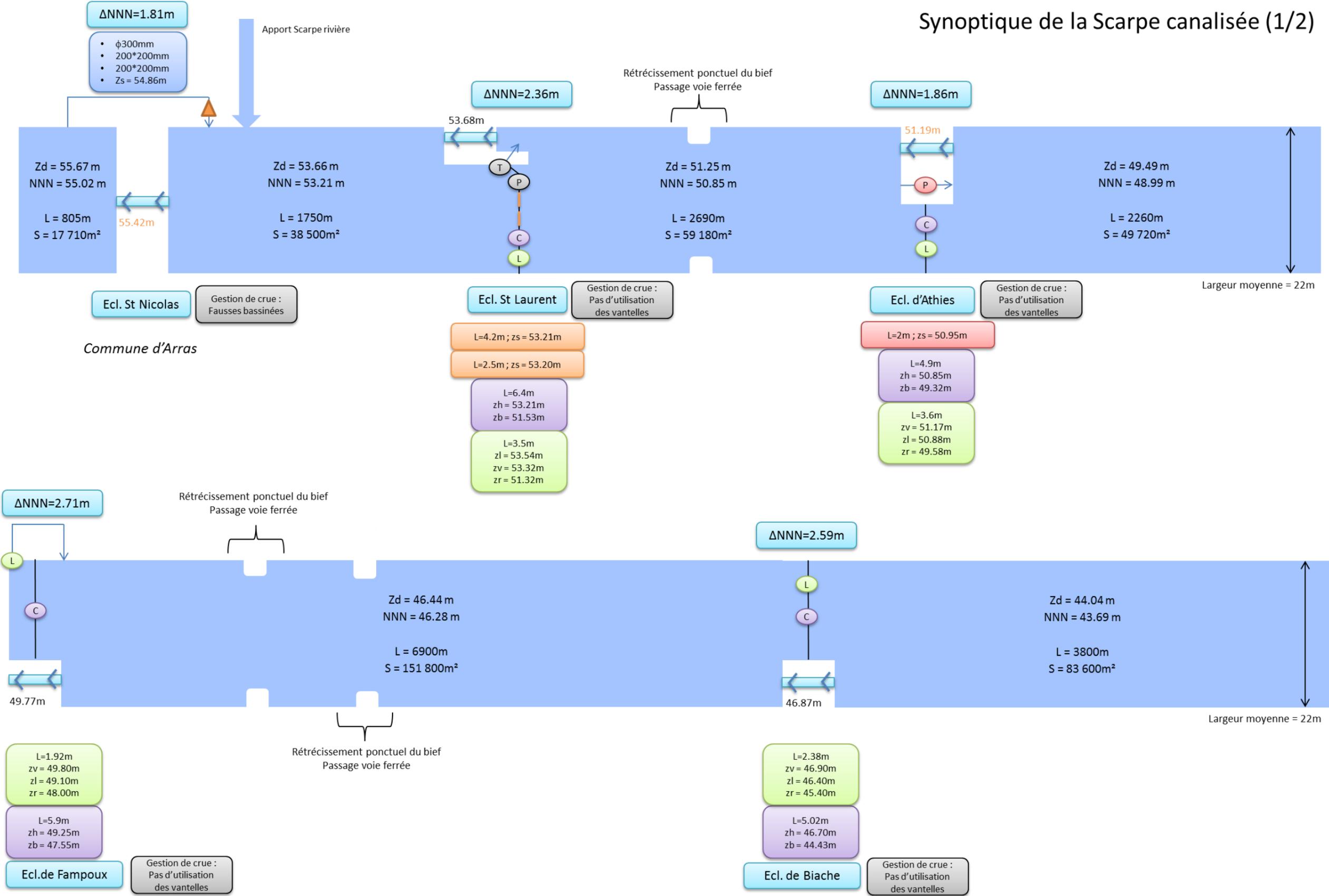




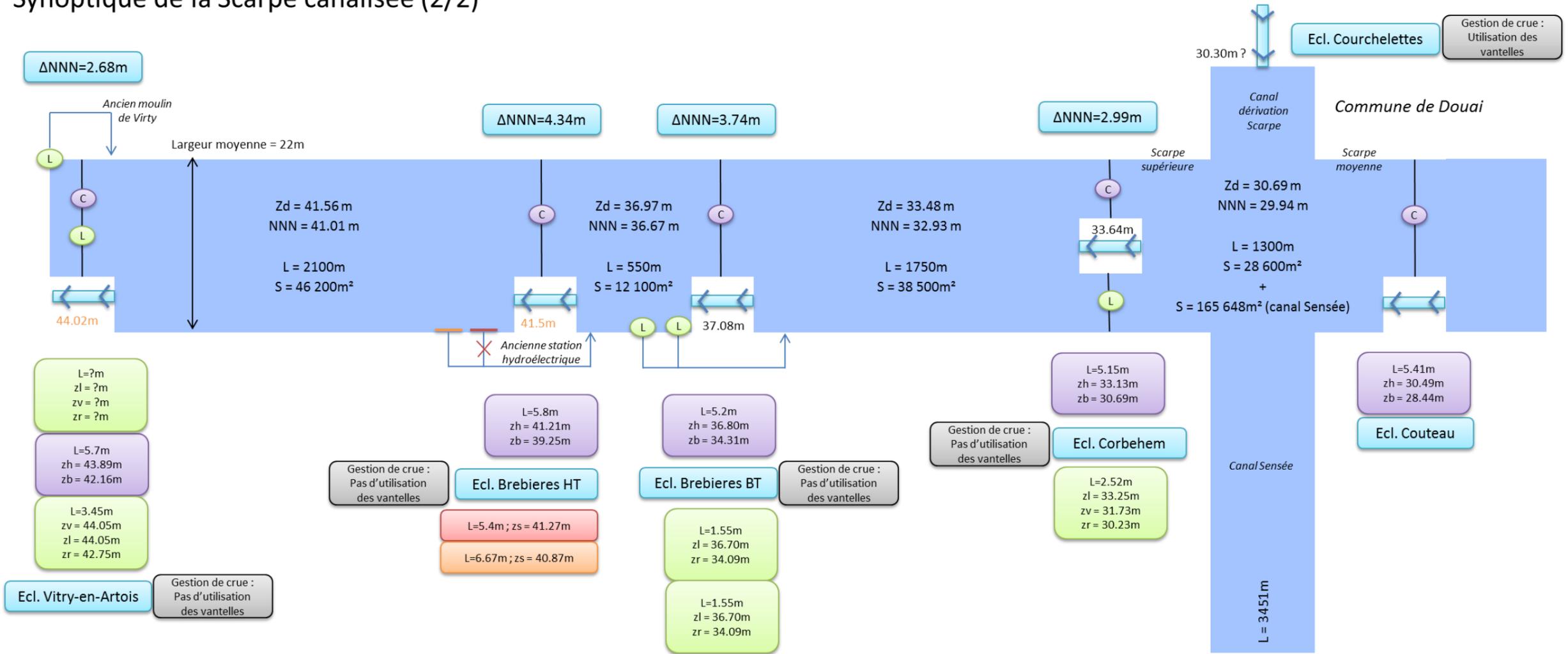
ANNEXE 3

Synoptique de la Scarpe canalisée

Synoptique de la Scarpe canalisée (1/2)



Synoptique de la Scarpe canalisée (2/2)



LEGENDE :

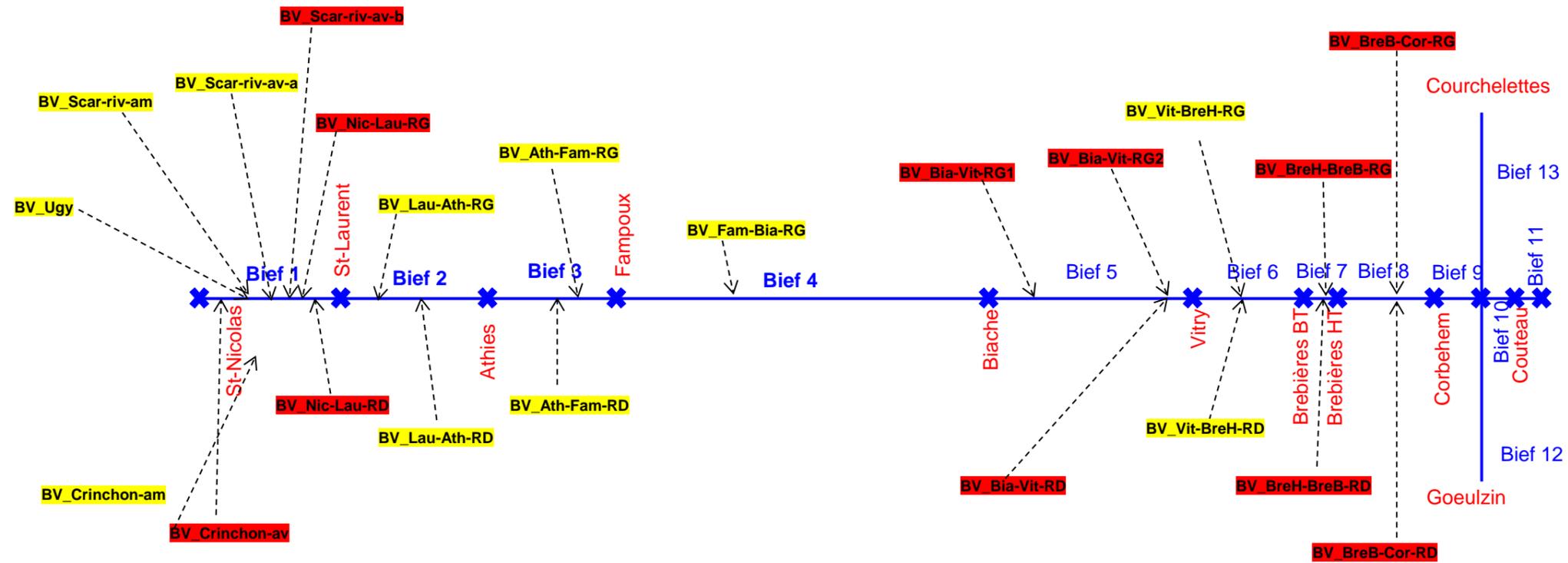
	Seuil	L = largeur seuil ; zs = cote seuil
	Vanne clapet (automatisée)	L = largeur vanne zh = cote clapet fermé zb = cote clapet ouvert
	Vanne levante (manuelle)	L = largeur vanne zl = cote supérieure vanne fermée zv = cote sous vanne ouverte zr = cote radier
	Vanne toit (utilisée seulement pour la pratique sportive)	
	Pompe	
	Clapet anti-retour	

Diagrammatic Legend:

- Vanne clapet fermée / ouverte:** Shows the flap valve in closed and open positions relative to water levels zh and zb.
- Vanne levante fermée / ouverte:** Shows the lift gate in closed and open positions relative to water levels zl, zv, and zr.

Crue Management:

- Passe condamnée:** L = largeur passe ; zs = cote seuil
- Déversoir non fonctionnel:** L = largeur seuil ; zs = cote seuil
- Ecluse:** La cote indiquée est la cote supérieure des portes amont de l'écluse :
 - si Zecluse > Zd, elle est indiquée en noir (37.08m)
 - si Zecluse < Zd, elle est indiquée en orange (41.5m)
- BIEF:** Zd = cote de débordement à l'aval du bief, NNN = cote du niveau normal de navigation, L = longueur du bief, largeur moyenne = 22m
- Gestion de crue:** Pas d'utilisation des vannes
- Précision sur la gestion des crues:**



- Bassin versant urbain
- Bassin versant rural

Synoptique du modèle hydraulique

ANNEXE 4

Présentation d'Hydrariv et d'HydraBV

1. Présentation d'Hydrariv, logiciel de modélisation hydraulique

La modélisation hydraulique sera intégralement réalisée à l'aide du logiciel de modélisation HYDRARIV, conçu et développé par HYDRATEC.

HYDRARIV, dont une plaquette de présentation est jointe, est un logiciel général de simulation dynamique des écoulements dans les espaces fluviaux. Il s'agit d'une application totalement autonome, gérant la génération et l'édition des modèles via une interface graphique dédiée, le pilotage des calculs et l'exploitation des résultats.

HYDRARIV possède une gamme très étendue de fonctionnalités, forgées par l'expérience et les besoins ressentis par HYDRATEC en matière d'aménagements de cours d'eau, qui se traduit notamment par des schémas de représentations qui peuvent être différents d'un secteur géographique à l'autre, **tout en coexistant dans un même modèle** : représentation filaire ou multifilaire, découpage en casiers, maillages bidimensionnels. Cette souplesse permet d'adapter au mieux la modélisation à la spécificité des configurations rencontrées dans le domaine fluvial et aux objectifs de modélisation poursuivis.

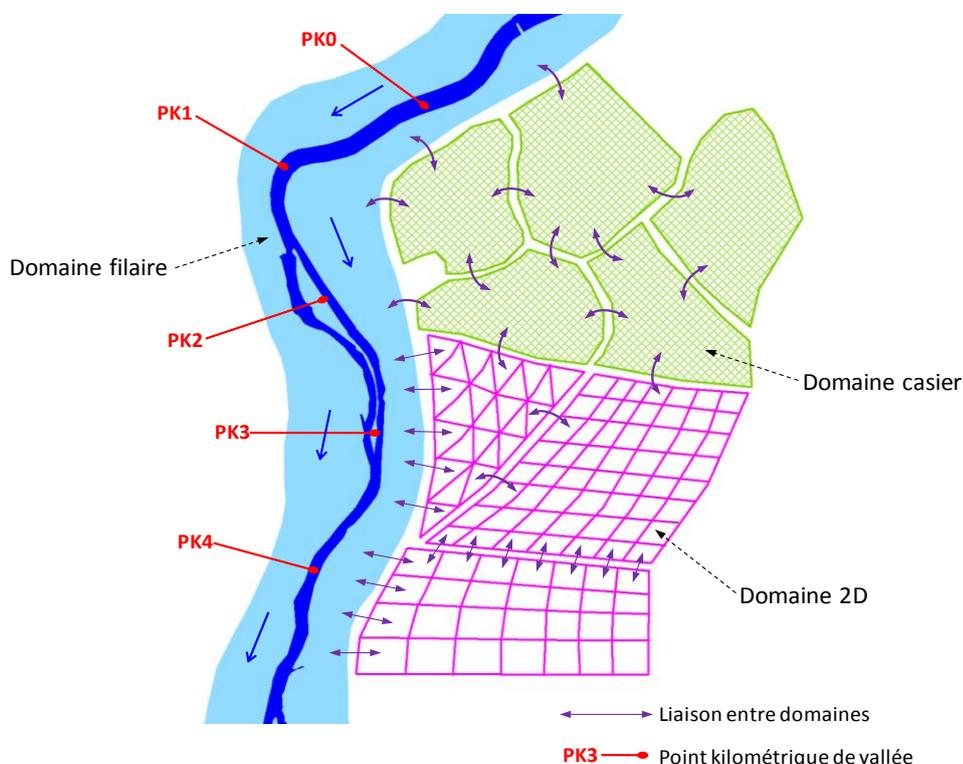


Figure 5-2 : Schémas de modélisation coexistants dans HydraRiv

A l'intérieur d'un mode donné de schématisation des écoulements, HYDRARIV offre de nombreux modules de calculs de singularités, le choix le plus approprié étant fonction de l'appréciation du comportement et de l'impact local de la singularité.

Les très nombreuses observations disponibles sur les écoulements de crues dans les vallées inondables témoignent de la grande complexité des phénomènes hydrauliques à l'échelle locale : chenaux préférentiels d'écoulement induits par la microtopographie, zones d'accumulation, lois d'échanges conditionnées par la topographie, mais aussi les nombreux obstacles implantés dans le lit majeur : routes, voies SNCF, levées de terres, remblaiements, gravières, etc. ...

Ces phénomènes ne peuvent être appréhendés que par une démarche simplificatrice mais cependant cohérente par rapport aux objectifs assignés au modèle et aussi à la

précision des données disponibles : une schématisation bidimensionnelle convient si l'on s'intéresse à l'impact d'un ouvrage sur les vitesses locales et les surélévations des niveaux d'eau des zones avoisinantes, elle devient plutôt inappropriée dans le cas d'une étude de la propagation sur de longues distances ; dans ce cas, une modélisation multifilaire s'avère beaucoup plus justifiée. Dans des cas plus complexe, la coexistence de ces deux schémas est à préférer. En particulier, même pour une étude locale de zone inondable, une modélisation bidimensionnelle doit souvent intégrer des représentations filaires d'écoulements préférentiels le long de thalwegs présentant une topographie locale peu accidentée.

Les différentes schématisations proposées par HYDRARIV reposent sur la résolution des **équations de Barré de Saint Venant**.

Le noyau de calcul est constitué par le logiciel HYDRA, développé et exploité par Hydratec depuis plus de 30 ans. La chaîne de simulation HYDRA est totalement transparente à l'utilisateur car elle est pilotée par l'interface d'HYDRARIV.

