



Maître d'Ouvrage :
Commune de
Clairmarais

Etude hydraulique sur le bassin versant du « Vieux-Fossé », sur les communes de Clairmarais et Arques (62)

Rapport d'étude

13 MARS 2018



➤ **Chargé de projet et rédacteur d'étude à V2R Ingénierie & Environnement :**

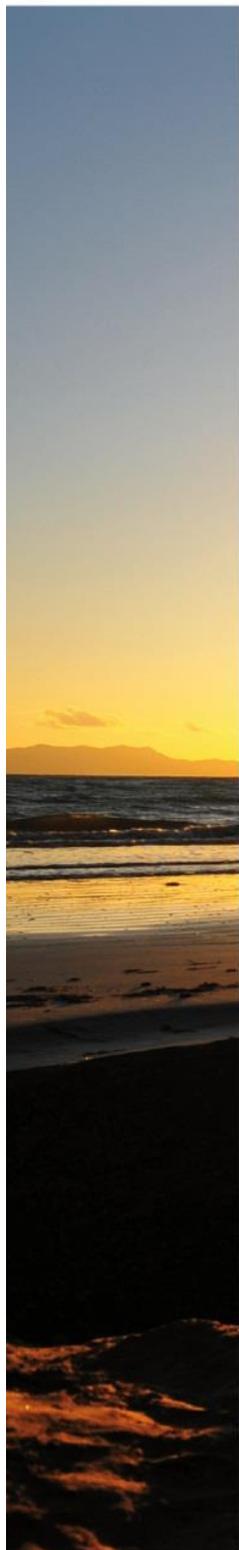
- Mickaël LOOTENS (Supervision d'étude – rédaction)
- Numéro de dossier : 846-01/ENV



INGÉNIERIE & ENVIRONNEMENT

48BIS Route de Desvres
BP950
62280 Saint-Martin-Boulogne Cédex

Tél. : 03 21 10 42 42
Fax. : 03 21 10 42 43
Courriel : contact@v2r.fr



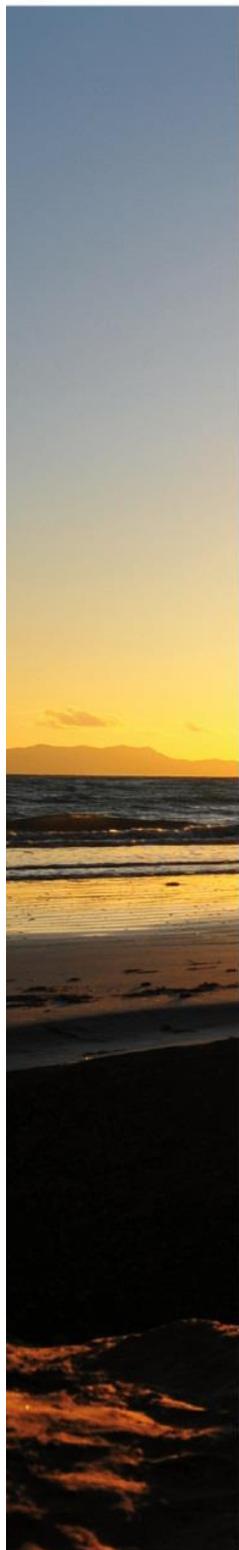
1. NOM DU MAÎTRE D'OUVRAGE	5
2. OBJET DU DOSSIER.....	5
3. DESCRIPTION DES PROBLEMES D'INONDATIONS	7
4. ETAT DES LIEUX GENERAL	9
4.1 Généralités	9
4.2 Topographie	10
4.3 Géologie	11
4.4 Hydrogéologie	13
4.5 Hydrologie	14
4.6 Réseaux d'assainissement pluvial.....	16
4.7 Analyse hydraulique détaillée.....	18
5 CLIMATOLOGIE.....	24
5.1 Généralités	24
5.2 Données statistiques pluviométriques utilisées sur le secteur étudié	25
5.3 Pluviométrie de juin 2016	26
5.4 Analyse pluviométrique détaillée sur Saint-Omer du 17 juin 2016, faite par Météo France.....	30
5.5 Evolution des pluies depuis 20 ans	32
5.6 Perspectives liées au changement climatique.....	37
6 ANALYSE DE L'OCCUPATION DES SOLS.....	40
6.1 Analyse des données Corine Land Cover	40
6.2 Analyse détaillée à partir des photographies aériennes (1947, 2005 et 2015).....	46
6.3 Perspectives de développement urbain.....	50
7. ANALYSE HYDROLOGIQUE DETAILLEE / COEFFICIENTS DE RUISSELLEMENTS	56
8. MODELISATION HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE	59
8.1 Méthodologie d'élaboration du modèle.....	59
8.1.1 Généralités sur le modèle utilisé.....	59
8.1.2 Données techniques utilisées pour la construction du modèle d'écoulement	61
8.1.3 Données pluviométriques utilisées pour le calage du modèle et pluies de projet	61
8.1.4 Principe de la modélisation hydrologique.....	62
8.1.5 Principe de la modélisation hydraulique	63
8.1.6 Risques d'erreur et paramètres de calage	64
8.2 Construction du modèle.....	64
8.3 Résultats de la modélisation.....	70
9. PROPOSITIONS D'AMENAGEMENTS	79
9.1 Aménagements proposés : recalibrage du Vieux-Fossé	79
9.2 Autre aménagement proposé en complément : rétention en amont.....	87
9.3 Estimation du coût des aménagements proposés et efficacité associée.....	91
10. SYNTHESE ET CONCLUSION	92

LISTE DES DOCUMENTS

LISTE DES DOCUMENTS :

Document n° 1 : Localisation du secteur du « Rossignol » à Clairmarais et Arques	5
Document n° 2 : Définition du périmètre d'études	6
Document n° 3 : zone inondable au lieu dit « le Rossignol »	7
Document n° 4 : Délimitation des sous-bassins versants topographiques à étudier	9
Document n° 5 : Topographie au sein du bassin versant du Vieux-Fossé.....	10
Document n° 6 : Carte géologique au 1/50000 ^{ème} sur le secteur d'études (BRGM).....	11
Document n° 7 : Masses d'eau souterraines et objectifs de qualité inscrits au S.D.A.G.E. (extrait du S.D.A.G.E.)	13
Document n° 8 : Bassin versant du Vieux-Fossé : masse d'eau de surface (extrait du S.D.A.G.E.)	14
Document n° 9 : Classement en « cours d'eau » du Vieux-Fossé par la DDTM.	15
Document n° 10 : Extrait du plan de réseaux d'assainissement : zoom sur le secteur étudié (source : Véolia Eau).	16
Document n° 11 : Extrait du plan de réseaux d'assainissement sur les sous-bassins versants pluviaux étudiés (source : Véolia Eau).	17
Document n° 12 : Réseau hydraulique, état des lieux - extrait en amont de la voie ferrée.....	18
Document n° 13 : Réseau hydraulique, état des lieux – extrait « la Grosse Borne »	19
Document n° 14 : Réseau hydraulique, état des lieux – extrait en amont du « Rossignol »	20
Document n° 15 : Réseau hydraulique, état des lieux – extrait en aval du bassin versant	21
Document n° 16 : Réseau hydraulique, état des lieux – extrait en aval du bassin versant, suite	22
Document n° 17 : Réseau hydraulique, état des lieux – extrait en aval du bassin versant, suite et fin	23
Document n° 18 : Diverses zones climatiques du Nord-Pas-de-Calais.....	24
Document n° 19 : Coefficients de Montana applicables au secteur d'études (source : Météo France).....	25
Document n° 20 : Diagramme climatique d'Armentières en 2016 (source : infoclimat)	26
Document n° 21 : Diagramme climatique d'Armentières en juin 2016 (source : infoclimat).....	27
Document n° 22 : Pluviométrie du 17 juin 2016 à Armentières	27
Document n° 23 : Echos radar du 17 juin 2016 à 15h15 sur les Hauts-de-France	29
Document n° 24 : Analyse radar de l'événement du 17 juin 2016 à Saint-Omer (source : Météo France, lame d'eau « Antilope »).	31
Document n° 25 : Evolution des cumuls mensuels à Lille-Lesquin depuis 1998.....	32
Document n° 26 : Evolution des cumuls maximum sur 24 heures à Lille-Lesquin depuis 1998.	33
Document n° 27 : Evolution des cumuls maximum sur 5 jours glissants à Lille-Lesquin depuis 1998.	34
Document n° 28 : Evolution des fréquences d'apparition de pluies modérées à Lille-Lesquin depuis 1998.	35
Document n° 29 : Evolution des fréquences d'apparition de pluies intenses à Lille-Lesquin depuis 1998.	36
Document n° 30 : Projection d'indicateurs climatiques – précipitations annuelles (source : Météo France).....	39
Document n° 31 : Présentation du Corine Land Cover	40
Document n° 32 : Occupation des sols en 1990 (source : Corine Land Cover).	41
Document n° 33 : Occupation des sols en 2000 (source : Corine Land Cover).	42