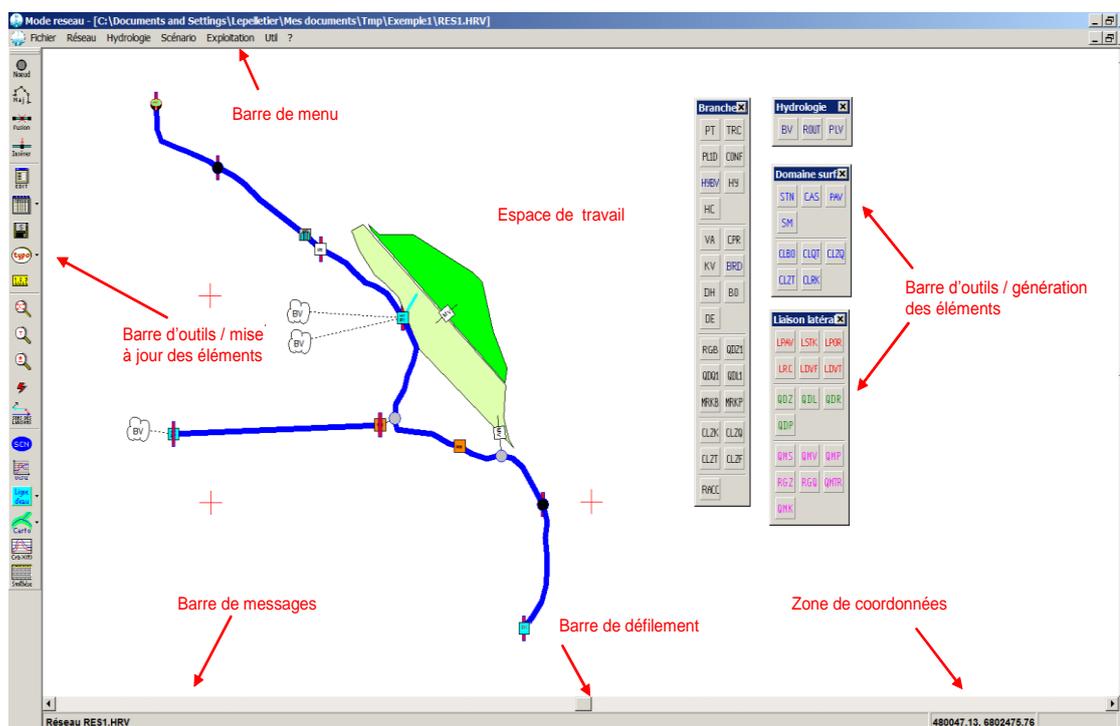


Figure 5-3 : Interface du logiciel HydraRiv

HYDRARIV, développé par hydratec, est commercialisé. Les établissements tels que l'Entente Oise Aisne, la DIREN Centre, le Service de Prévision des crues Oise-Aisne (SNS) ou le Syndicat mixte de l'Orge Aval (SIVOA), ont acquis ce logiciel.

Par ailleurs, suite au débat public mené par l'EPTB Grands Lacs de Seine sur le projet d'aménagement de la Bassée, HYDRARIV et en particulier le modèle Seine construit par Hydratec a fait l'objet en 2012 d'une expertise indépendante réalisée par un expert de l'Université de Louvain-la-Neuve (Belgique). **Les conclusions de cette expertise, intégrées aux spécifications d'HydraRiv présentées en annexe 1, attestent de la pertinence de l'outil développé par Hydratec et des lois hydrauliques utilisées pour les applications fluviales, ainsi que de la transparence d'Hydratec dans la présentation des résultats.**

Des informations complémentaires sur le logiciel HYDRARIV sont accessibles sur le site internet : www.hydratec-software.com.

2. Présentation d'HydraBV, logiciel de modélisation hydrologique

HYDRA-BV est un utilitaire général de simulation hydrologique appliqué au domaine fluvial. Les calculs mis en œuvre consistent en une succession de générations d'hydrogrammes à partir de données pluviométriques et de transformations de ces hydrogrammes suivant un ordre et des modalités définies par une table d'opération. Les hydrogrammes ruisselés sont calculés à l'exutoire de chaque bassin versant élémentaire, sont routés le long de collecteurs ou de tronçons de vallées et sont sommés à l'exutoire aval P, qui est le point d'apport dans le réseau hydraulique.

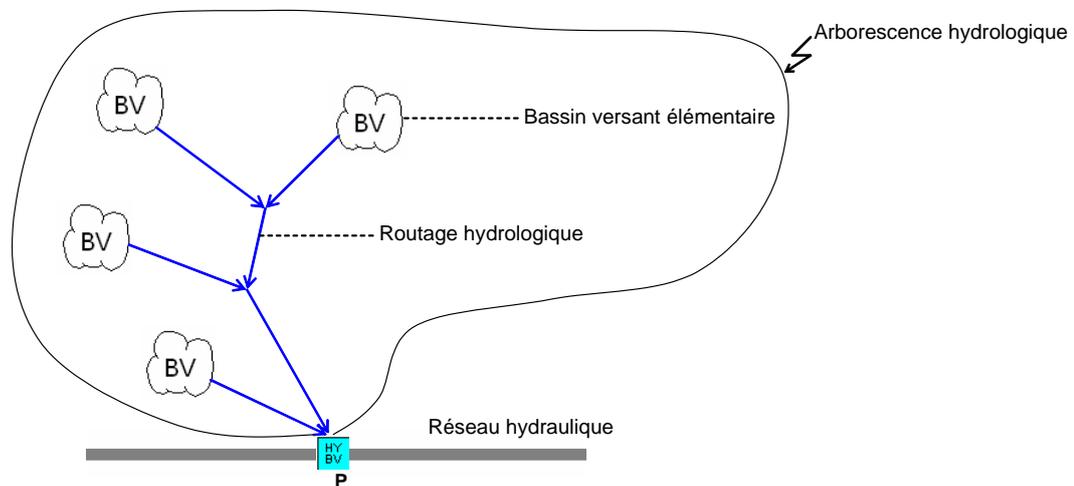


Figure 5-4. Schéma conceptuel d'arborescence d'un sous-réseau hydrologique

Plusieurs lois de production pluie - débit peuvent être employées indépendamment sur chaque sous-bassin versant du modèle hydrologique.

La plus usuellement utilisée, pour les sous-bassins versants ruisselants, est dérivée de la méthode SCS (Soil Conservation Service). Le schéma conceptuel de ce modèle est présenté ci-après.

Dans ce modèle, le sol est décomposé en deux couches superposées : la réserve facilement utilisable (RFU) et la couche de sol intermédiaire (J).

La RFU est la couche de sol directement alimentée par la pluie brute (données journalières mesurées par Météo France) et qui se vidange par évapotranspiration (ETP). En cas de saturation, l'excédent rejoint la couche de sol intermédiaire.

La couche de sol intermédiaire, alimentée par l'excédent de la couche RFU, se vidange par ressuyage, par ruissellement, et aussi par pertes vers les couches profondes.

L'hypothèse fondamentale consiste à supposer que la couche de sol intermédiaire se comporte comme une éponge dont le taux d'absorption varie en sens inverse du niveau d'imbibition : la partie non absorbée ruisselle. Par ailleurs, en l'absence de précipitation, le ressuyage du sol se fait lentement. Le débit de ressuyage est supposé proportionnel à la hauteur de lame d'eau accumulée dans le sol.

Ce modèle est défini notamment par 5 paramètres :

- RFU : la hauteur de la Réserve Facilement Utilisable exprimée en mm.
- J : la hauteur d'interception potentielle du sol en mm.
- K : le temps de réponse du bassin au ruissellement, en jours.
- Tr : le temps de réponse du bassin au ressuyage, en jours.
- f_o : la perte par infiltration vers les couches profondes en mm/j.

D'autres lois de production sont disponibles dans Hydra-BV, comme par exemple le modèle du réservoir linéaire, dit RSVL, qui est plus adapté pour les écoulements dits de nappe.

Ce schéma de modélisation, présenté ci-après, comprend également le réservoir RFU, dont l'excédent, en cas de saturation, rejoint ici directement le réservoir de nappe. Ce dernier se vidange ici **uniquement par ressuyage**. Le débit vers la rivière est fonction de la recharge de la nappe.

Ce modèle est défini par 2 paramètres :

- RFU : capacité de la RFU en mm.
- Tress : Temps de ressuyage - réponse de la nappe en jours.

Dans les modélisations hydrologiques, l'état de saturation initial du sol (avant la crue) est pris en compte soit par modélisation de la période préparatoire (depuis le 1^{er} septembre précédant la crue), soit d'après l'analyse qualitative des hydrogrammes mesurés.

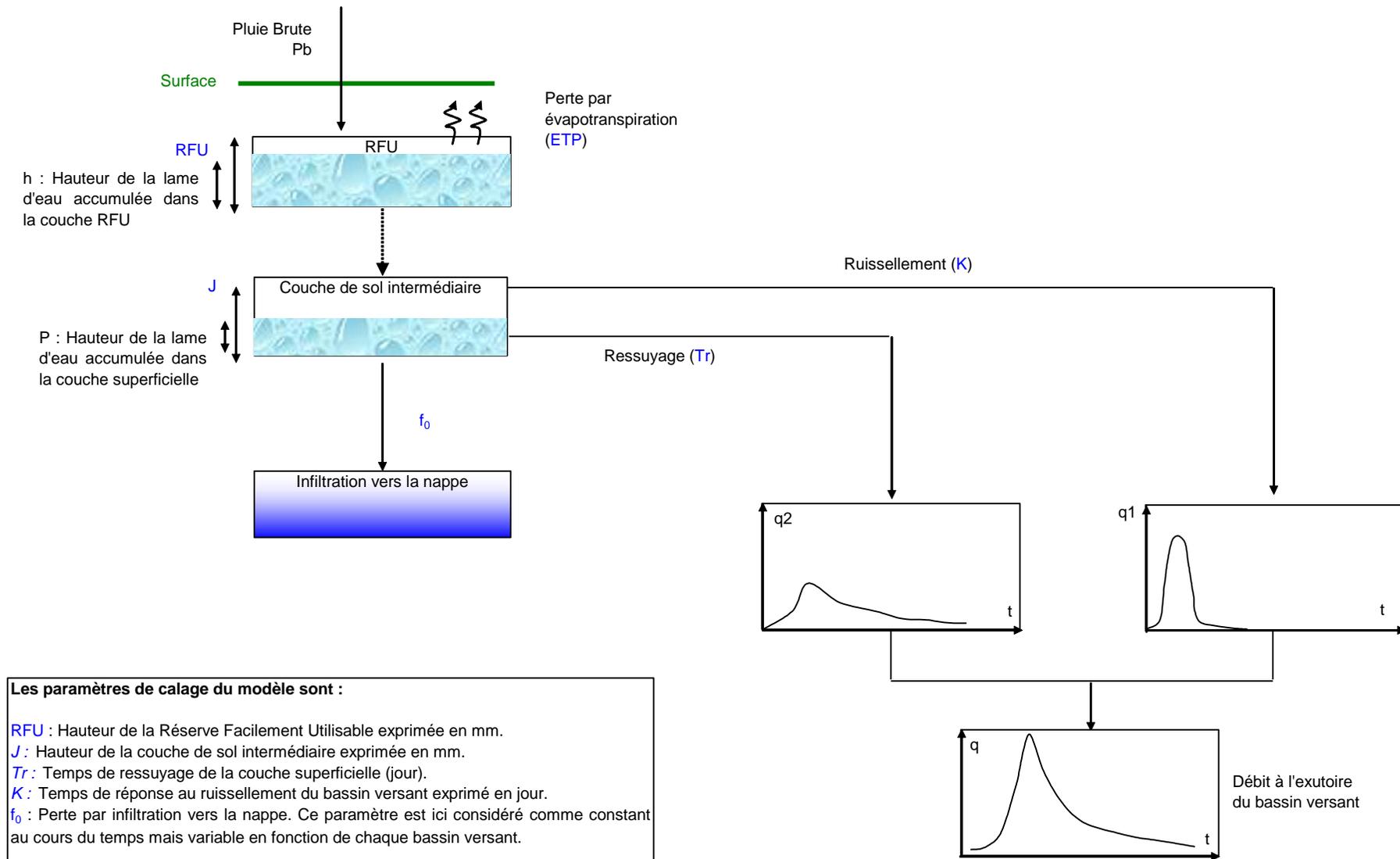
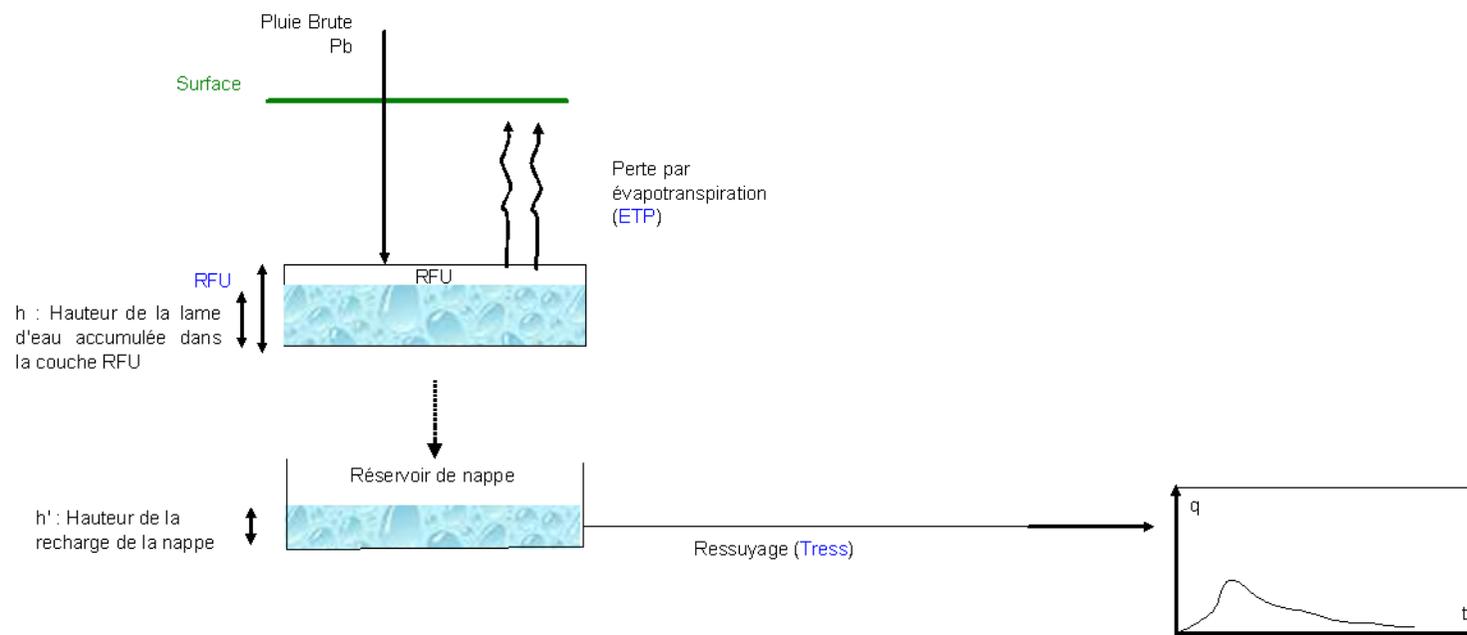


Figure 5-5 : Schéma conceptuel du modèle pluie-débit dit « SCS »



Les paramètres de calage du modèle sont :

ETP : Evapotranspiration exprimée en mm/j . Considérée comme variable au cours d'une année mais constante quelle que soit le bassin versant et quelle que soit l'année considérée.

RFU : Hauteur de la RFU exprimée en mm

T_{ress} : Temps de ressuyage - réponse de la nappe en jour

Figure 5-6 : Schéma conceptuel du modèle pluie-débit de nappe, dit « RSVL »

ANNEXE 5

Fiche climatologique de Cambrai-Epinoy



FICHE CLIMATOLOGIQUE

Statistiques 1981-2010 et records

CAMBRAI-EPINOY (62)

Indicatif : 62298001, alt : 76m, lat : 50°13'30"N, lon : 03°09'48"E

	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Data	La température la plus élevée (°C) <small>Records établis sur la période du 01-01-1954 au 02-02-2014</small>												
	14.8	17.5	22.7	26.9	30.9	34.7	36.5	38.2	32.5	28.6	19.5	16.0	38.2
	18-2007	20-1990	29-1968	20-1968	27-2005	27-1976	09-1959	06-2003	05-2013	01-2011	04-1994	07-2000	2003
Data	Température maximale (moyenne en °C)												
	5.8	6.8	10.7	14.2	18.0	20.8	23.5	23.4	19.8	15.1	9.6	6.2	14.5
	Température moyenne (moyenne en °C)												
Data	Température minimale (moyenne en °C)												
	3.2	3.8	6.9	9.4	13.2	15.9	18.3	18.2	15.2	11.4	6.8	3.8	10.5
	La température la plus basse (°C) <small>Records établis sur la période du 01-01-1954 au 02-02-2014</small>												
Data	-19.8	-17.2	-11.4	-4.5	-1.3	1.2	4.5	5.0	0.8	-5.4	-9.0	-12.8	-19.8
	05-1985	21-1956	13-2013	12-1986	07-1997	05-1991	01-1984	30-1963	17-1971	29-1997	15-1983	31-1978	1985
	Nombre moyen de jours avec												
Tx >= 30 °C	-	-	-	-	0.1	0.5	2.5	2.2	0.1	-	-	-	5.3
Tx >= 25 °C	-	-	-	0.3	2.4	5.3	10.5	9.2	2.9	0.2	-	-	31.0
Tx <= 0 °C	2.9	1.7	0.1	-	-	-	-	-	-	0.5	2.3	-	7.6
Tn <= 0 °C	12.4	11.4	7.2	2.8	0.1	-	-	-	1.4	5.4	11.6	-	52.3
Tn <= -5 °C	3.5	3.0	0.4	-	-	-	-	-	0.0	0.6	2.3	-	9.9
Tn <= -10 °C	1.1	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-	1.6
<small>Tn : Température minimale, Tx : Température maximale</small>													
Data	La hauteur quotidienne maximale de précipitations (mm) <small>Records établis sur la période du 01-01-1954 au 02-02-2014</small>												
	27.0	29.4	29.4	33.1	39.3	54.1	59.0	55.2	44.5	46.2	38.8	32.6	59.0
	30-1961	12-2002	28-2001	25-1957	02-1996	24-1969	11-1995	03-2008	15-1986	16-2000	13-2010	26-1999	1995
Data	Hauteur de précipitations (moyenne en mm)												
	56.1	45.9	55.9	48.4	60.1	66.5	66.6	64.0	57.9	67.7	59.0	63.0	711.1
	Nombre moyen de jours avec												
Rr >= 1 mm	11.3	9.7	11.6	9.5	10.7	9.9	9.8	9.4	9.5	10.8	11.7	11.5	125.6
Rr >= 5 mm	4.0	3.0	3.9	3.4	4.2	4.3	4.5	4.6	4.1	4.1	4.3	4.6	49.0
Rr >= 10 mm	1.1	0.9	1.0	1.1	1.5	1.9	2.0	1.5	1.5	2.0	1.1	1.5	17.3
<small>Rr : Hauteur quotidienne de précipitations</small>													

Page 1/2

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

Edité le : 17/02/2014 dans l'état de la base

METEO-FRANCE - Direction de la Production
42 avenue Gaspard Coriolis 31057 Toulouse Cedex
<https://public.meteofrance.com/public>

FICHE CLIMATOLOGIQUE

Statistiques 1981-2010 et records

CAMBRAI-EPINOY (62)
Indicatif : 62298001, alt : 76m, lat : 50°13'30"N, lon : 03°09'48"E

	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Degrés Jours Unifiés (moyenne en °C)													
	457.3	401.0	344.7	257.3	153.8	77.8	32.0	31.9	91.1	205.2	336.6	439.9	2828.6
Rayonnement global (moyenne en J/cm²)													
Données non disponibles													
Durée d'insolation (moyenne en heures)													
Données non disponibles													
Nombre moyen de jours avec fraction d'insolation													
Données non disponibles													
Evapotranspiration potentielle (ETP Penman moyenne en mm)													
Données non disponibles													
La rafale maximale de vent (m/s)													
	34.0	37.0	30.0	34.0	27.0	32.0	29.3	27.0	27.0	32.0	37.0	36.0	37.0
Date	22-1988	26-1990	15-1988	05-1983	20-2006	06-1998	27-2013	08-1992	10-1983	16-1987	27-1983	25-1990	1990
<small>Records établis sur la période du 01-01-1981 au 02-02-2014</small>													
Vitesse du vent moyenné sur 10 mn (moyenne en m/s)													
	5.9	5.4	5.3	4.9	4.4	4.1	4.2	4.1	4.4	5.0	5.1	5.5	4.9
Nombre moyen de jours avec rafales													
>= 16 m/s	11.1	6.8	8.1	4.8	3.9	2.2	3.1	3.1	3.2	5.5	6.3	7.6	65.7
>= 28 m/s	0.7	0.4	0.4	0.1	-	0.1	-	-	-	0.2	0.3	0.3	2.4
<small>16 m/s = 58 km/h, 28 m/s = 100 km/h</small>													
Nombre moyen de jours avec													
Brouillard	Données non disponibles												
Orage	Données non disponibles												
Grêle	Données non disponibles												
Neige	-	-	-	1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- : donnée manquante .: donnée égale à 0													
Ces statistiques sont établies sur la période 1981-2010.													

Page 2/2

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

Edité le : 17/02/2014 dans l'état de la base

METEO-FRANCE - Direction de la Production
 42 avenue Gaspard Coriolis 31057 Toulouse Cedex
<https://public.meteofrance.com/public>

ANNEXE 6

Données sur le modèle hydraulique

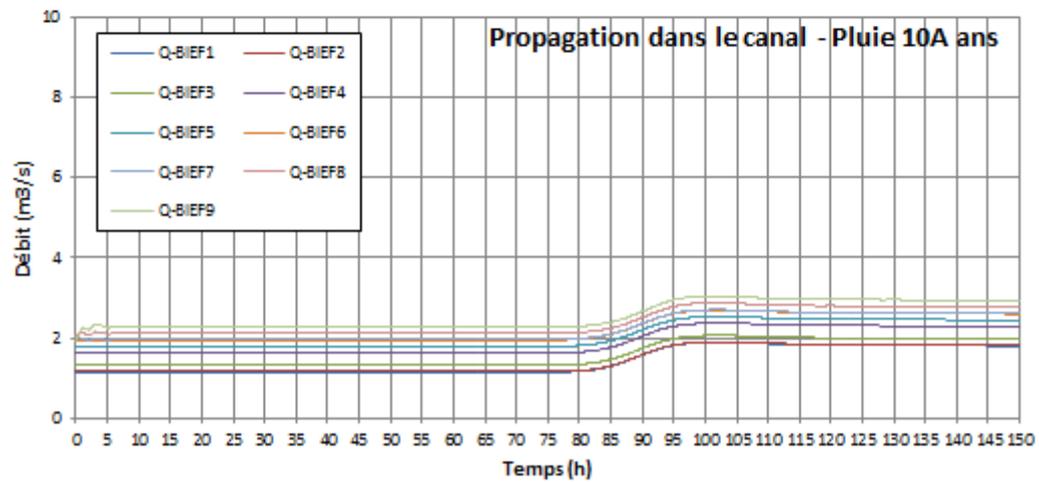
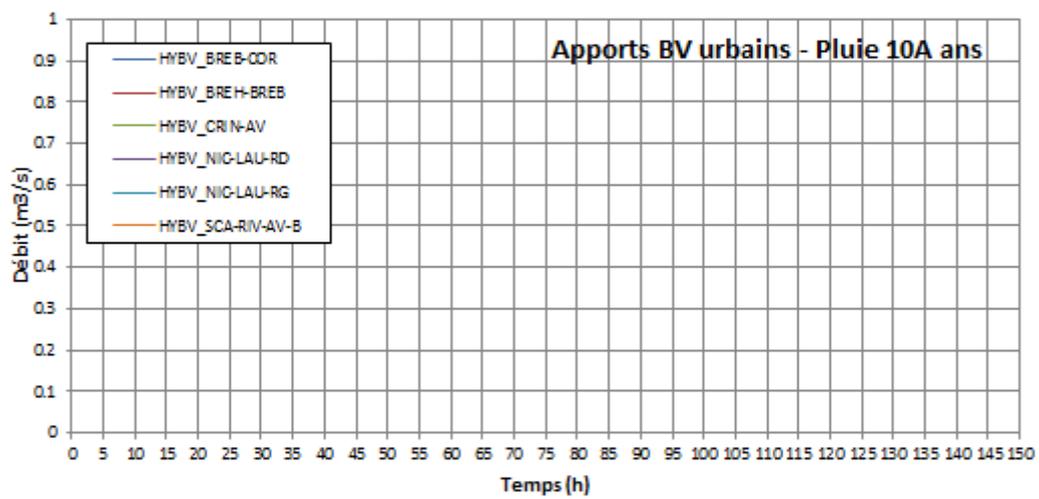
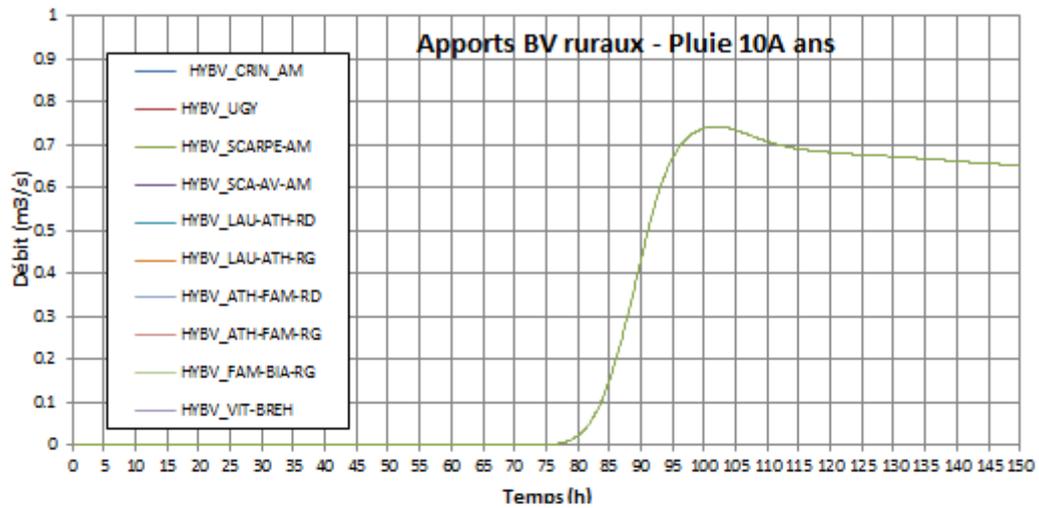
BV							ROUT			
BV	Identifiant	Pente moyenne(-)	Coeff. d'imperméabilisation (-)	Fonction de production de la pluie nette	Param1	Param2	Param3	Fonction de production du ruissellement	Param_R1	Param_R2
1	BV_Ath-Fam-RD	0.00680	0.28	4. Socose (SCS)	81.000	30.000	51.750	5. Tc (imposé)	273	4
2	BV_Ath-Fam-RG	0.01040	0.28	4. Socose (SCS)	80.500	30.000	51.750	5. Tc (imposé)	174	4
3	BV_Bia-Vit-RD	0.01270	0.24	1. CR constant	0.180			4. k (imposé) +	5	
4	BV_Bia-Vit-RG1	0.00690	0.36	1. CR constant	0.270			4. k (imposé) +	5	
5	BV_Bia-Vit-RG2	0.00600	0.31	1. CR constant	0.229			4. k (imposé) +	5	
6	BV_BreB-Cor-RD	0.00430	0.29	1. CR constant	0.218			4. k (imposé) +	5	
7	BV_BreB-Cor-RG	0.00460	0.29	1. CR constant	0.218			4. k (imposé) +	5	
8	BV_BreH-BreB-RD	0.00680	0.40	1. CR constant	0.300			4. k (imposé) +	5	
9	BV_BreH-BreB-RG	0.00740	0.40	1. CR constant	0.300			4. k (imposé) +	5	
10	BV_Crinchon-am	0.00610	0.25	4. Socose (SCS)	75.000	30.000	48.000	5. Tc (imposé)	615	4
11	BV_Crinchon-av	0.00220	0.35	1. CR constant	0.259			4. k (imposé) +	50	
12	BV_Fam-Bia-RG	0.00330	0.30	4. Socose (SCS)	93.500	30.000	60.000	5. Tc (imposé)	398	4
13	BV_Lau-Ath-RD	0.00800	0.32	4. Socose (SCS)	70.500	30.000	45.000	5. Tc (imposé)	202	4
14	BV_Lau-Ath-RG	0.01020	0.28	4. Socose (SCS)	72.500	30.000	46.500	5. Tc (imposé)	176	4
15	BV_Nic-Lau-RD	0.01470	0.39	1. CR constant	0.293			4. k (imposé) +	5	
16	BV_Nic-Lau-RG	0.01780	0.31	1. CR constant	0.229			4. k (imposé) +	5	
17	BV_Scar-ri-av	0.00390	0.24	4. Socose (SCS)	77.500	30.000	49.500	5. Tc (imposé)	894	4
18	BV_Scar-ri-av-a	0.01320	0.26	4. Socose (SCS)	72.000	30.000	46.500	5. Tc (imposé)	192	4
19	BV_Scar-ri-av-b	0.00220	0.33	1. CR constant	0.244			4. k (imposé) +	50	
20	BV_Ugy	0.00560	0.24	4. Socose (SCS)	77.500	30.000	50.250	5. Tc (imposé)	710	4
21	BV_Vit-BreH-RD	0.00740	0.25	4. Socose (SCS)	75.000	30.000	48.000	5. Tc (imposé)	124	4
22	BV_Vit-BreH-RG	0.00450	0.34	4. Socose (SCS)	70.500	30.000	45.000	5. Tc (imposé)	158	4

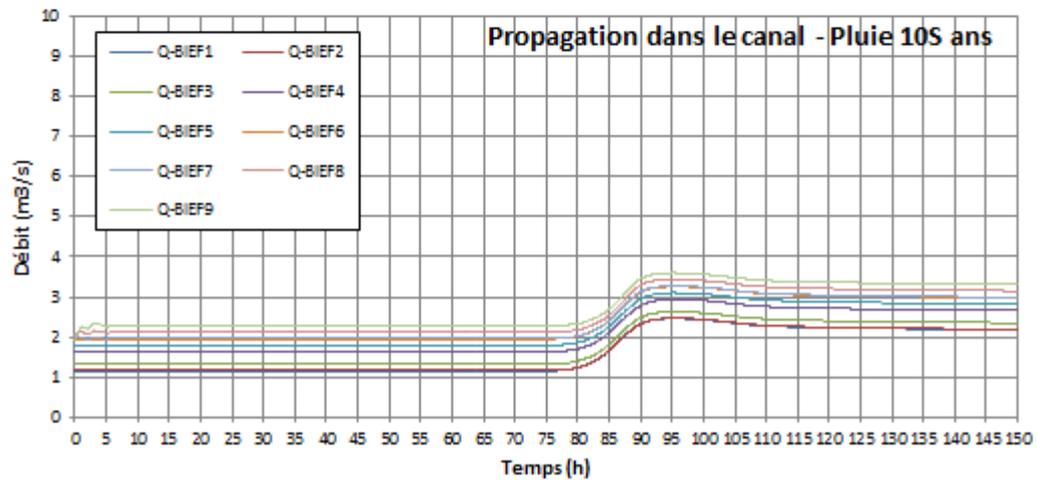
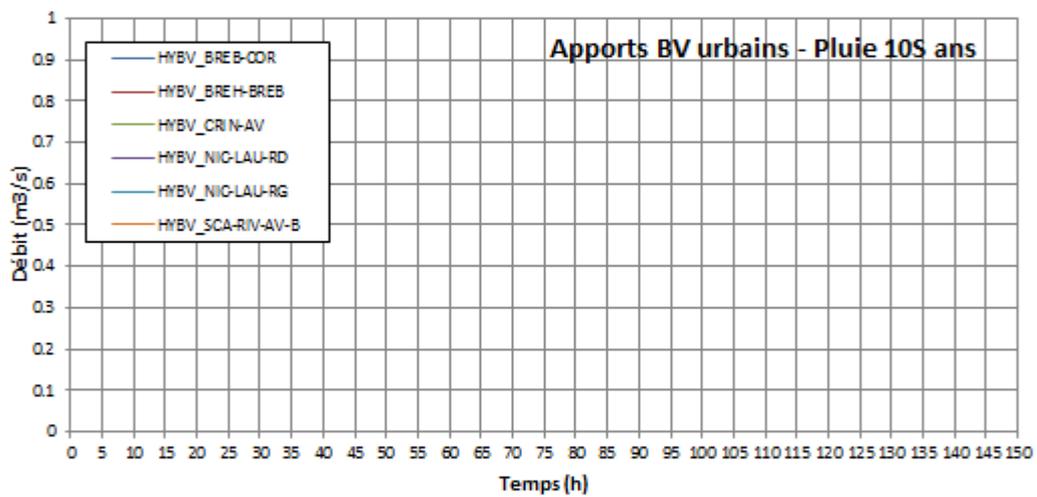
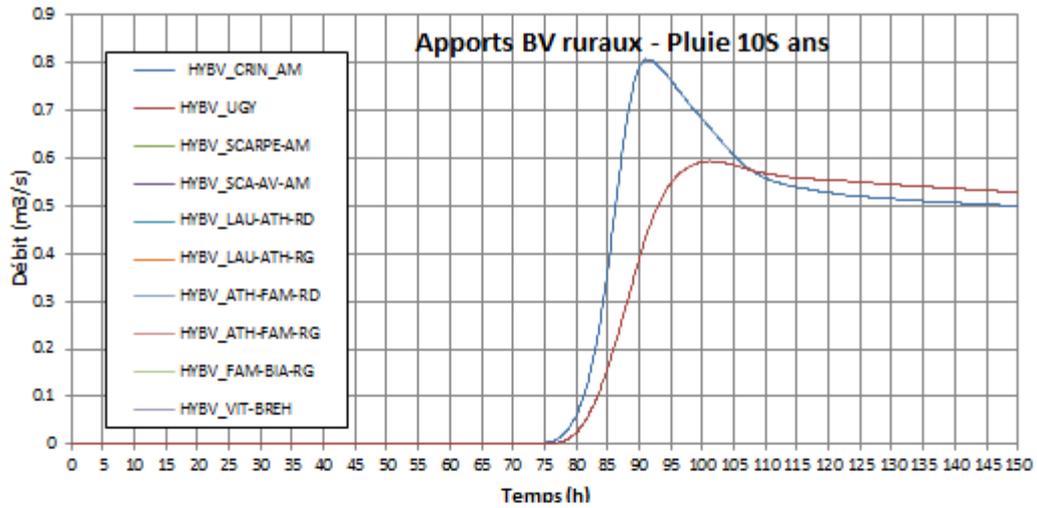
Liste des branches							
Enregistrer Fermer							
N° de branche	Désignation	PK0	Option de routage	Longueur de discrétisation (m)	Qmin de la branche (m3/s)	Qini de la branche (m3/s)	Liste de noeuds
1	1	0.0000	Non	50.00	1.000	3.000	Ouvrir...
2	2	2.6877	Non	50.00	1.000	3.000	Ouvrir...
3	3	5.4197	Non	50.00	1.000	3.000	Ouvrir...
4	4	7.7580	Non	50.00	1.000	3.000	Ouvrir...
5	5	14.7670	Non	50.00	1.000	3.000	Ouvrir...
6	6	18.5780	Non	50.00	1.000	3.000	Ouvrir...
7	7	20.6917	Non	50.00	1.000	3.000	Ouvrir...
8	8	21.2745	Non	50.00	1.000	3.000	Ouvrir...
9	9	23.0205	Non	50.00	1.000	3.000	Ouvrir...
10	10	23.7500	Non	50.00	1.000	3.000	Ouvrir...
11	11	24.5236	Non	50.00	1.000	3.000	Ouvrir...
12	12	10.0000	Non	50.00	1.000	3.000	Ouvrir...
13	13	13.3350	Non	50.00	1.000	3.000	Ouvrir...