Document n° 34 : Occupation des sols en 2012 (source : Corine Land Cover).....	43
Document n° 35 : Extrait du plan de réseaux d'assainissement sur le secteur urbanisé du Haut-Arques (source : Véolia Eau).....	44
Document n° 36 : Principaux types d'occupation du sol en 1990 – 2000 - 2012, répartition au sein du bassin versant du Vieux-Fossé.....	45
Document n° 37 : Orthophotoplan datant de 1947 sur le secteur étudié.....	46
Document n° 38 : Orthophotoplan datant de 2005 sur le secteur étudié.....	47
Document n° 39 : Orthophotoplan datant de 2015 sur le secteur étudié.....	48
Document n° 40 : Extrait de l'étude d'impact du projet « Serres des Hauts-de-France » (« Tomabel ») – Thierry Challon, 2015.....	50
Document n° 41 : Extrait du plan d'assainissement de la PMAA, partie Nord (source : V2R, 2017).....	52
Document n° 42 : Localisation des développements urbains en cours de réalisation (Tomabel et PMAA).....	53
Document n° 43 : Evolution de l'occupation des sols sur le bassin versant jusqu'à court terme.....	54
Document n° 44 : Localisation des levés topographiques réalisés en 2018 par INGEO.....	60
Document n° 45 : Pluies utilisées dans le modèle hydrologique.....	62
Document n° 46 : Schéma de modélisation du bassin versant du Vieux-Fossé à l'état actuel..	65
Document n° 47 : Schéma de modélisation du bassin versant du Vieux-Fossé, zoom sur le secteur aval.....	66
Document n° 48 : Schéma de modélisation du bassin versant du Vieux-Fossé, profil en long du secteur aval.....	67
Document n° 49 : Découpage en sous-bassins versants et coefficients de ruissellement associés – à l'état actuel.....	68
Document n° 50 : Découpage en sous-bassins versants et coefficients de ruissellement associés – à l'état futur.....	69
Document n° 51 : Niveaux d'eau atteints pendant les crues au niveau du Rossignol.....	70
Document n° 52 : Synoptique des débits caractéristiques de crues – état actuel.....	72
Document n° 53 : Synoptique des débits caractéristiques de crues – état futur.....	74
Document n° 54 : Surfaces de bassins versants régulés à l'état actuel.....	75
Document n° 55 : Capacités d'écoulements au pont du Rossignol.....	76
Document n° 56 : Capacités d'écoulements au pont de la RD210.....	77
Document n° 57 : Capacités d'écoulements au pont de la rue de Bordeaux.....	78
Document n° 58 : Schéma d'aménagement du nouveau pont au niveau du Rossignol.....	79
Document n° 59 : Schéma d'aménagement du nouveau pont au niveau du Rossignol, fonctionnement de la circulation.....	80
Document n° 60 : Schéma d'aménagement du nouveau pont au niveau de la RD210.....	81
Document n° 61 : Localisation des tronçons du Vieux-Fossé à recalibrer.....	82
Document n° 62 : Exemple de recalibrage du tronçon amont du Vieux-Fossé.....	83
Document n° 63 : Exemple de recalibrage du tronçon aval du Vieux-Fossé.....	84
Document n° 64 : Exemple de berge renforcée par génie végétal (source : AquaTerra).....	85
Document n° 65 : Profil en long au maximum de la crue au niveau du secteur inondable du Rossignol.....	86
Document n° 66 : Sous-bassins versants concernés par la proposition d'optimisation de l'expansion de crue.....	87
Document n° 67 : Proposition de ZEC conditionnelle en amont de la Route Forestière Royale	89



1. NOM DU MAÎTRE D'OUVRAGE



COMMUNE DE CLAIRMARAIS

Mairie

2, Route d'Arques

62 500 CLAIRMARAIS

Tél. : 03 21 38 08 61

Courriel : mairie.clairmarais@free.fr

N°SIREN : 216 202 259 00018

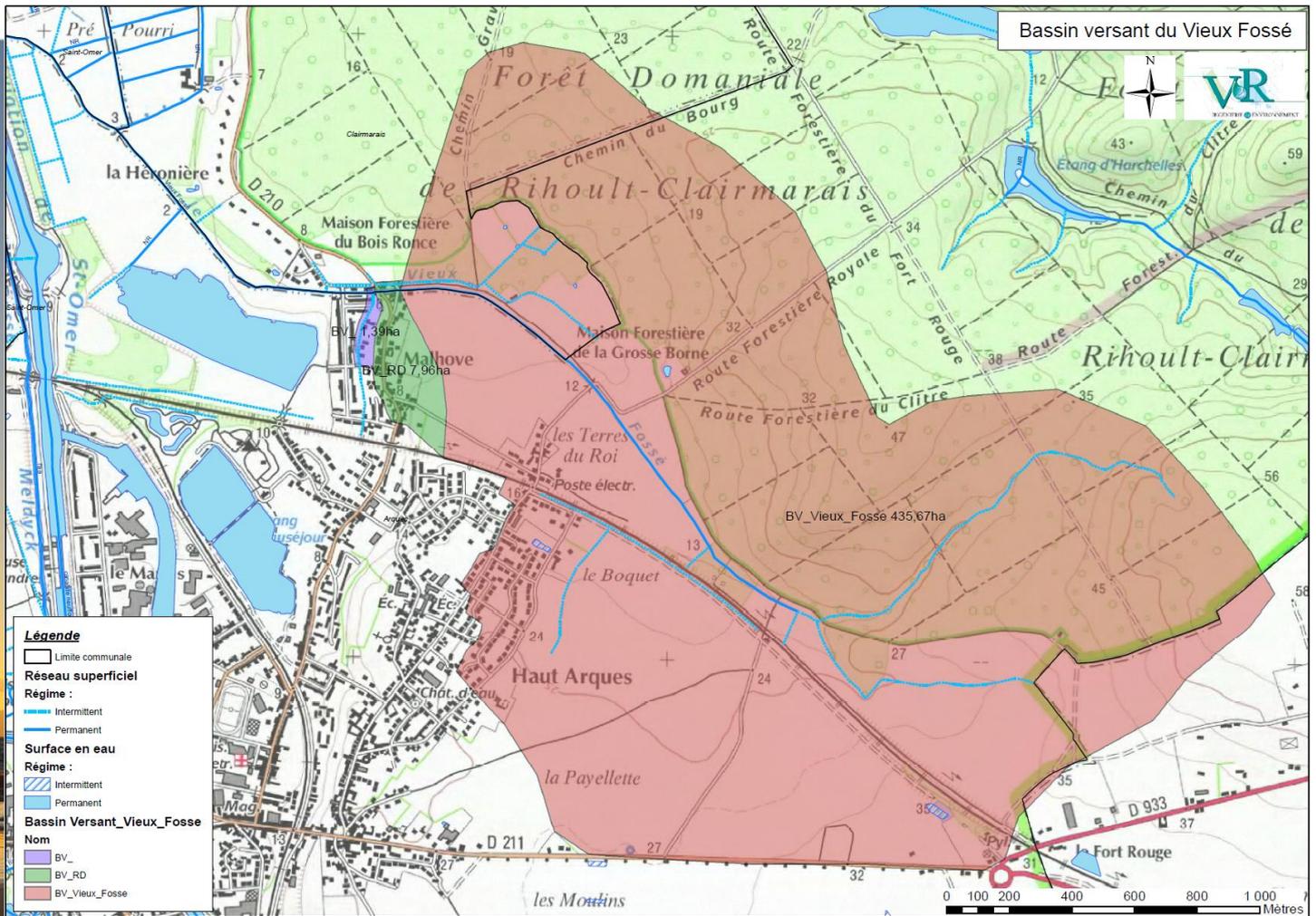
2. OBJET DU DOSSIER

Le présent dossier concerne la réalisation d'une étude hydraulique de lutte contre les inondations du secteur dit « Le Rossignol » à Clairmarais et Arques, au sud-est de la commune de Clairmarais, en lisière de la Forêt Domaniale de Rihoult-Clairmarais :



Document n° 1 : Localisation du secteur du « Rossignol » à Clairmarais et Arques

Le secteur à étudier s'étend au bassin versant entier du cours d'eau traversant le secteur et occasionnant les inondations du « Rossignol », il s'étend donc en amont sur les communes de Clairmarais et Arques. Il s'étend sur environ 4,5 km² :



Document n° 2 : Définition du périmètre d'études

L'étude devra :

- considérer l'ensemble des apports amont (d'origine agricole, routière...),
- prendre en compte les ouvrages hydrauliques existants et projetés,
- identifier les réseaux de collecte des eaux urbaines (fossés, canalisations...) à partir des données existantes et de visite de terrain,
- identifier les désordres hydrauliques de ces réseaux de collecte,
- vérifier les capacités d'absorption des ouvrages de rétention avec les quantités des eaux à traiter,
- proposer des scénarios d'adaptions des réseaux pluviaux ou des bassins de rétention,
- proposer des scénarios de création d'ouvrages complémentaires de canalisation et de rétention des eaux permettant d'aboutir à une gestion cohérente de leur fonctionnement afin de limiter les nuisances occasionnées par les inondations,

3. DESCRIPTION DES PROBLEMES D'INONDATIONS

Le secteur dit du « Rossignol » est vulnérable aux débordements du cours d'eau nommé « Vieux-Fossé » traversant la zone.