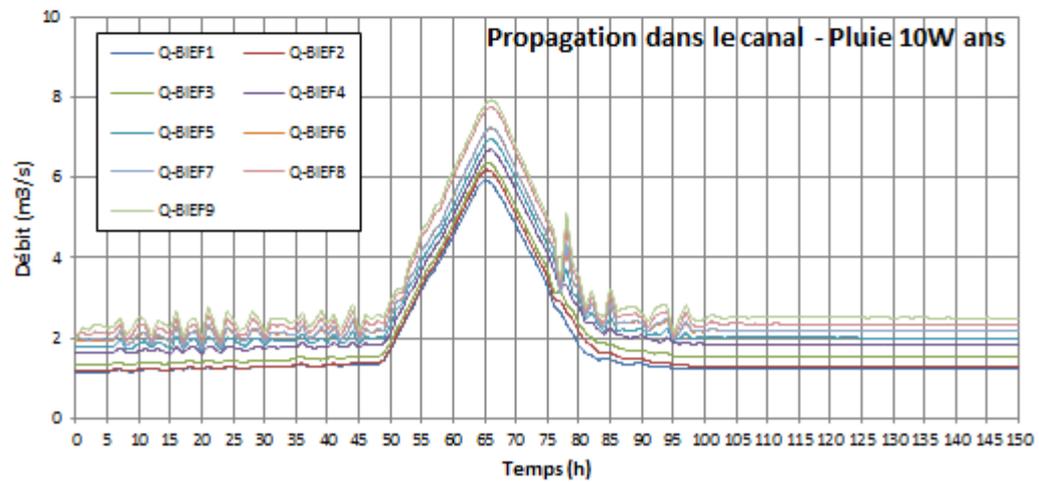
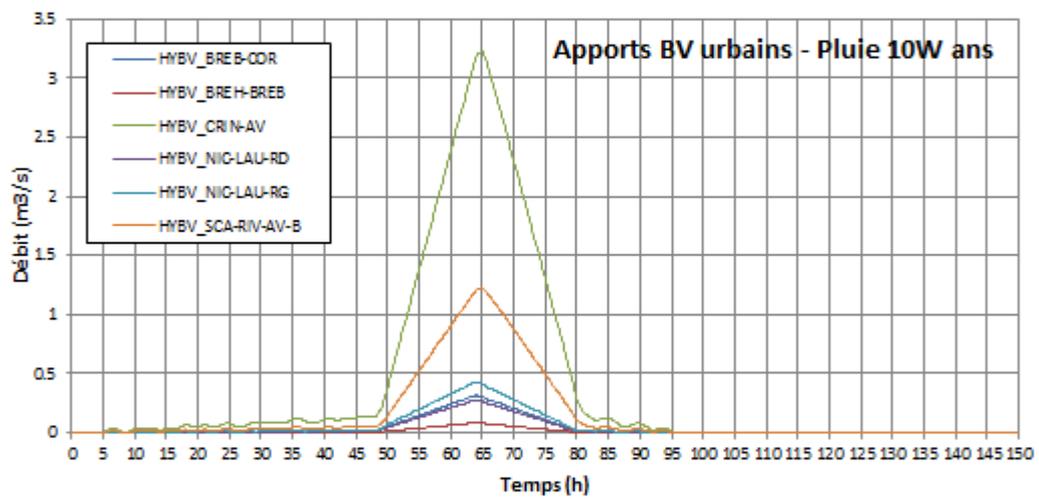
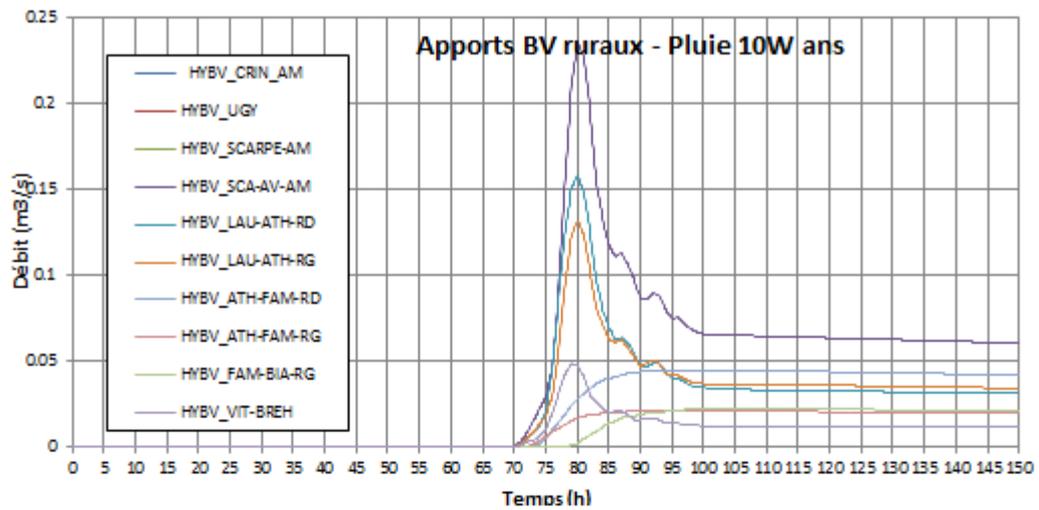
QMS		QMV		RGZ				QMTR			
RGZ	Désignation du RGZ	Cote radier fenêtre (ngl)	Cote voute fenêtre (ngl)	Largeur vanne (m)	Coeff. Vanne en régime dénoyé	Coeff. Vanne en régime noyé	Type actions vanne	Cote butée vanne en position basse (ngl)	Cote butée vanne en position haute (ngl)	Vitesse de déplacement de la vanne (cm/s)	Id. point de consigne
1	RGZ_Laurent	51.53	54.00	6.40	0.60	0.60	1: Vanne à effacement vers le bas	51.53	54.00	0.100	Nod_105
2	RGZ_Athies	49.32	52.00	4.90	0.60	0.60	1: Vanne à effacement vers le bas	49.32	52.00	0.100	Nod_107
3	RGZ_Fampoux	47.55	50.00	5.90	0.60	0.60	1: Vanne à effacement vers le bas	47.55	50.00	0.100	Nod_109
4	RGZ_Biache	44.43	47.00	5.02	0.60	0.60	1: Vanne à effacement vers le bas	44.43	47.00	0.100	Nod_111
5	RGZ_Vity	42.16	45.00	5.70	0.60	0.60	1: Vanne à effacement vers le bas	42.16	45.00	0.100	Nod_113
6	RGZ_BrebHT	39.25	43.00	5.80	0.60	0.60	1: Vanne à effacement vers le bas	39.25	43.00	0.100	Nod_115
7	RGZ_BrebBT	34.31	38.00	5.20	0.60	0.60	1: Vanne à effacement vers le bas	34.31	38.00	0.100	Nod_117
8	RGZ_Corbehem	30.69	34.00	5.15	0.60	0.60	1: Vanne à effacement vers le bas	30.69	34.00	0.100	Nod_119

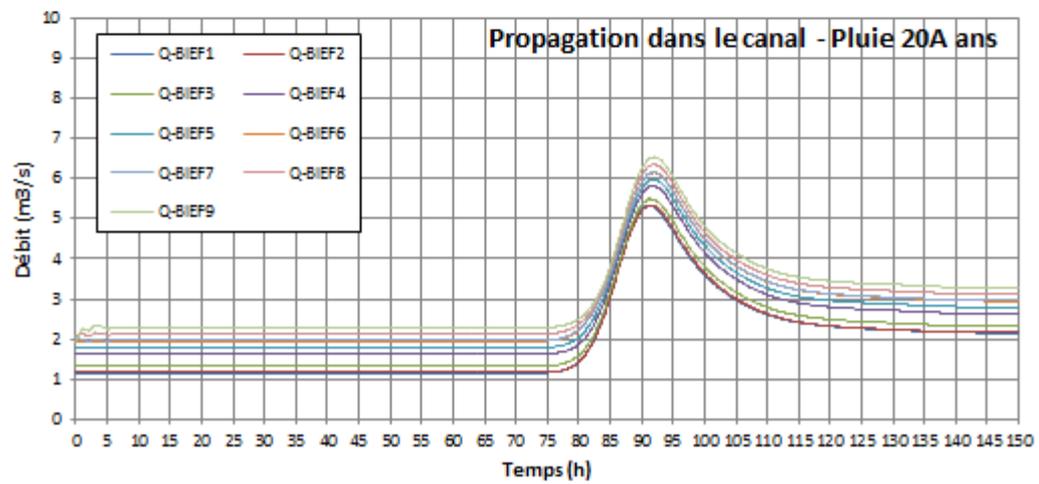
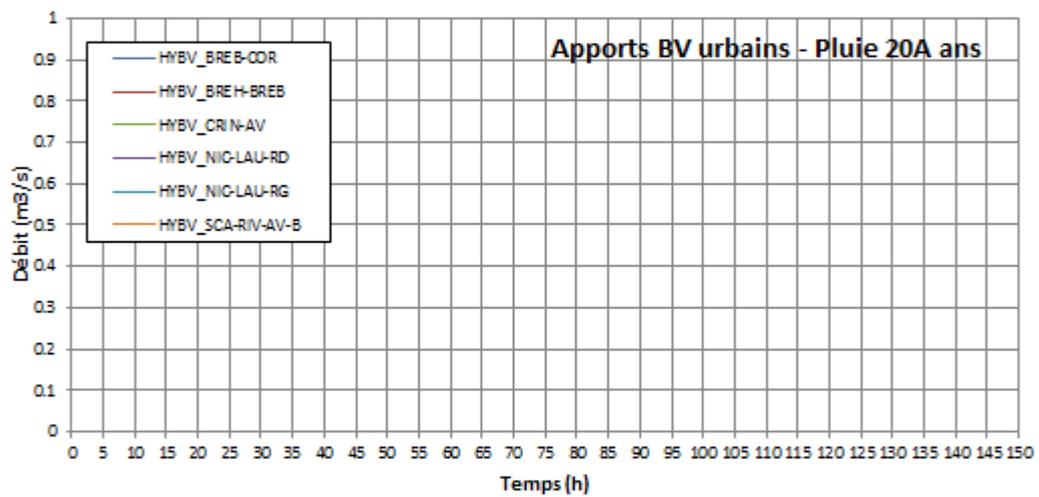
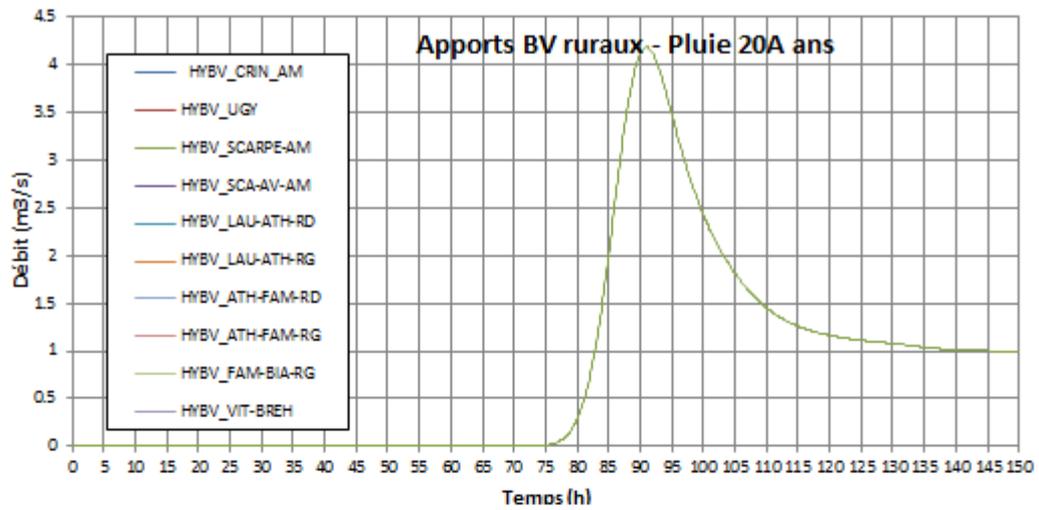
ANNEXE 7

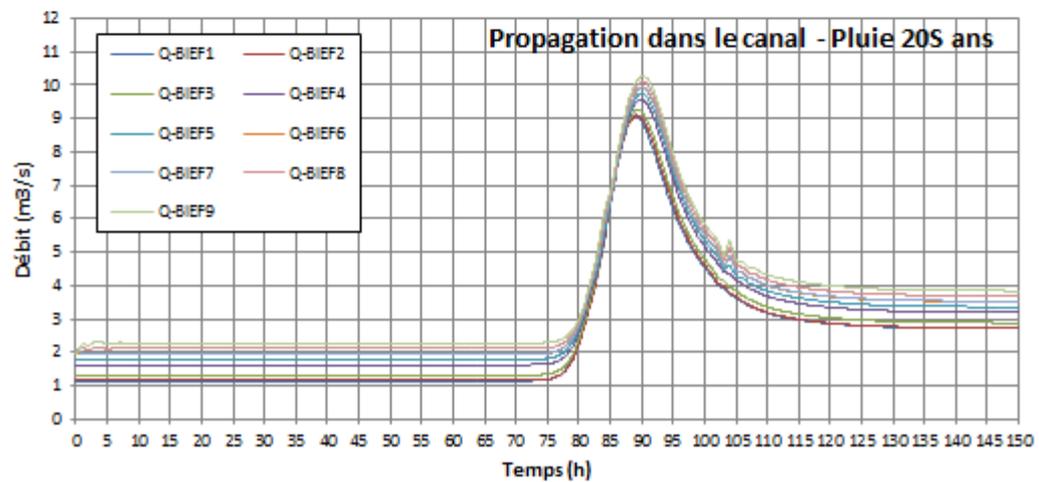
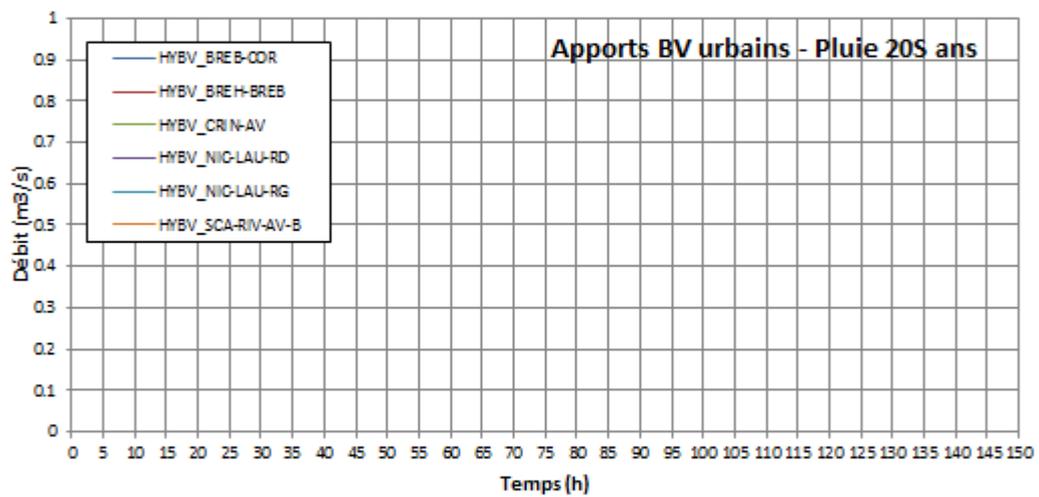
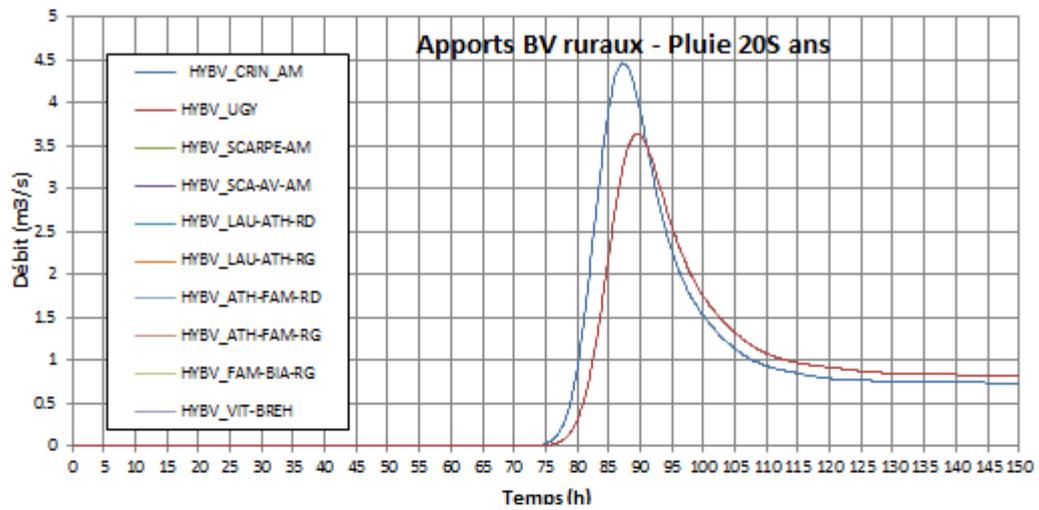
Modélisation pluies d'été