La commune a notamment signalé les inondations s'étant produites à 2 reprises, les 17 et 22/23 juin 2016.

Plusieurs habitations ont été touchées par les eaux au cours de la soirée du 17 juin, avec l'évacuation d'une personne. Ce phénomène s'est répété les 22/23 juin 2016.

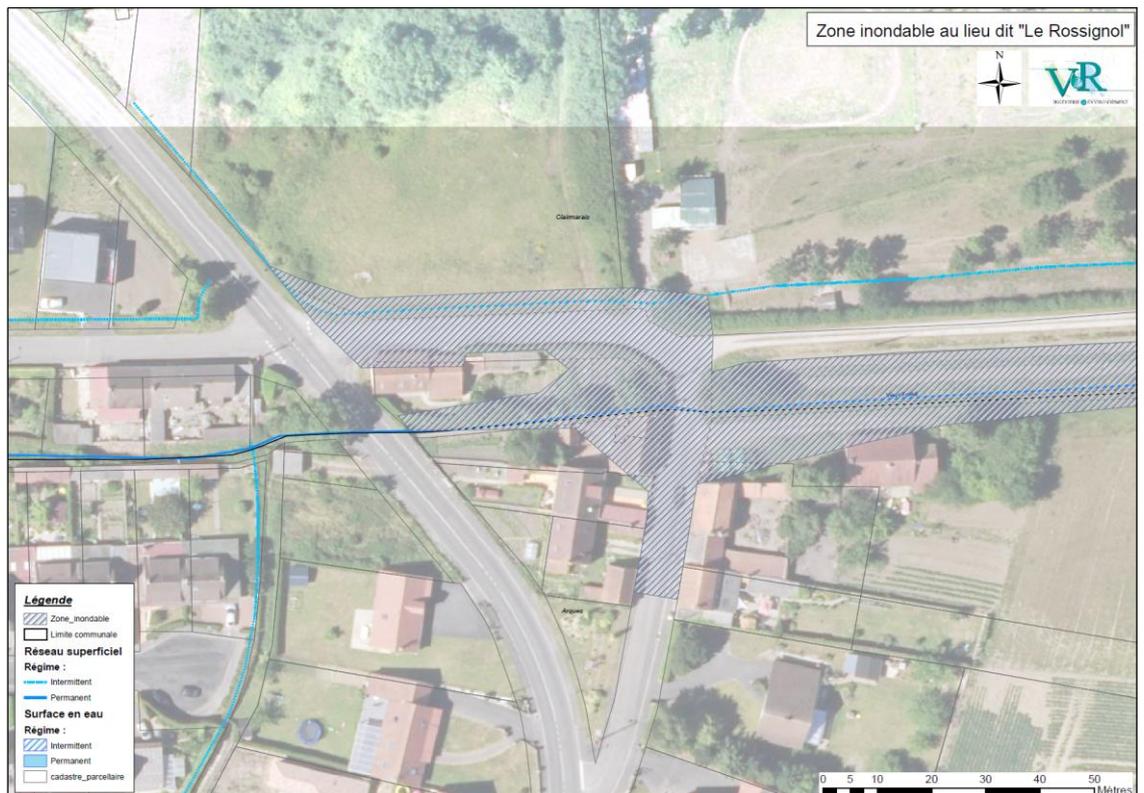
Il s'agit des derniers cas d'inondation en date mais le phénomène s'était déjà produit à plusieurs reprises par le passé.

Une rencontre avait été organisée entre les représentants élus d'Arques et de Clairmarais le lundi 11 juillet 2016, avec la présence de la Sous-Préfecture, l'ONF, le Département du Pas-de-Calais, la 7^{ème} Section de Wateringues du Pas-de-Calais et le SmageAa.

M. Lemort, Vice-Président de la 7^{ème} Section de wateringues avait résumé la situation, désignant plusieurs causes aux inondations :

- des conditions météorologiques exceptionnelles ;
- une urbanisation en amont peu respectueuse du système hydraulique ;
- un entretien des fossés déficient ;
- un ouvrage d'art départemental problématique ;
- des riverains qui se sont approprié les bordures des fossés ;
- ...

A ce jour, une pluviométrie intense de quelques heures suffit à provoquer une montée des eaux rendant la circulation dangereuse et impraticable et provoquant des désordres aux conséquences traumatisantes et pécuniaires pour les riverains.



Document n° 3 : zone inondable au lieu dit « le Rossignol »

En particulier, il y a deux habitations inondables au-dessus du niveau de leur seuil :

- celle, habitée, à l'angle de la route départementale et de la rue du Rossignol (commune de Clairmarais) – photo ci-dessous à gauche ;
- celle, inhabitée à ce jour, au bout de la rue côté Arques, photo ci-dessous à droite.



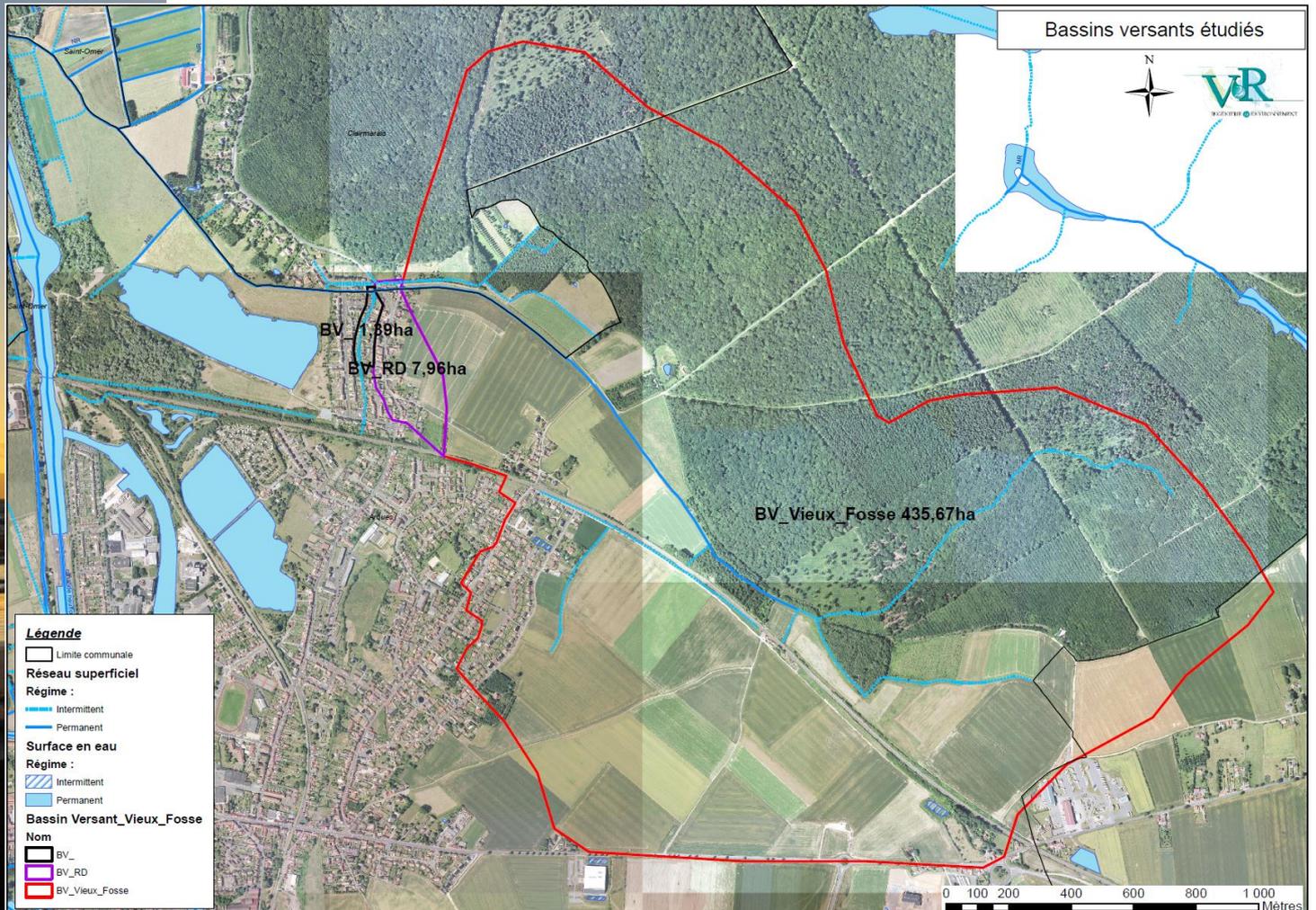
Pour les autres habitations, le niveau d'eau n'a pas dépassé le seuil. Ce sont alors les jardins, dépendances et les voiries qui sont inondées.