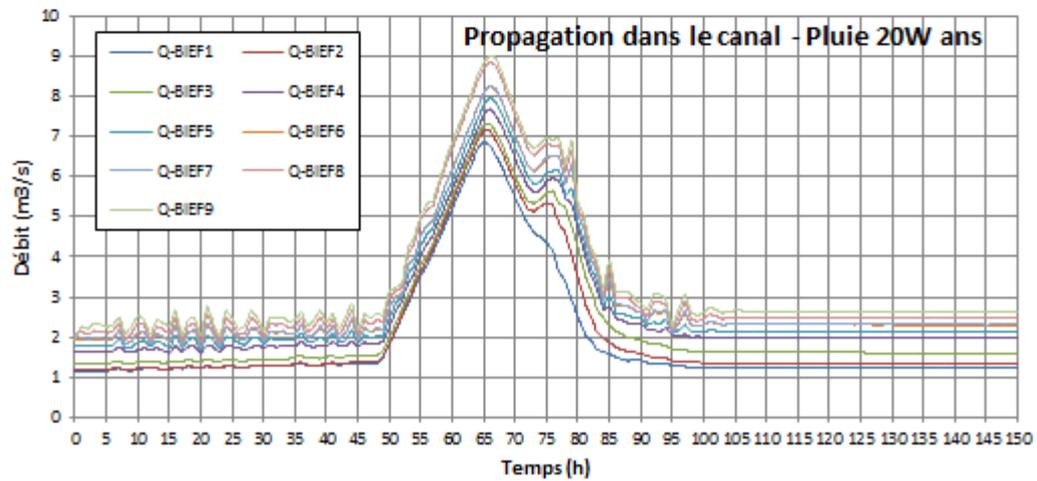
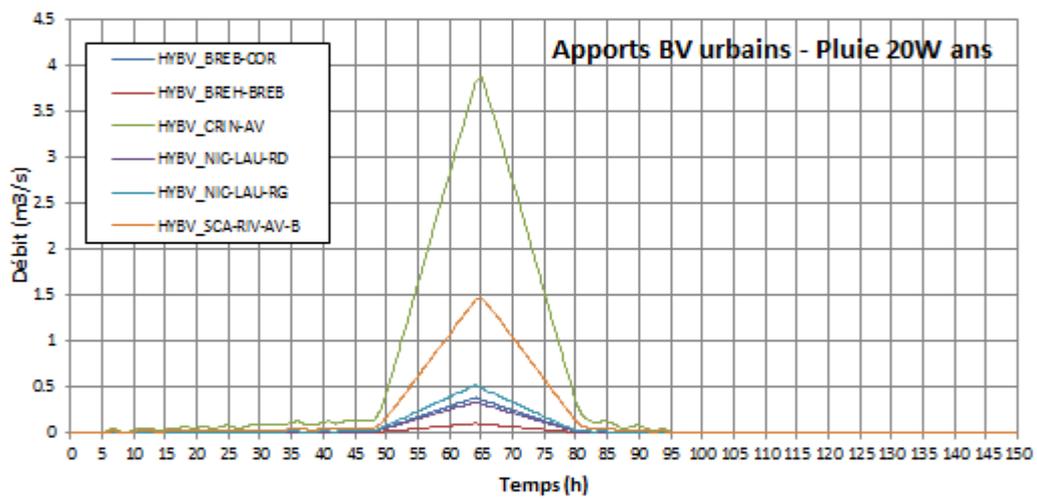
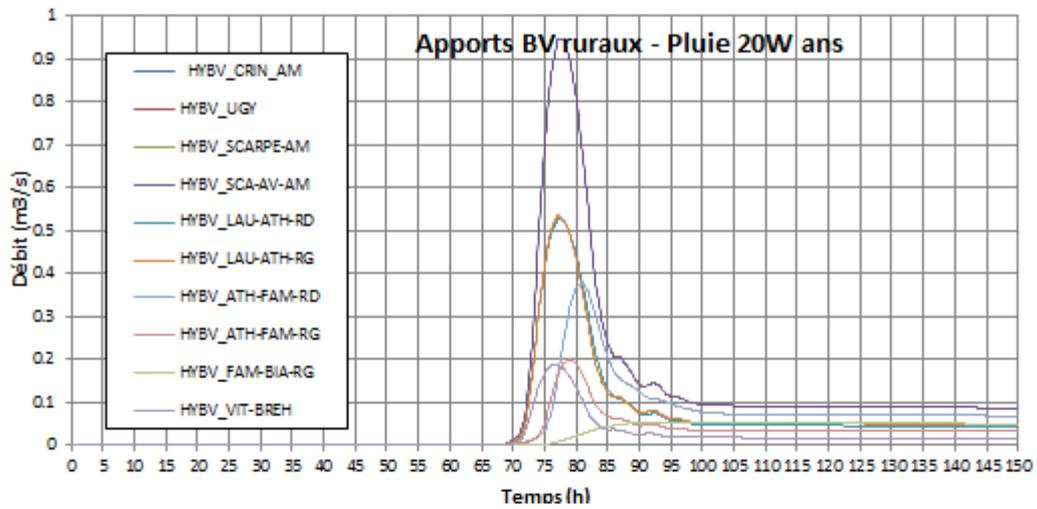


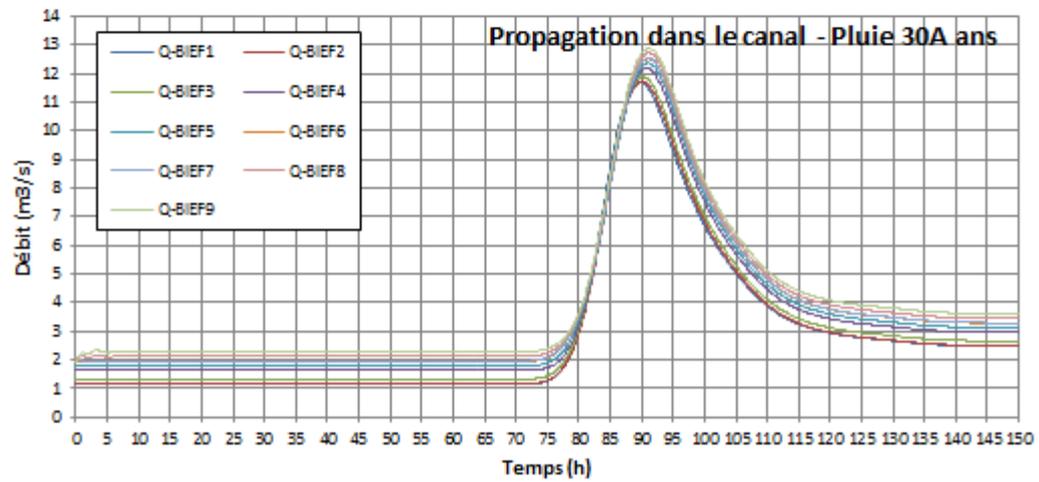
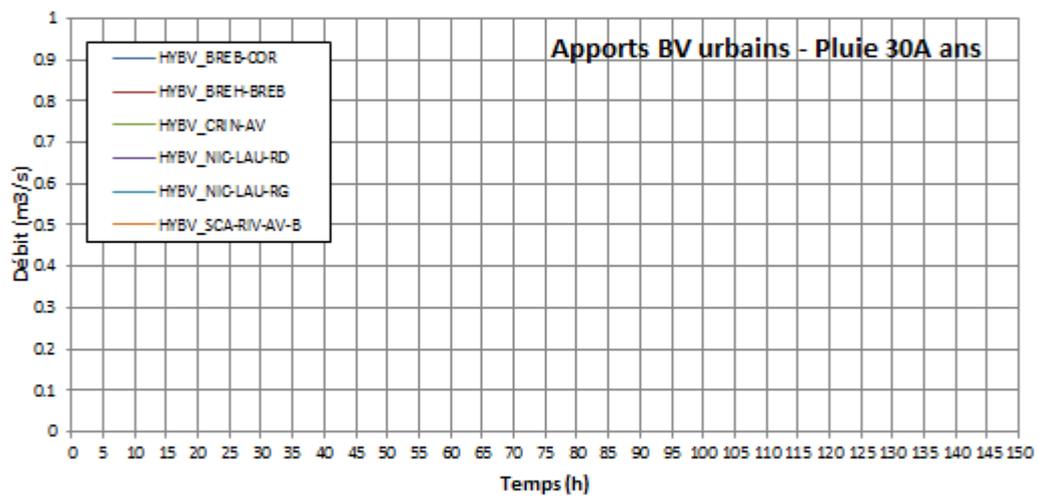
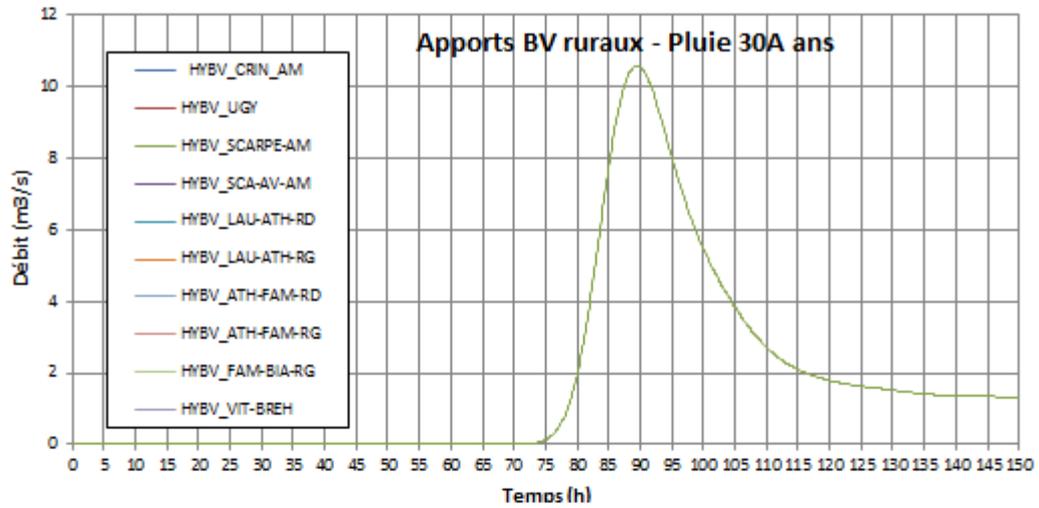


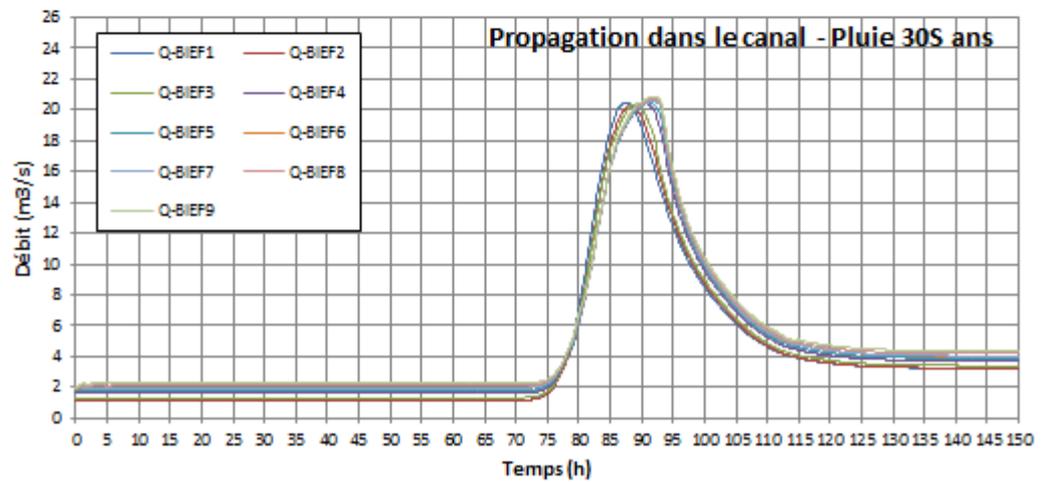
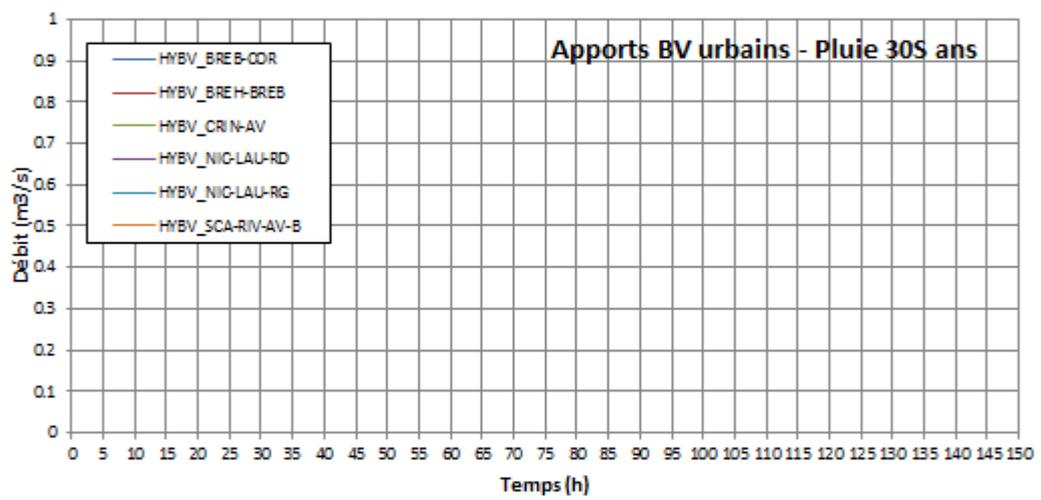
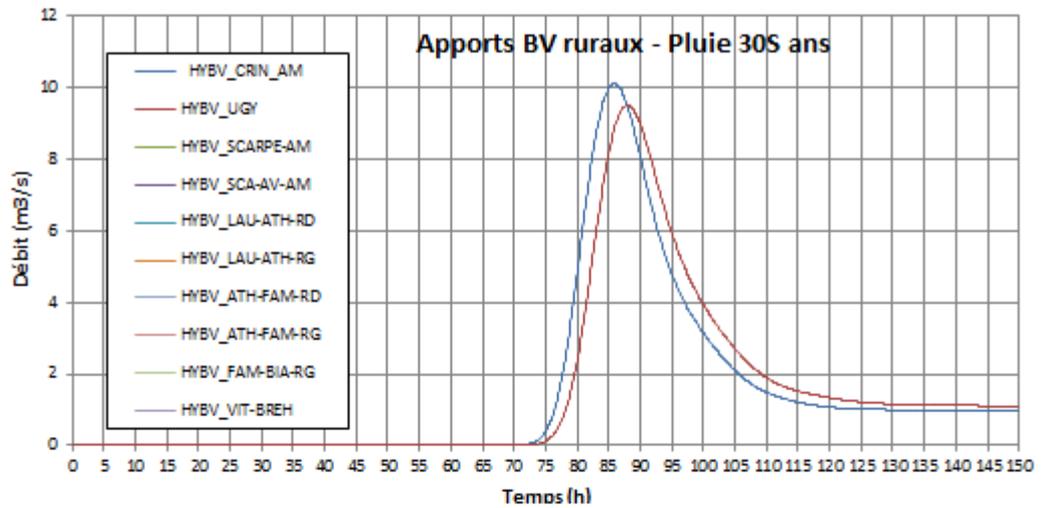


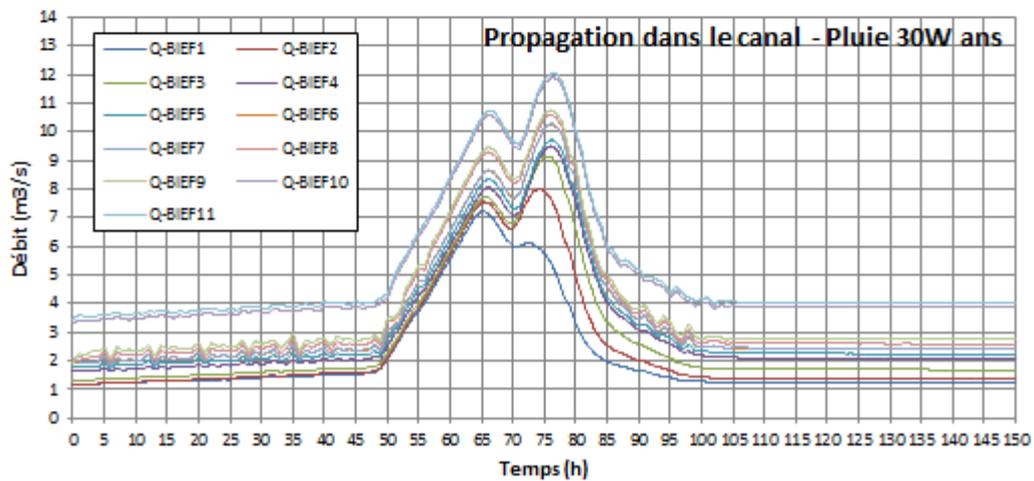
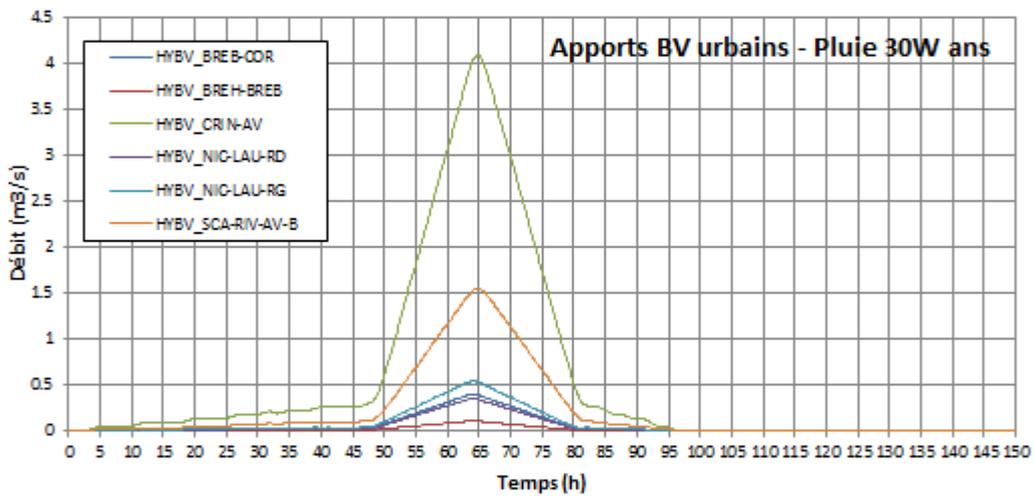
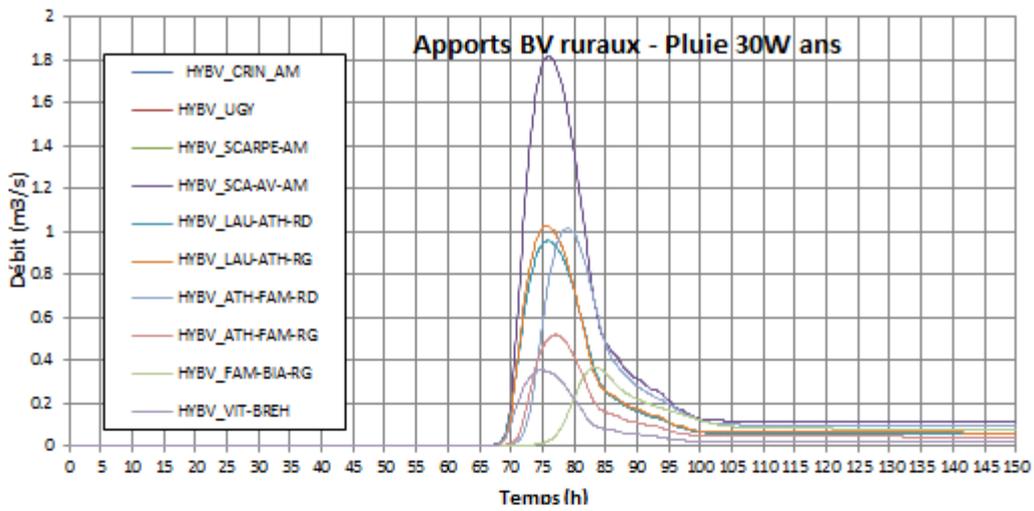