4. ETAT DES LIEUX GENERAL

4.1 Généralités

Situé dans le département du Pas-de-Calais, le bassin versant dit du « Vieux-Fossé » s'étend sur 436 ha sur les communes de Clairmarais et Arques. Sa particularité principale est qu'il est occupé en grande partie par la Forêt domaniale, globalement sur toute la rive droite (partie nord) du Vieux-Fossé.

On identifie aussi deux autres petits bassins versants correspondant aux zones de collecte du réseau d'assainissement pluvial d'Arques (1,4 ha et 8ha) :



Document n° 4 : Délimitation des sous-bassins versants topographiques à étudier

4.2 Topographie

Le bassin versant topographique du Vieux-Fossé s'étend entre des altitudes de 58 mIGN69 à l'est et 7 m IGN69 à l'ouest, au Rossignol.

Les crêtes au nord et nord-ouest sont situées dans la Forêt Domaniale, entre 20 et 58 mIGN69 d'altitude. Les pentes y sont plus prononcées, de l'ordre de 5% en moyenne.

Au sud, le bassin versant essentiellement occupé par des cultures est limité par la RD211, à des altitudes comprises entre 27 et 32 m IGN69 jusqu'au rond-point du Fort-Rouge. Les pentes des terrains y sont plus faibles, de 2 à 3% maximum.

Le plus long chemin hydraulique depuis l'altitude de 58m IGN69 jusqu'au Rossignol s'étire sur 3,6km, pour 50m de dénivellé, soit une pente moyenne d'écoulement de 1,4 %.



Document n° 5 : Topographie au sein du bassin versant du Vieux-Fossé

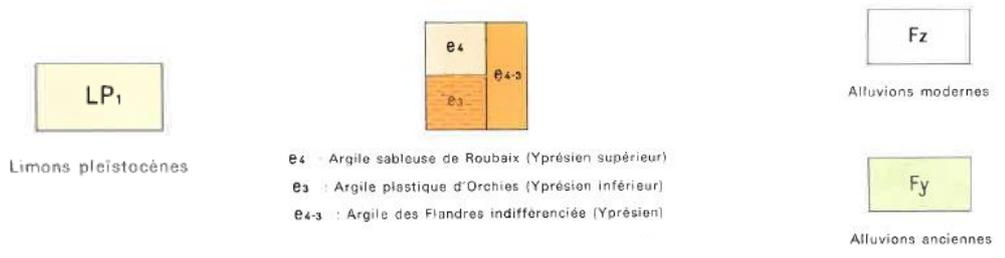
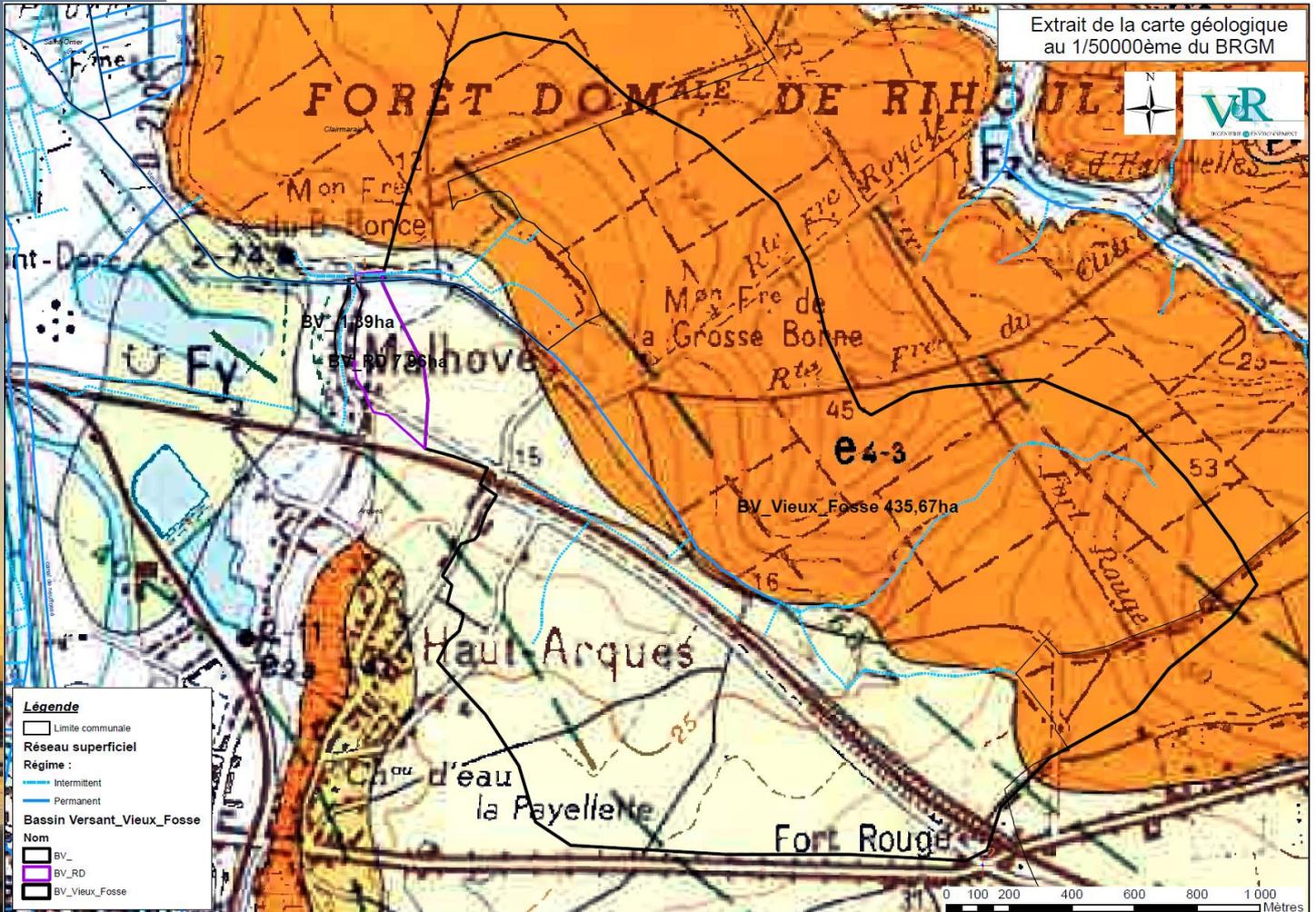
SYNTHESE :

Le bassin versant topographique du Vieux-Fossé (cours d'eau en cause pour les inondations objet de l'étude) s'étend sur 436 ha d'ouest en est, sur la Forêt Domaniale de Rihoult-Clairmarais au nord et sur les champs cultivés au sud.

Les pentes sont faibles à moyennes sur le bassin versant, plus fortes en forêt (entre 2 et 5%).

4.3 Géologie

Le document ci-dessous présente la carte géologique régionale, sur laquelle figure le bassin versant étudié. Les formations géologiques affleurantes sont les Argiles des Flandres [e4-3] au nord, côté forêt, et les limons pléistocènes [LP₁] au sud, côté champs :



Document n° 6 : Carte géologique au 1/50000^{ème} sur le secteur d'études (BRGM).

-> Contexte géologique

[LP] – Limons pléistocènes

Sur le secteur étudié ce limon provient de l'altération sur place de l'Yprésien argileux ou argilo-sableux, et est souvent dénommé argile. L'épaisseur des limons varie de quelques centimètres à plusieurs mètres (8m parfois).

[e₄₋₃] – Yprésien – Argile des Flandres

L'argile est généralement bleue en profondeur en raison de la présence abondante de pyrite pulvérulente. Près de la surface cette pyrite s'oxyde et il se forme des cristaux de gypse et le fer s'oxyde, l'argile a alors une teinte jaunâtre ou brunâtre. Son épaisseur augmente vers le nord-est : de 4 à 6 mètres à Arques elle passe à 15 mètres à Wardrecques.

L'Argile des Flandres peut se subdiviser en Argile de Roubaix [e₄] au sommet et en argile d'Orchies [e₃] à la base. Les deux argiles se distinguent très difficilement et sont souvent réunies sous l'appellation [e₄₋₃].

En surface, l'Argile de Roubaix est sableuse et glauconieuse, contenant des couches de sable très fin qui peuvent être très épaisses et présenter une grande partie de l'assise.

En dessous, l'Argile d'Orchies est plastique, compacte et homogène.

-> Perméabilités

Compte tenu de la géologie en place, globalement argileuse, la perméabilité des terrains est jugée faible à très faible, notamment en forêt ou la formation d'Argile de Roubaix affleure. C'est notamment pour ça qu'il y a un chevelu hydraulique en forêt, avec plusieurs rus qui affluent vers le Vieux-Fossé.

-> Les aquifères

Dans le secteur d'étude, la géologie globalement imperméable limite l'existence des nappes d'eaux souterraines :

- Des nappes superficielles existent à la base des limons lorsque ceux-ci reposent sur l'Argile des Flandres. L'eau est souvent impropre à l'usage domestique et peu abondante. Les ressources aquifères du secteur sont très faibles malgré la présence sporadique de lits sableux dans l'Argile de Roubaix.

- La nappe de la craie émerge peu à l'ouest du secteur étudié, côté marais.

SYNTHESE :

Le bassin versant topographique du Vieux-Fossé repose sur des formations géologiques globalement imperméables (argile de Roubaix, limons argileux).

Les perméabilités sont faibles à très faibles, favorisant le ruissellement.

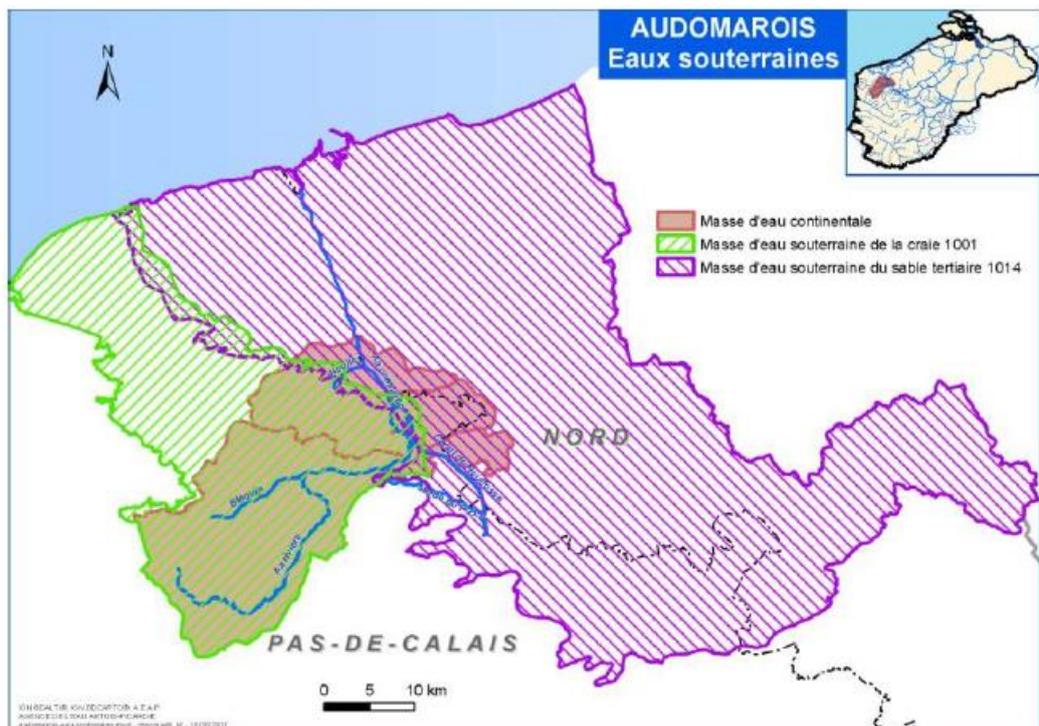
Des sources existent en Forêt Domaniale lorsqu'il y a des bancs de sables fins reposant sur les formations argileuses de Roubaix.

4.4 Hydrogéologie

Le tableau ci-dessous synthétise l'état des lieux pour la masse d'eau souterraine du secteur d'étude, telle que transcrite dans le S.D.A.G.E. Artois-Picardie, ainsi que les objectifs de qualité requis :

	Etat des eaux pour la masse d'eau de la craie de l'Audomarois (AG001)	Etat des eaux pour la masse d'eau des sables du Landénien des Flandres (AG014)
Etat quantitatif	Bon	Bon
Etat qualitatif chimique	Non atteinte du bon état en 2015	Bon
Objectif de bon état quantitatif	Bon état atteint en 2015	Bon état atteint en 2015
Objectif de bon état qualitatif chimique	Bon état 2027	Bon état atteint en 2015

N.B. : Le bassin versant étudié s'étend sur le secteur de la masse d'eau des Sables Landéniens, mais est en amont topographique de celui de la masse d'eau de la craie, affleurante au marais. Les deux masses d'eau sont donc à considérer.



Document n° 7 : Masses d'eau souterraines et objectifs de qualité inscrits au S.D.A.G.E. (extrait du S.D.A.G.E.)

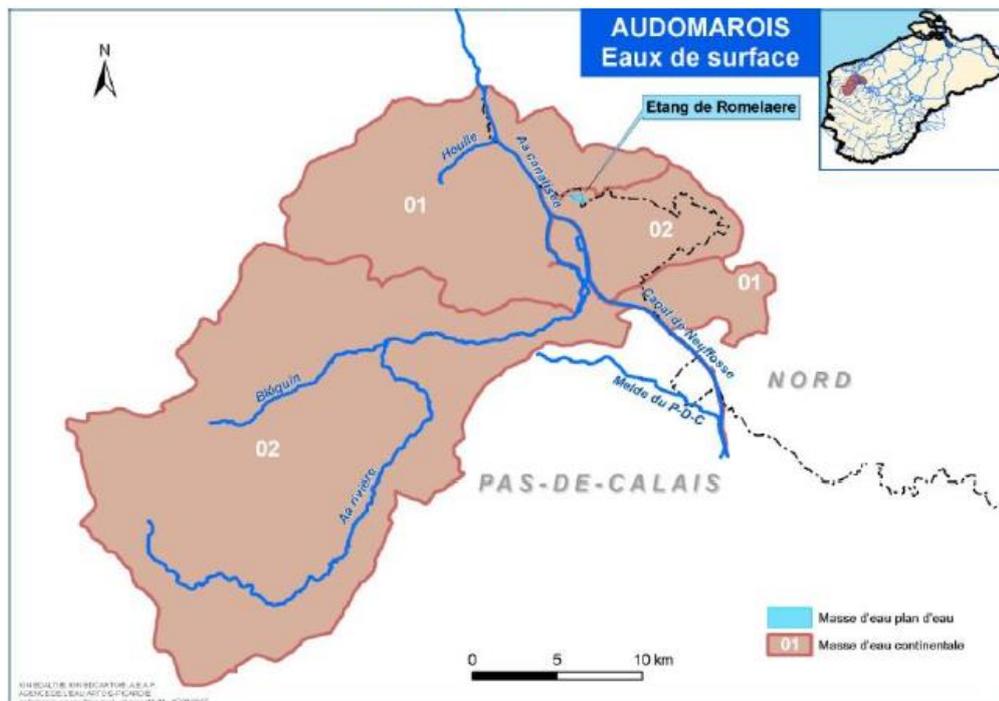
SYNTHESE :

Il n'existe pas de captage d'alimentation en eau potable en activité sur le bassin versant étudié, ni à proximité. Il existe des enjeux concernant les objectifs de qualité inscrits au S.D.A.G.E. pour les eaux souterraines sur le secteur étudié.

4.5 Hydrologie

Etat qualitatif de la masse d'eau superficielle, et objectifs de qualité, transcrits dans le S.D.A.G.E. Artois-Picardie :

	Etat des eaux pour l'Aa canalisée (FRAR01)	Etat des eaux pour l'Aa rivière (FRAR02)
Etat ou Potentiel écologique	Non atteinte du bon état écologique en 2015	Etat globalement bon en 2015
Etat des lieux chimique	Non atteinte du bon état chimique en 2015	Non atteinte du bon état chimique en 2015
Objectif bon état écologique	Bon potentiel 2027	Bon état 2015
Objectif bon état chimique sans substance ubiquiste	Bon état 2027	Bon état atteint en 2015



Document n° 8 : Bassin versant du Vieux-Fossé : masse d'eau de surface (extrait du S.D.A.G.E.)