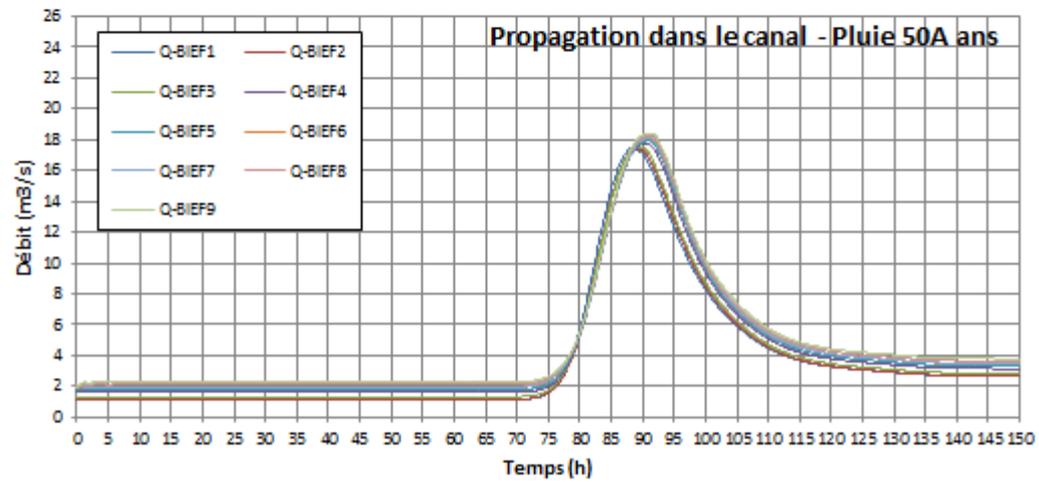
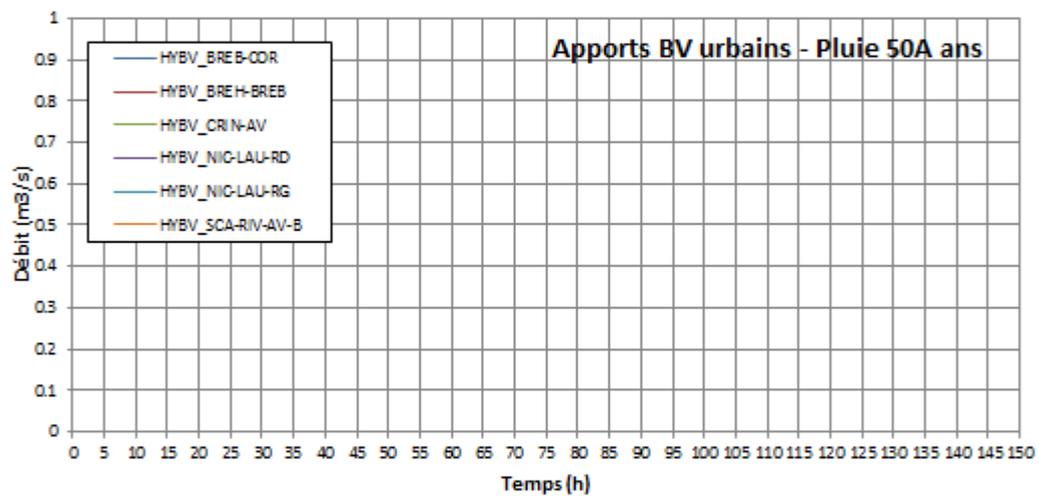
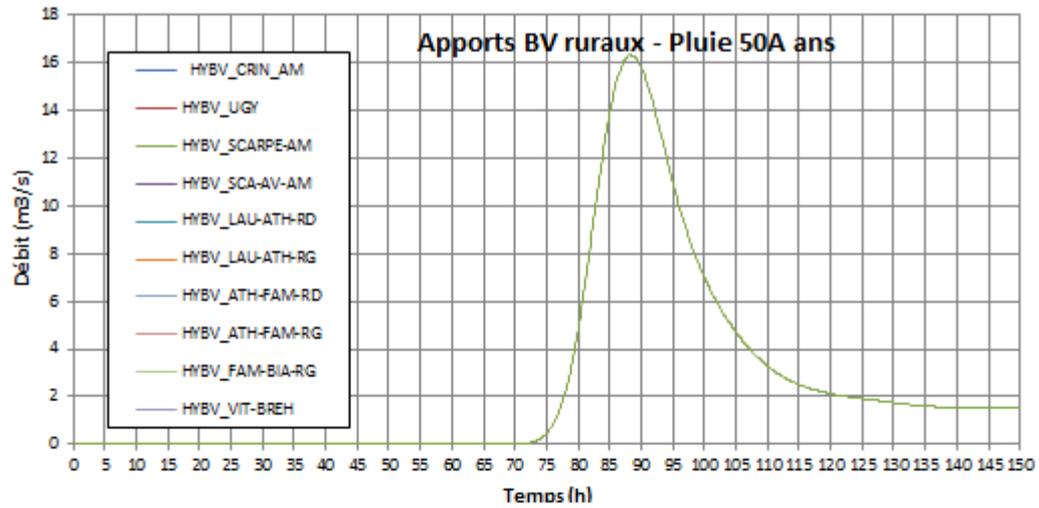


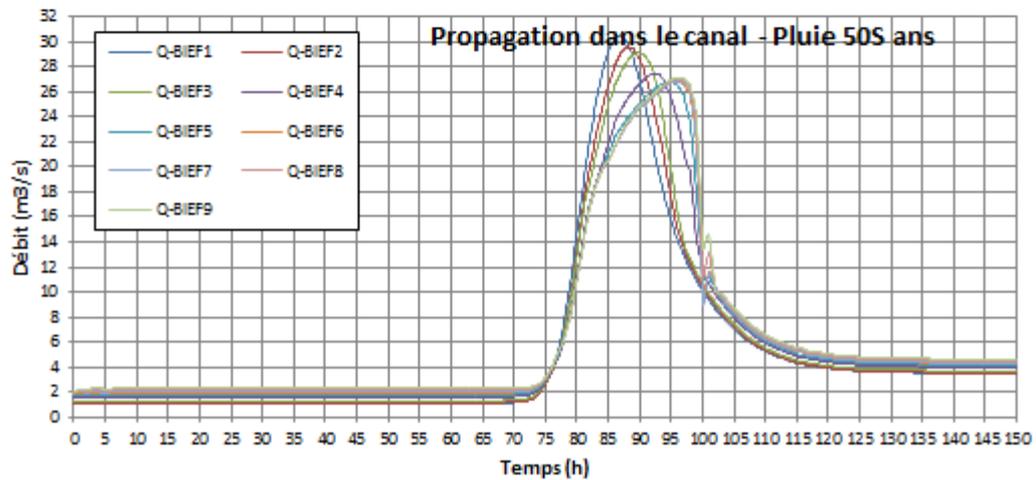
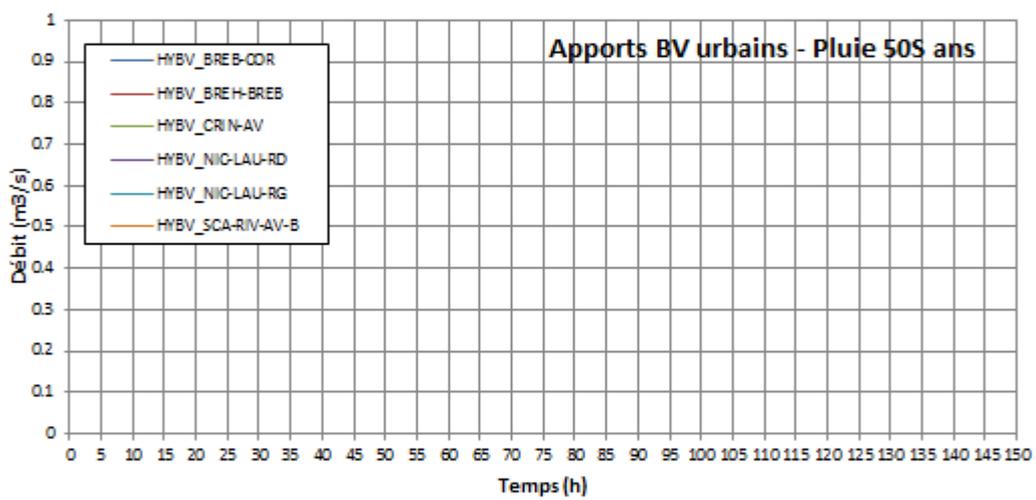
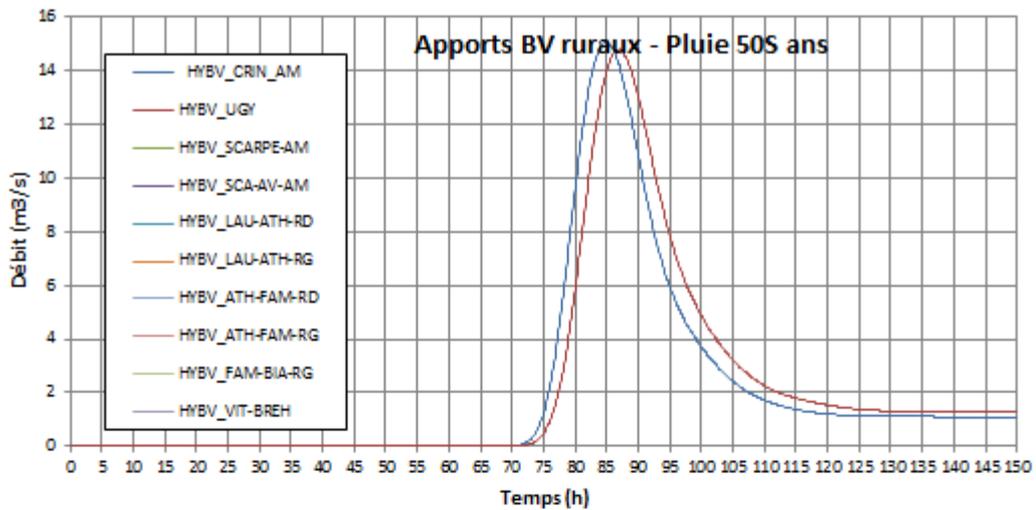


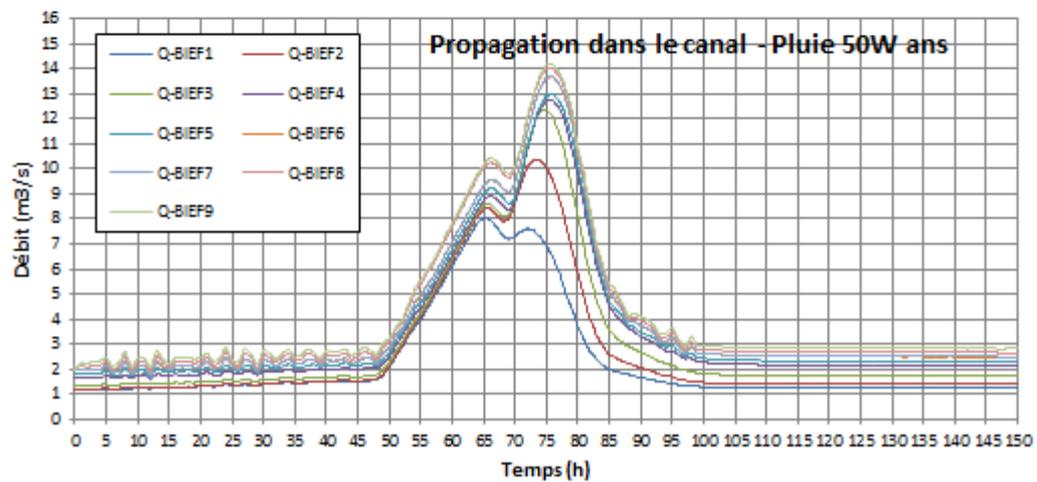
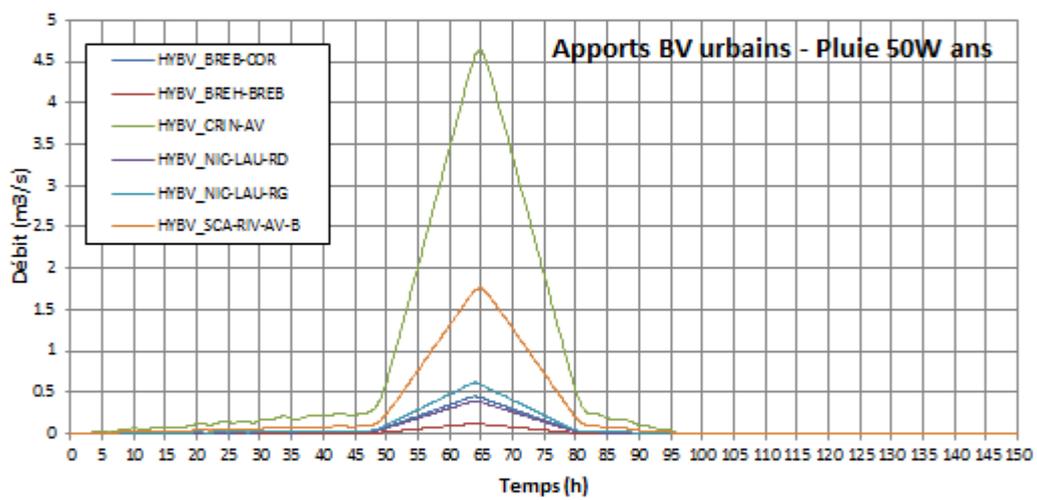
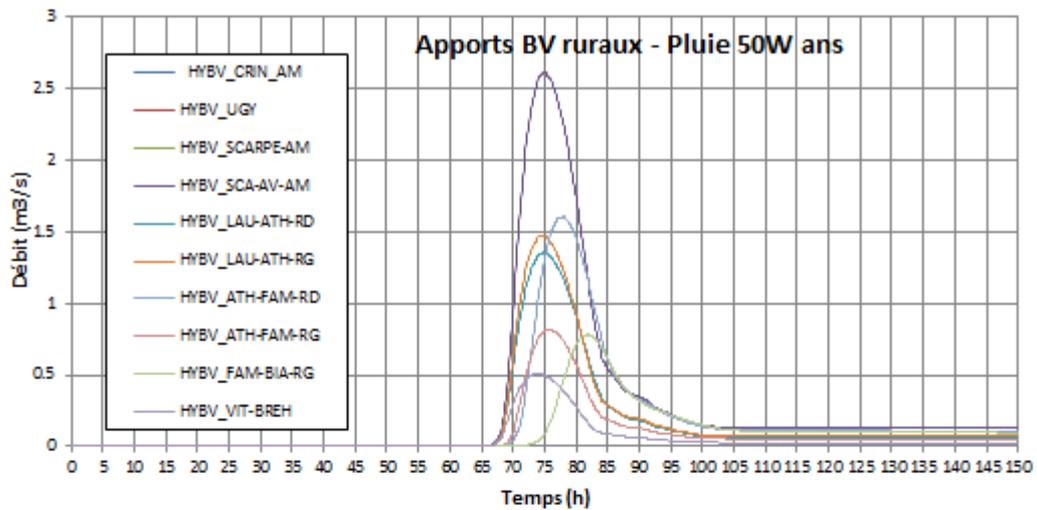


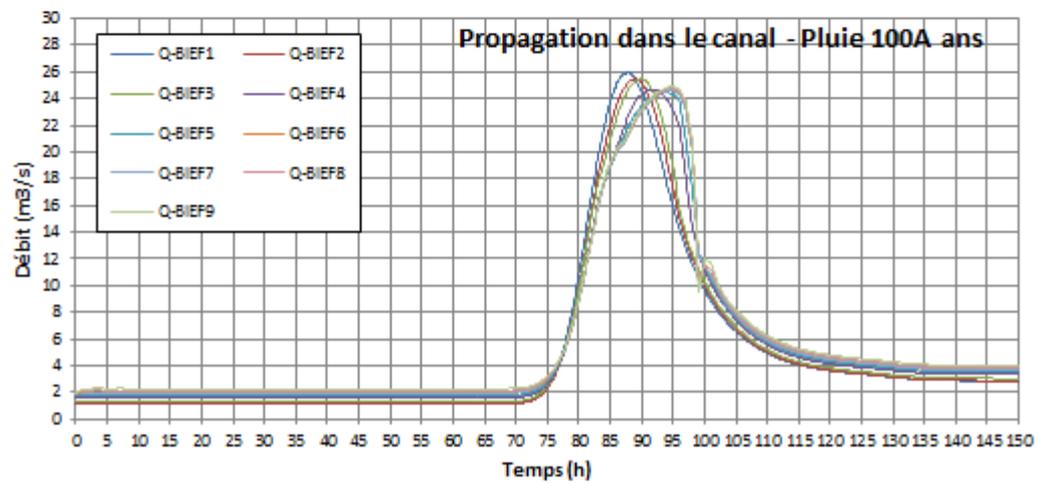
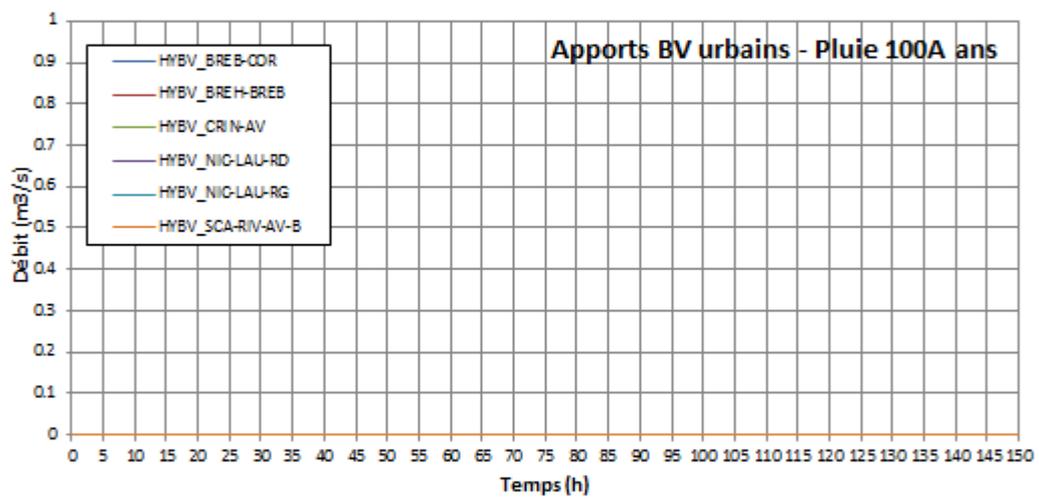
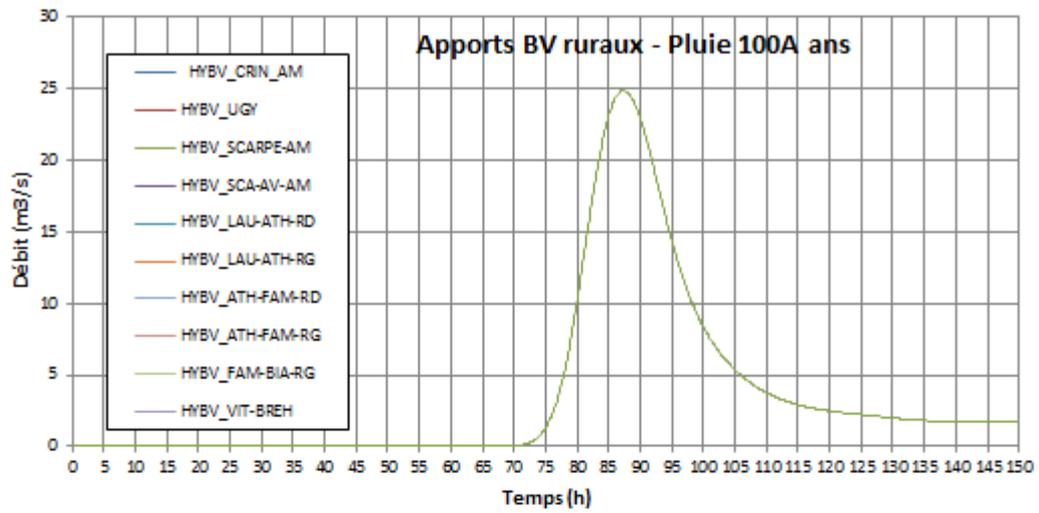