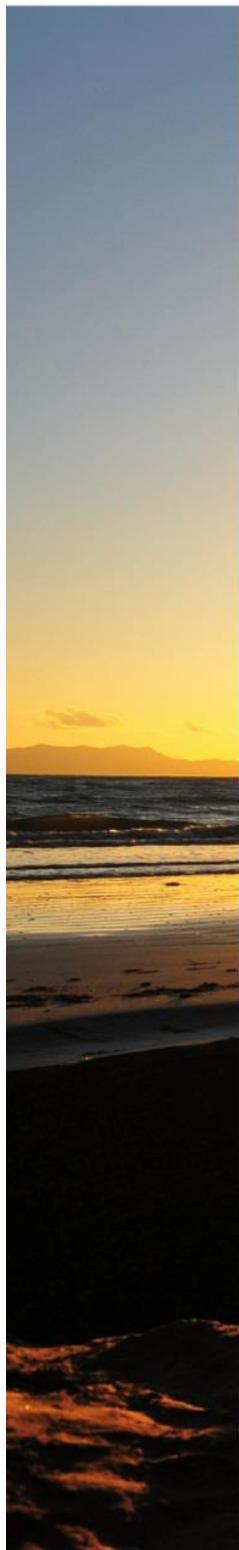
Contrairement à ce que son nom peu laisser croire, le « Vieux-Fossé » est en fait classé comme cours d'eau par la DDTM :



Document n° 9 : Classement en « cours d'eau » du Vieux-Fossé par la DDTM.

SYNTHESE :

Le Vieux-Fossé est classé comme « cours d'eau ». Son exutoire final est le marais Audomarois. Il existe des enjeux concernant les objectifs de qualité inscrits au S.D.A.G.E. pour les eaux superficielles sur le secteur étudié.

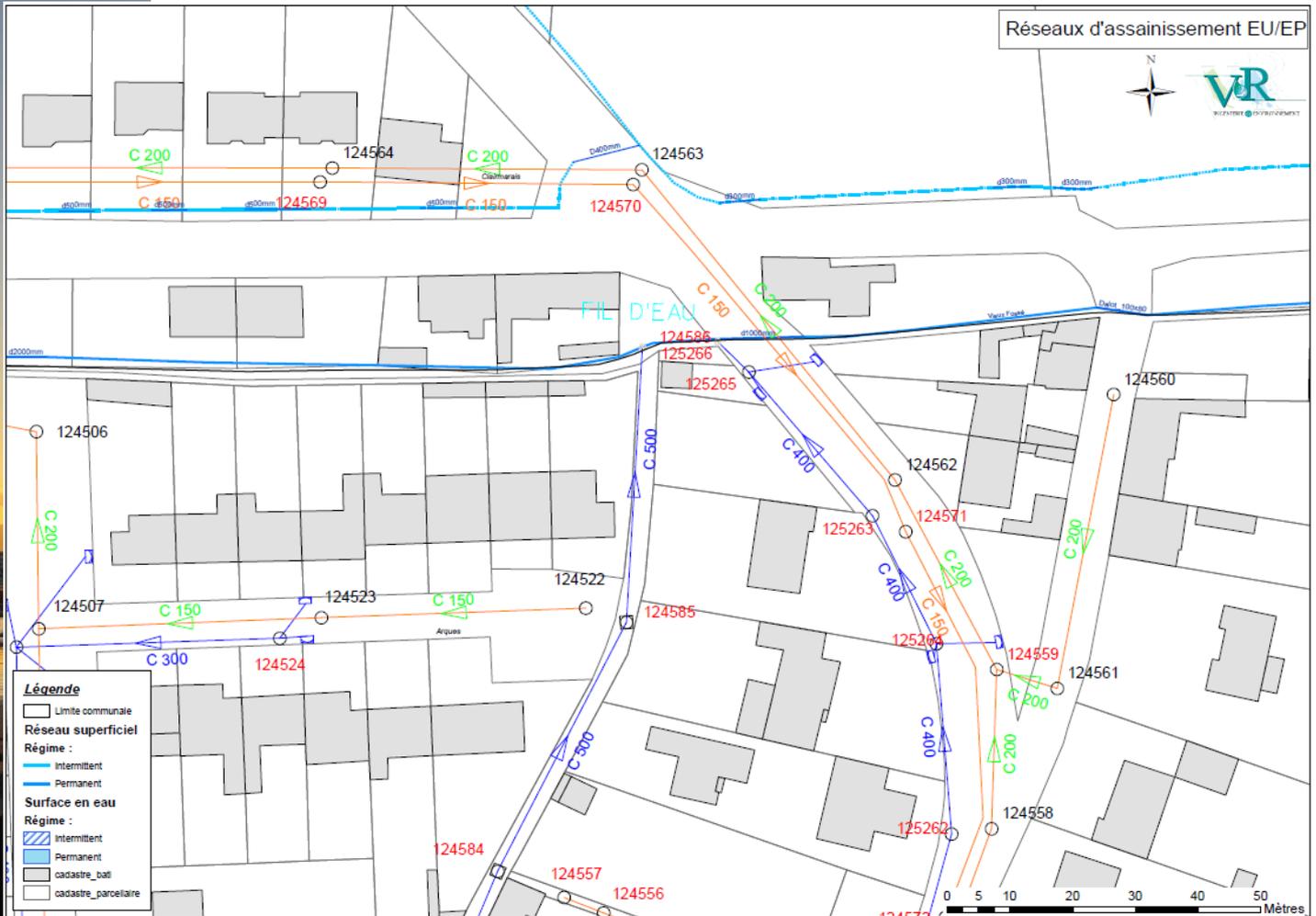


4.6 Réseaux d'assainissement pluvial

Le réseau d'assainissement collectif est séparatif sur le secteur d'études.

Le réseau d'assainissement pluvial a ses rejets au Vieux-Fossé, en aval du site inondable.

Les extraits de plan d'assainissement du secteur sont présentés après : d'abord, ci-dessous, un zoom sur le secteur étudié, puis une vue d'ensemble des sous-bassins versants de collecte des réseaux pluviaux en page suivante.



Document n° 10 : Extrait du plan de réseaux d'assainissement : zoom sur le secteur étudié (source : Véolia Eau).

4.7 Analyse hydraulique détaillée

Des relevés de terrain ont permis d'obtenir la connaissance du cheminement hydraulique sur le bassin versant. Les documents suivants retracent le reportage photographique et les relevés de fonctionnement.

- **Amont du bassin versant, au niveau du franchissement hydraulique sous la voie ferrée :**

Les eaux du bassin versant amont franchissent la voie ferrée en un unique ouvrage : une voûte maçonnée d'environ 0m60 de largeur et 1m50 de hauteur.

Le fossé le long de la voie ferrée est profond et assez large pour y permettre un tamponnement des eaux de ruissellement en cas de forte crue.



Fossé de drainage des champs. Busage de 400mm de diamètre vers le fossé de la voie ferrée.



Chemin bordant le fossé de la voie ferrée



Franchissement sous la voie ferrée, environ 0m60 de largeur et 1m50 de hauteur.



Construction en cours des Serres des Hauts de France, en amont du bassin versant et du franchissement sous la voie ferrée

Document n° 12 : Réseau hydraulique, état des lieux - extrait en amont de la voie ferrée

• **Niveau intermédiaire du bassin versant, au niveau de la route de la Grosse Borne :**

Le fossé est d'assez grande dimension. On recense 3 ouvrages hydrauliques principaux sur ce tronçon :
 - un cadre maçonné de 1m10x1m40 en amont ;
 - un collecteur de 1m60 de diamètre sous la route communale ;
 - un collecteur de 1m00 de diamètre un peu plus en aval, avec un barrage de fossé fait en bois pour permettre de la rétention dans le fossé en amont. Les champs de rive gauche sont drainés sur ce secteur. Le fossé le long de la voie ferrée est profond et assez large pour y permettre un tamponnement des eaux de ruissellement en cas de forte crue. Une expansion de crue est possible en amont de la route communale dans les champs, en rive gauche.



Redent avec busage de 1000mm de diamètre. Stockage dans le fossé amont.



Tronçon de fossé contrôlé par le redent en aval – stockage possible en forte crue.



Expansion possible des crues dans les champs en amont de la voie communale



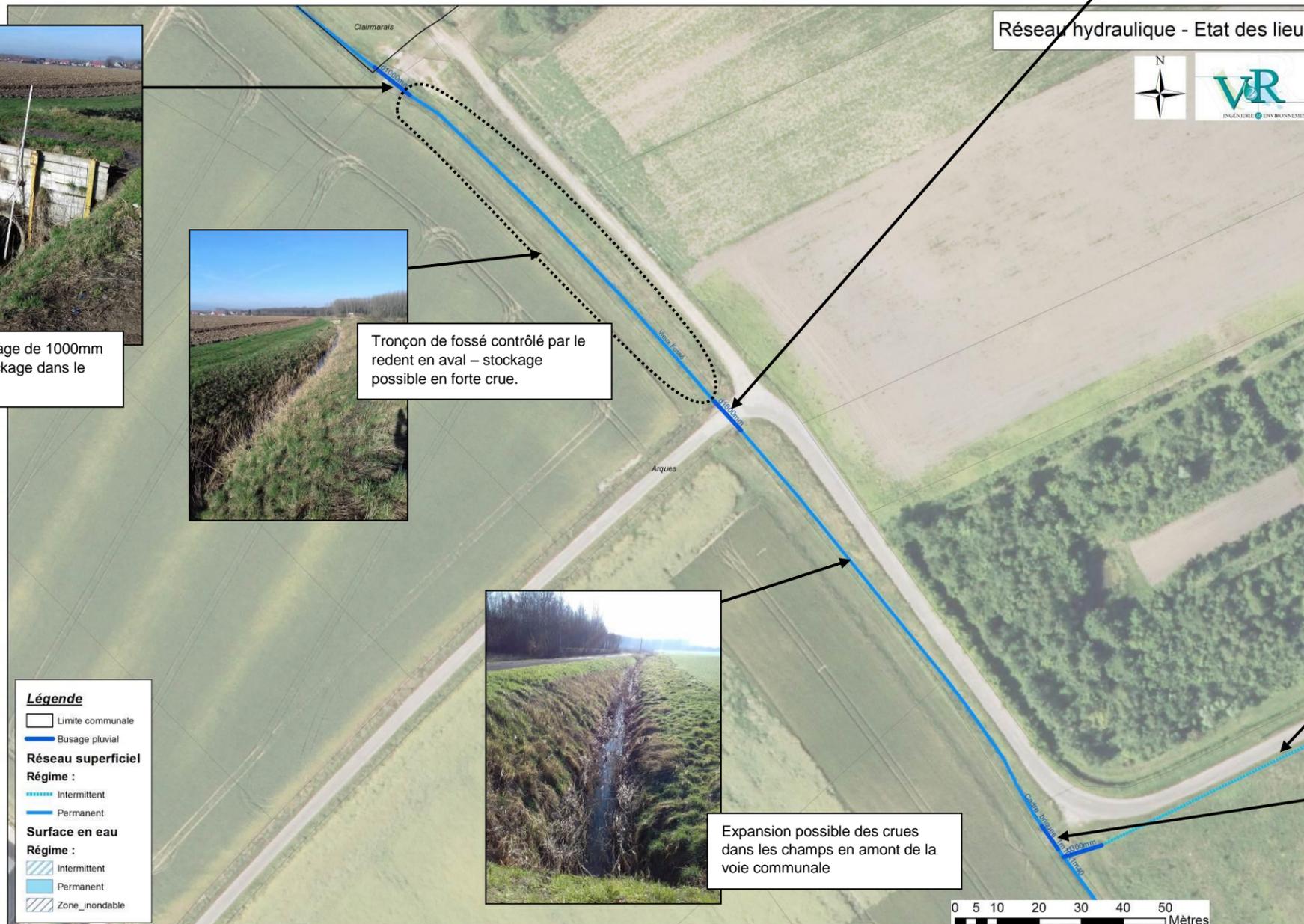
Busage de 1600mm de diamètre sous la route communale.



Petit fossé collectant les eaux de la forêt



Cadre de 1m10x1m40 sous un accès aux champs.

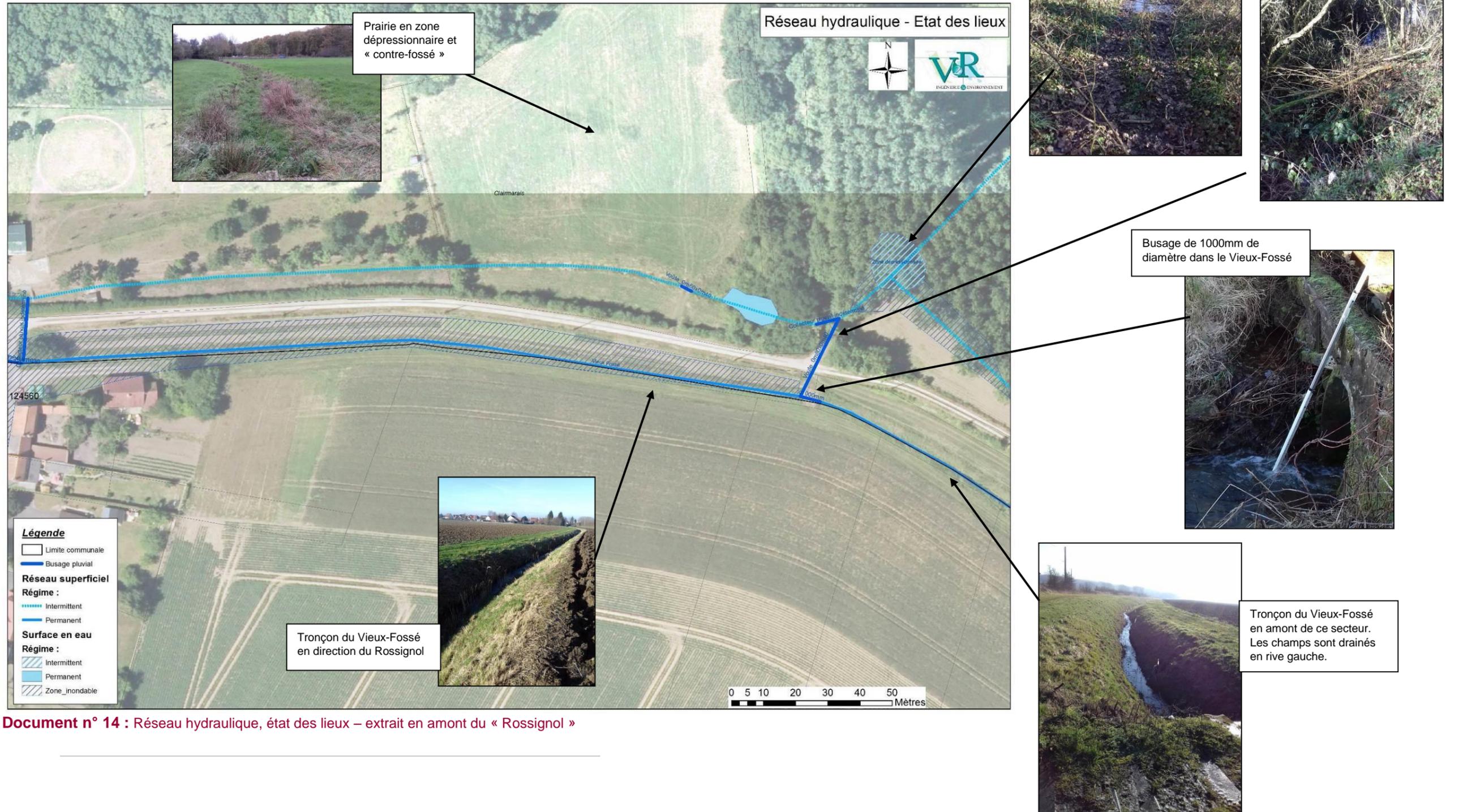


Document n° 13 : Réseau hydraulique, état des lieux – extrait « la Grosse Borne »

• **Niveau aval du bassin versant, en amont du « Rossignol » :**

Le fossé est d'assez grande dimension. Il s'agit d'un site clé de la répartition des débits en amont du Rossignol :