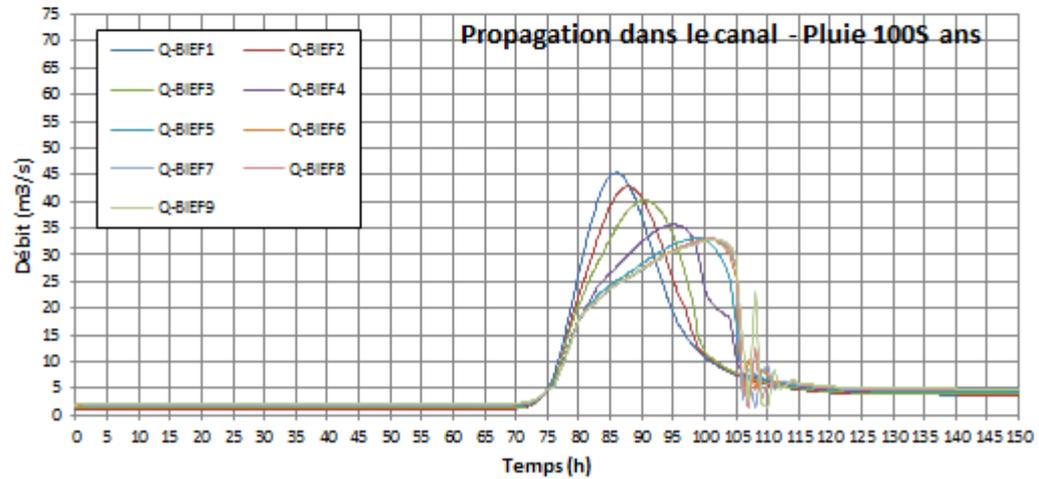
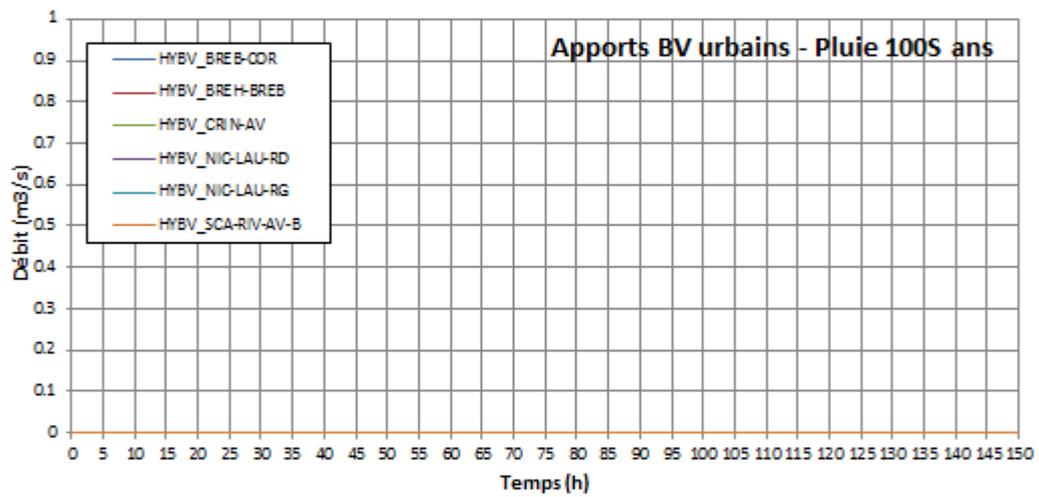
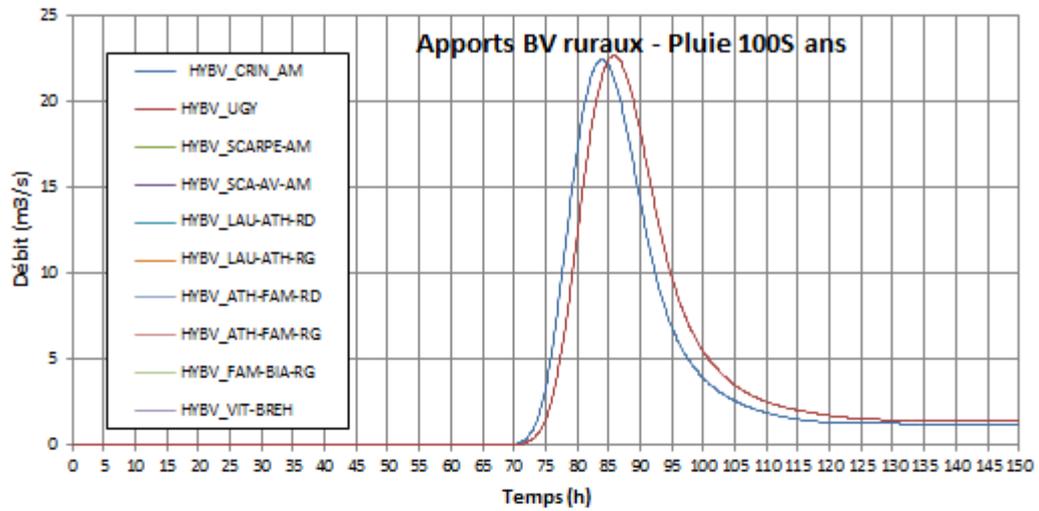


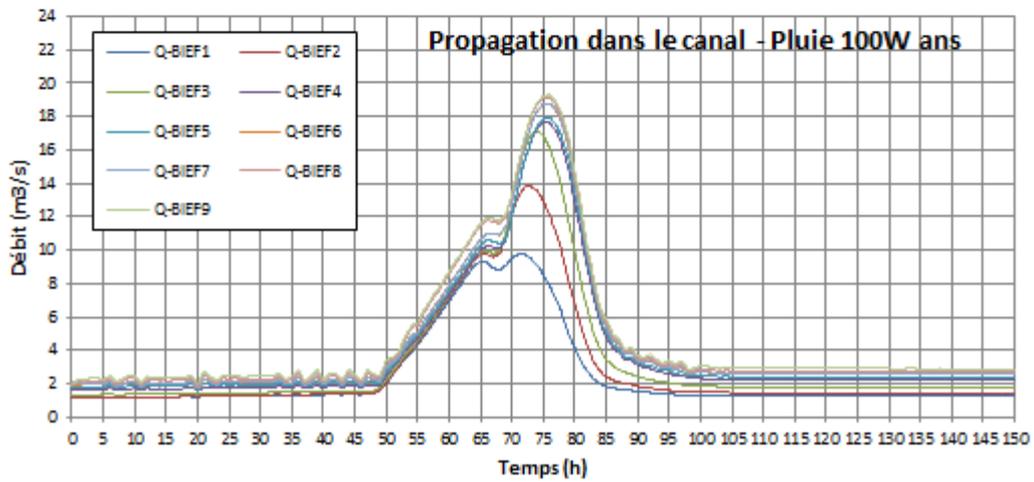
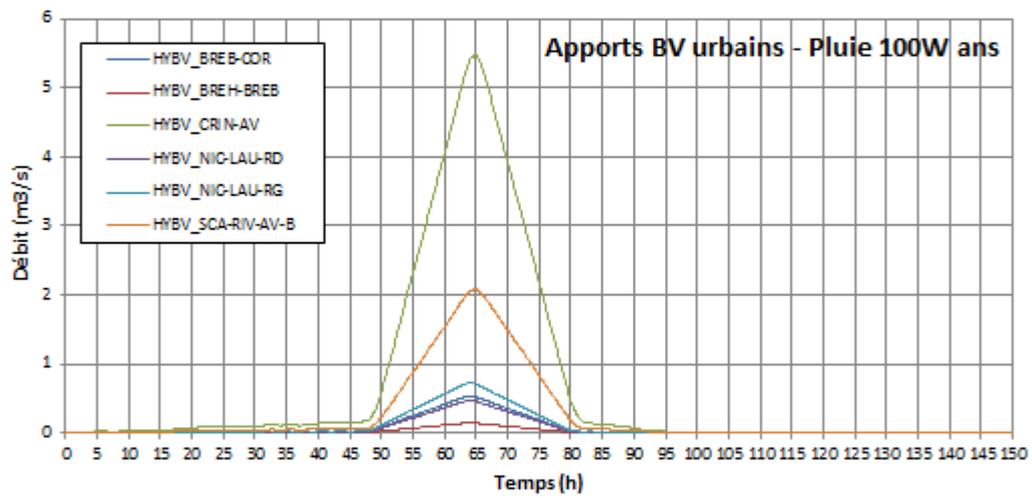
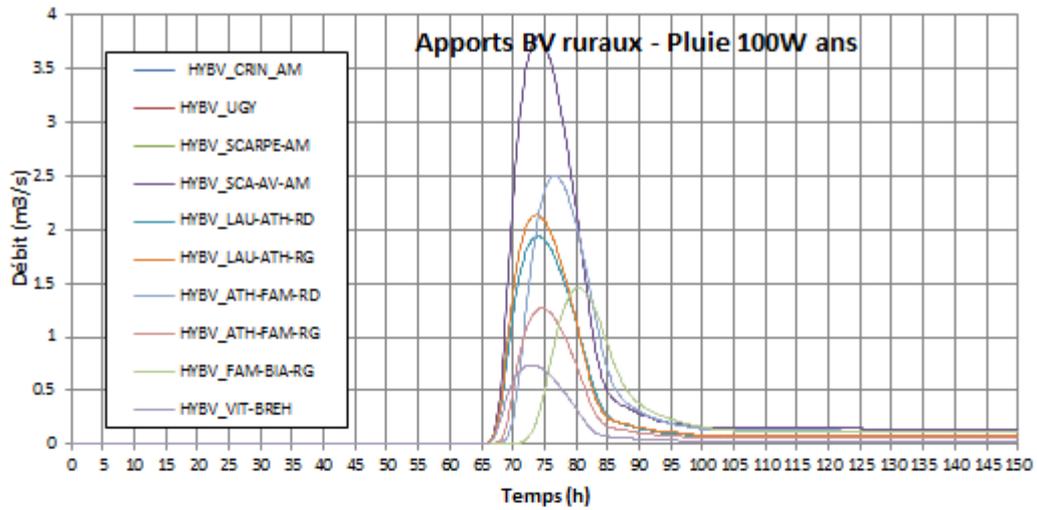


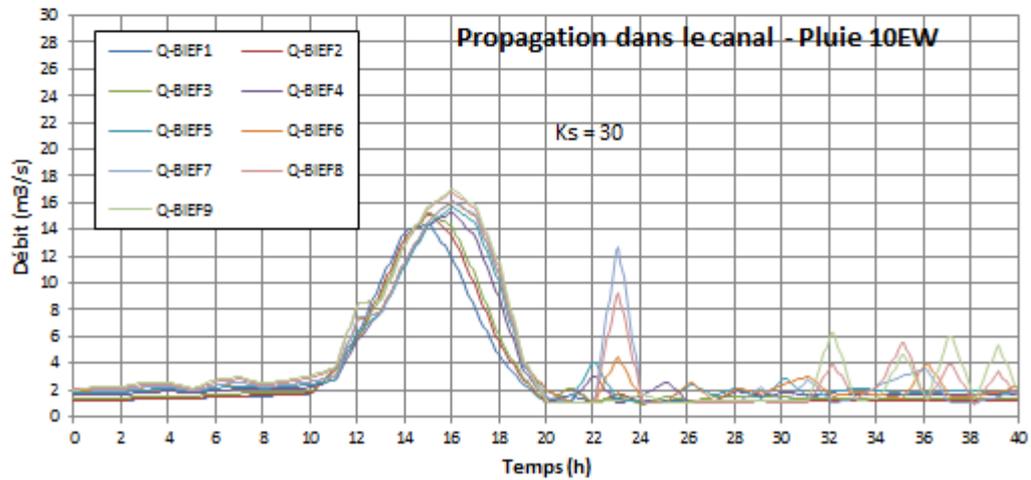
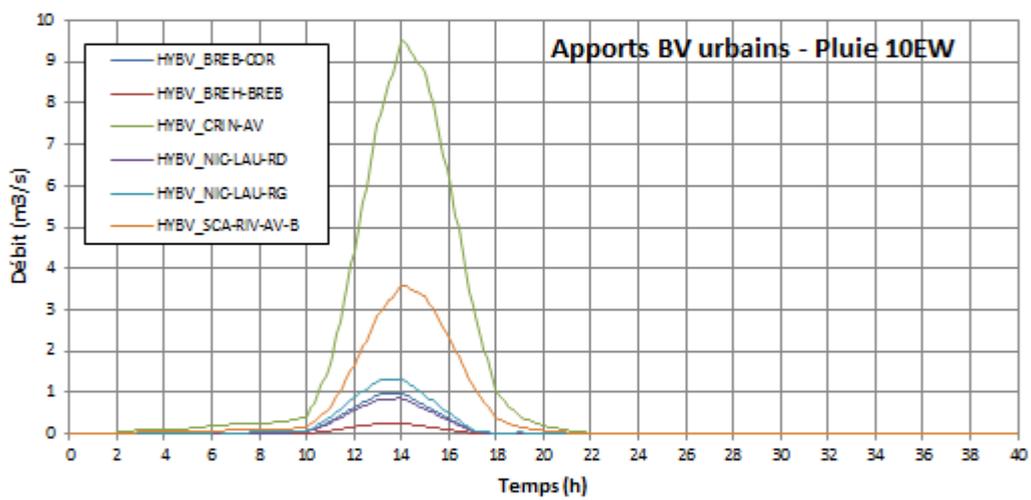
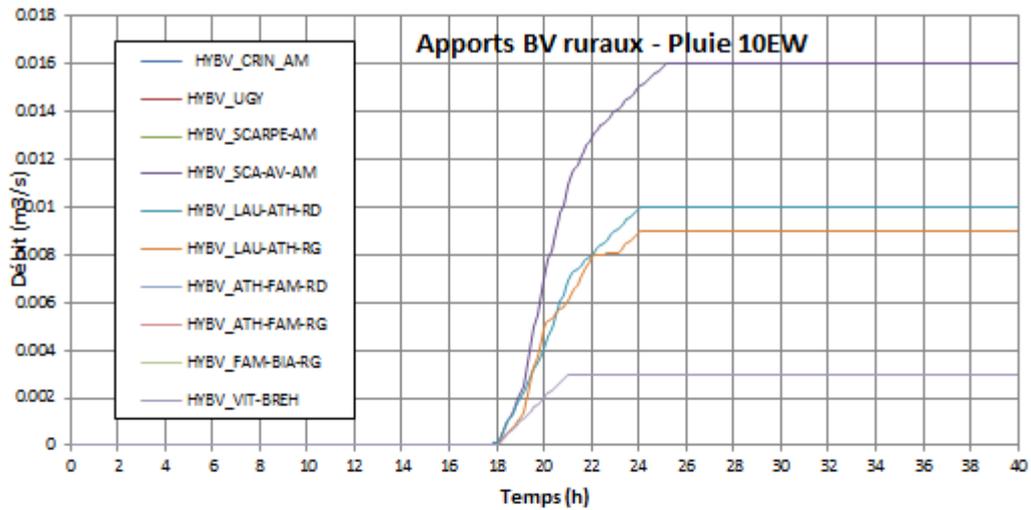


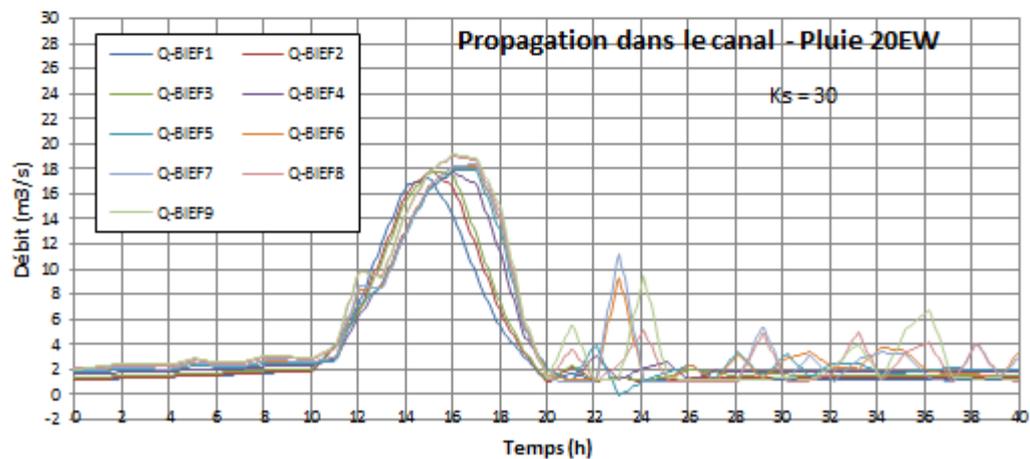
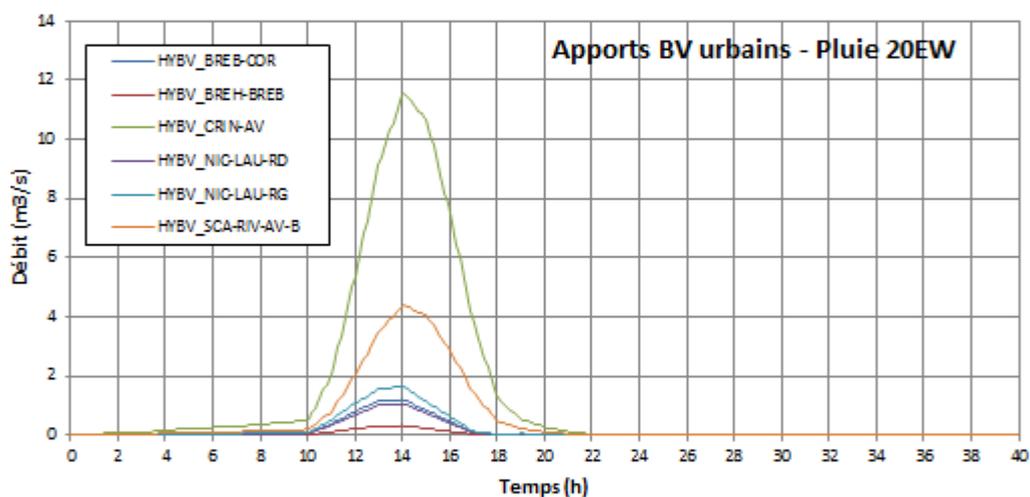
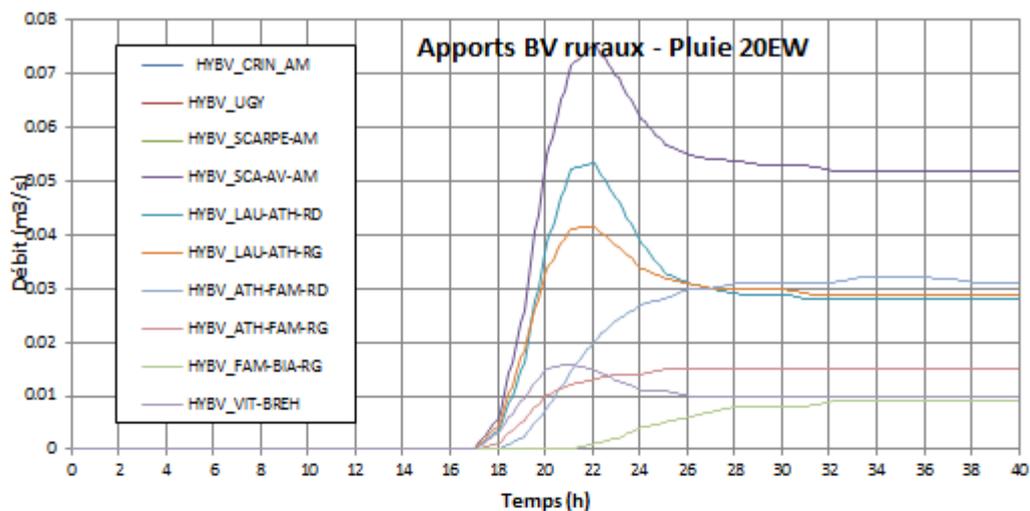


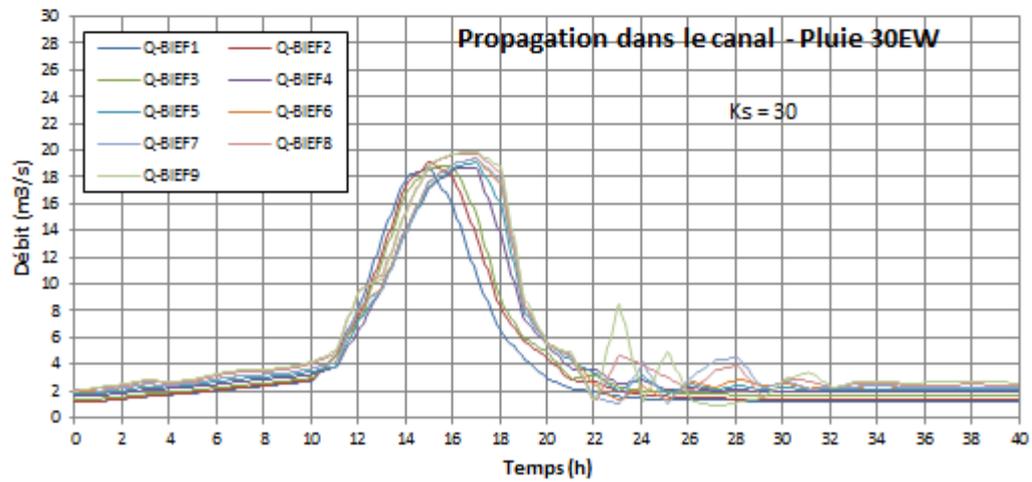
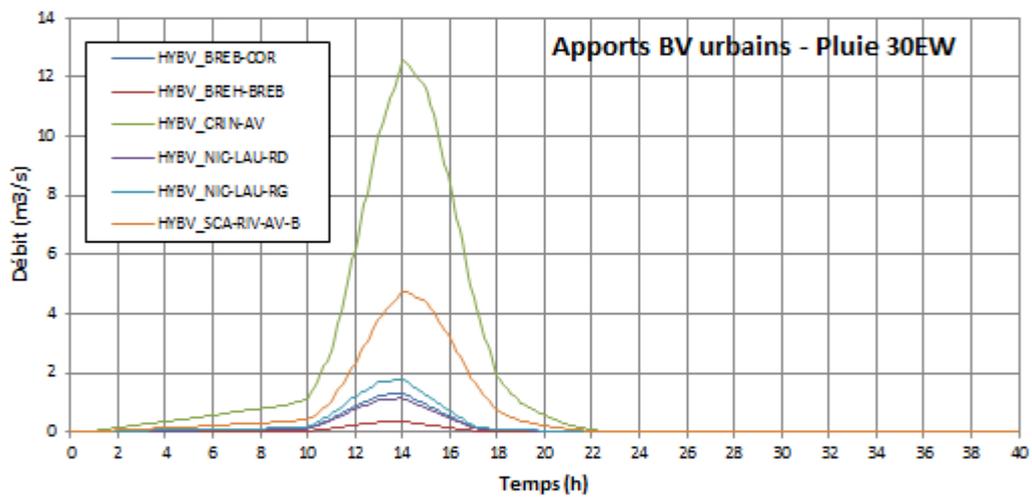
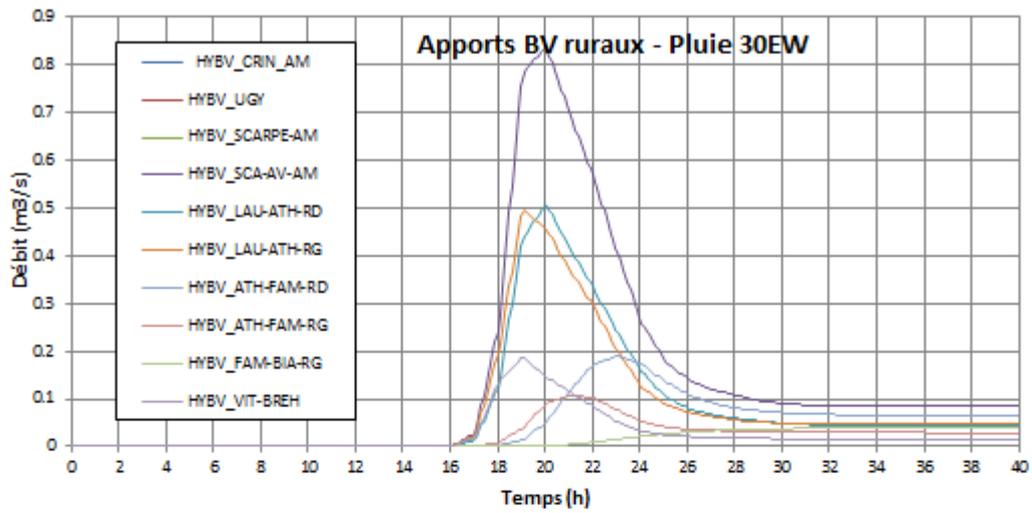


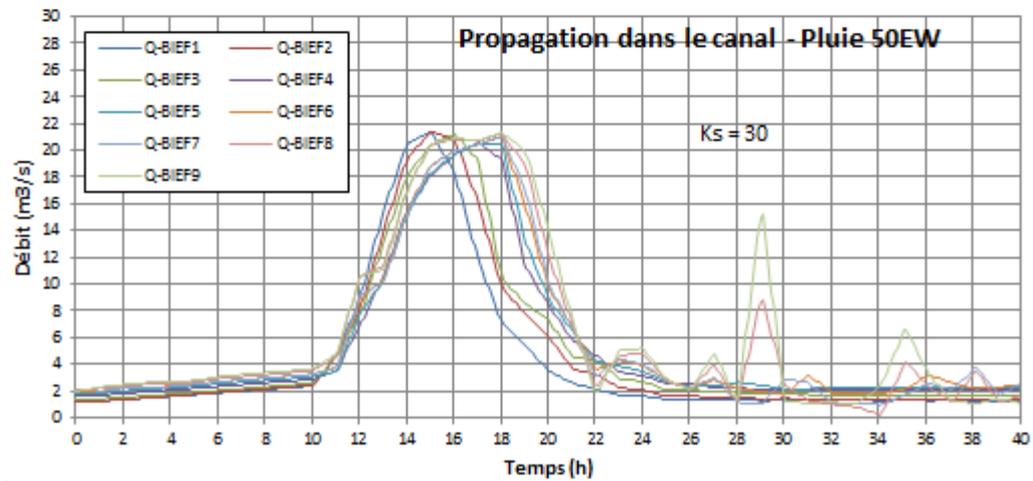
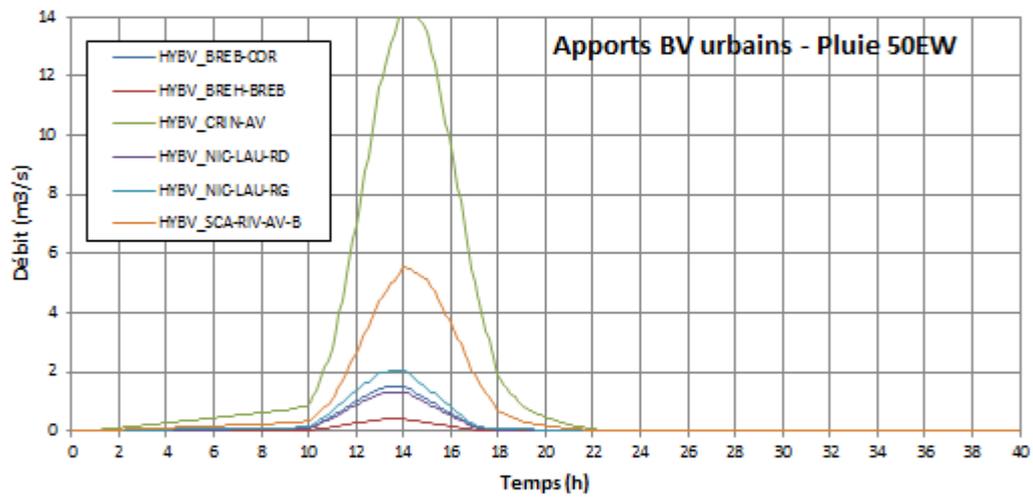
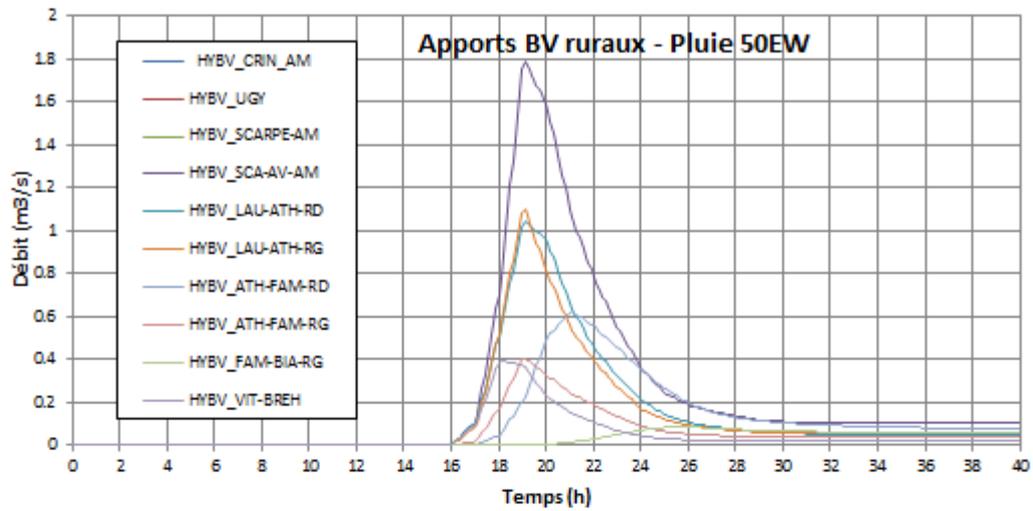


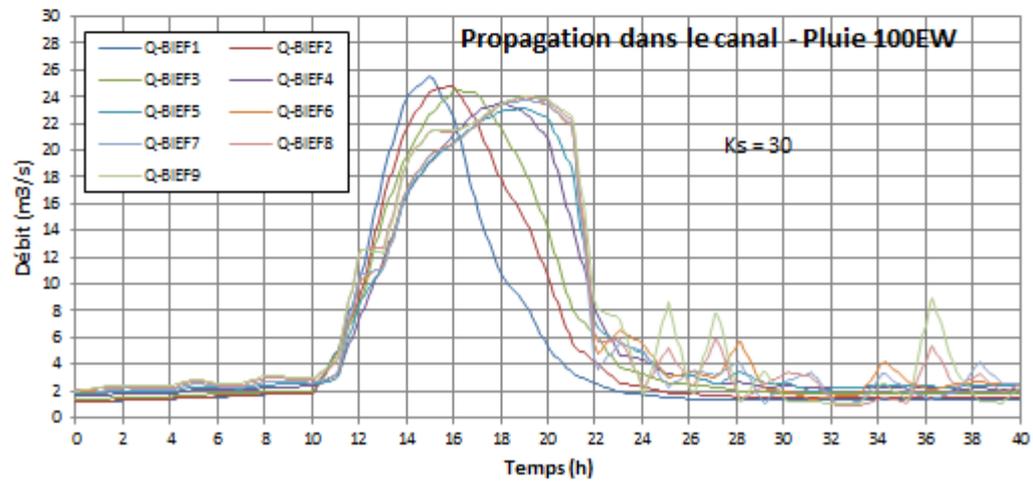
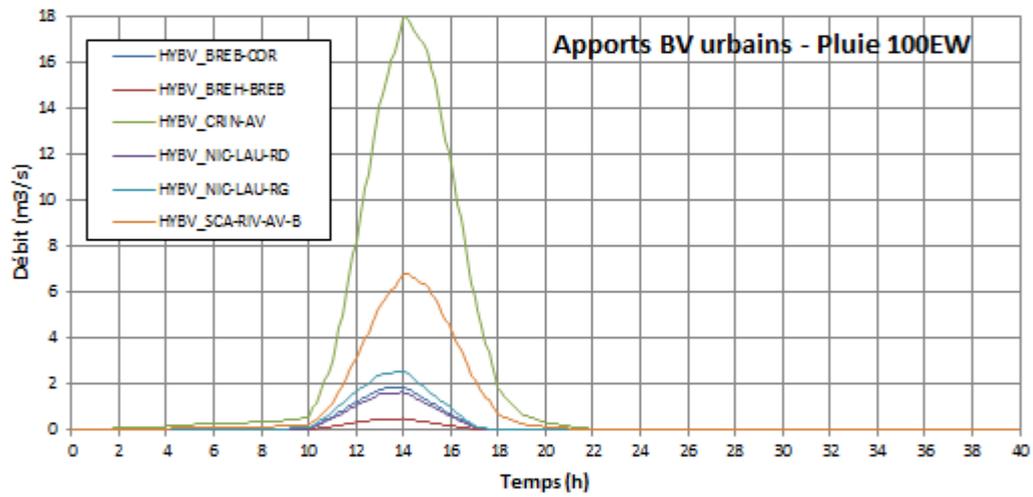
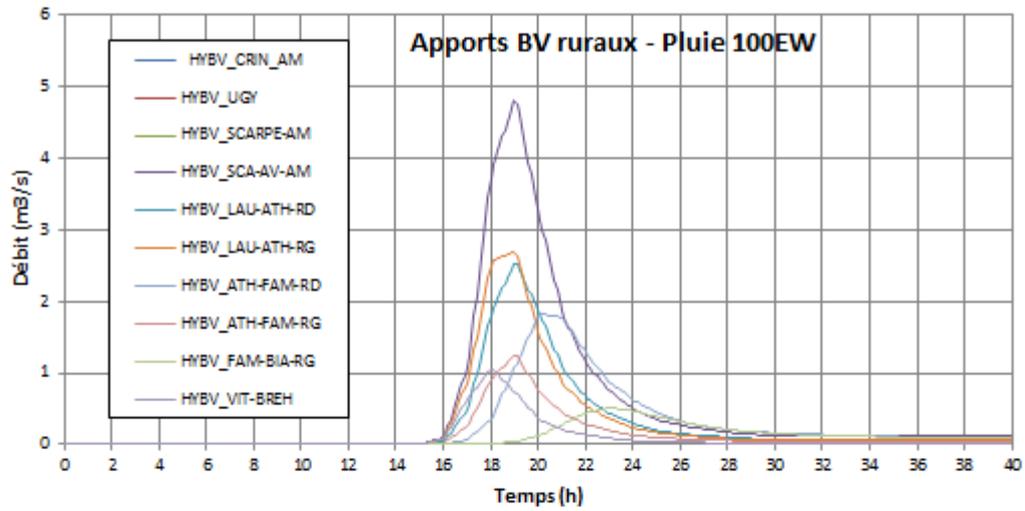












ANNEXE 8

Modélisation pluies d'hiver