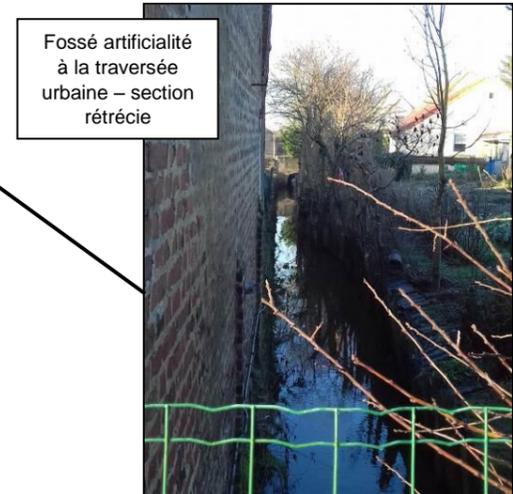
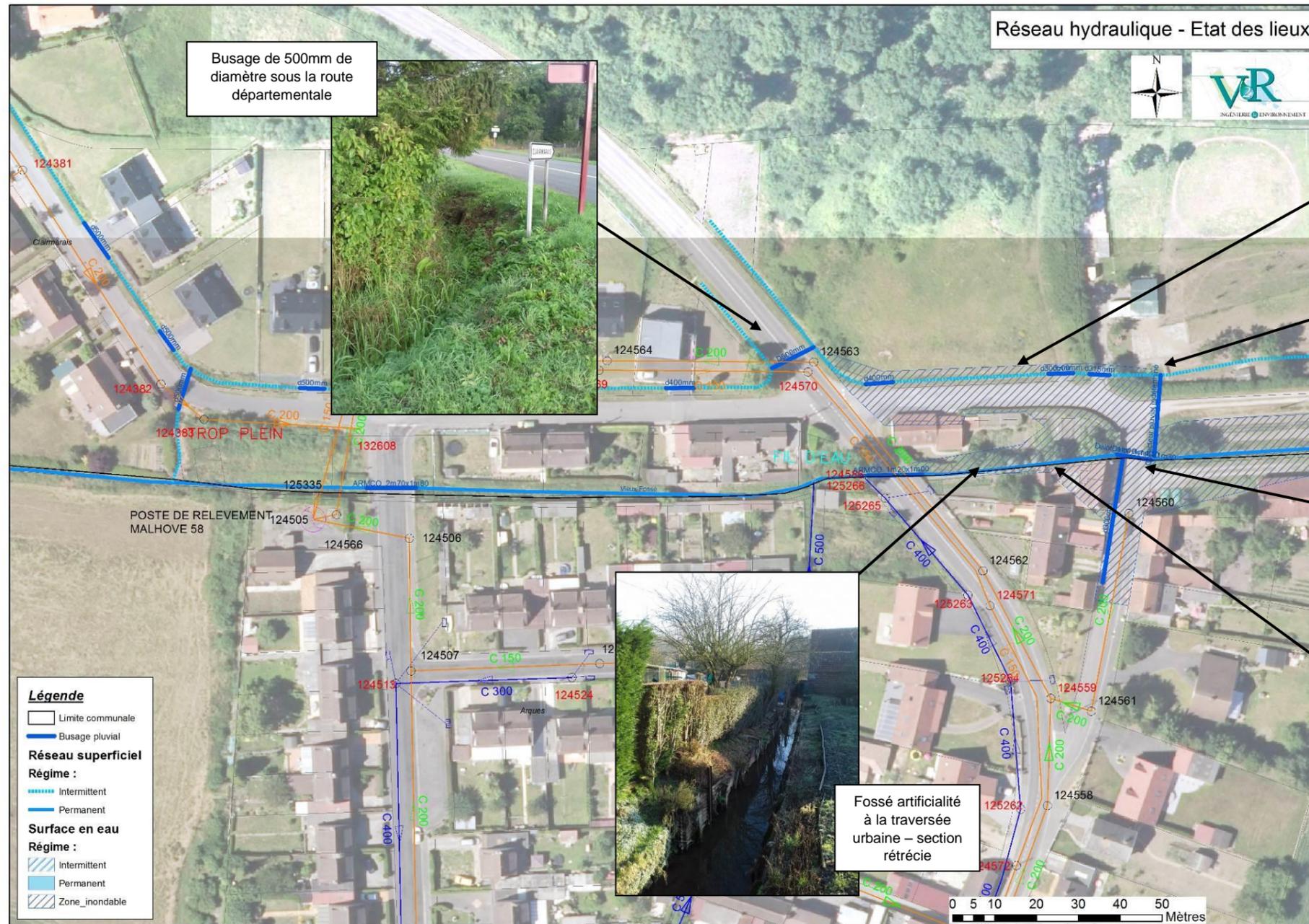
- une voûte en mauvais état (0m80x0m40 estimés) achemine les eaux de ruissellement provenant de la forêt vers le fossé principal – un second busage plus petit et haut diffuse les eaux vers la prairie en lisière ;
- un collecteur de 1m00 de diamètre permet la traversée du fossé au niveau d'un accès aux champs (drainés sur ce secteur) ;
- les pâtures en rive droite sont traversées par un petit fossé, qui est parallèle au Vieux-Fossé mais sans connexion directe avec lui.



Document n° 14 : Réseau hydraulique, état des lieux – extrait en amont du « Rossignol »

• **Niveau aval du bassin versant :**

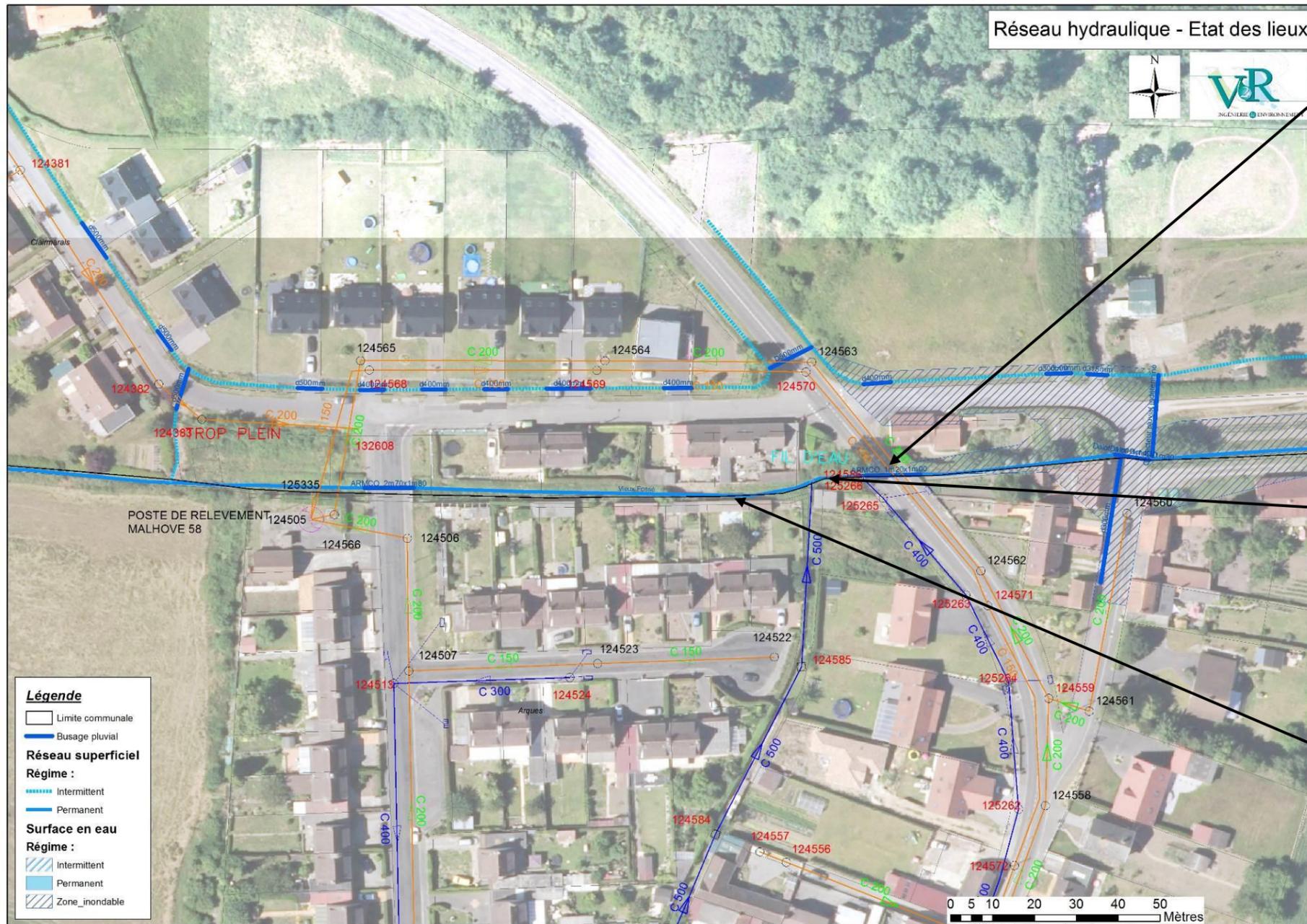
Le fossé traverse la zone urbanisée. Il est empiété par diverses protections de berges aménagées par les particuliers (planches, tôles,...) et qui réduisent ponctuellement la largeur du fossé.
 Les busages sous les 3 routes ont des dimensions hétérogènes : 1m10x1m10 en amont, ARMCO 1200mm en intermédiaire sous la RD et ARMCO 2700x1800mm en aval.
 Le « contre-fossé » continue son cheminement au nord pour traverser une zone récemment urbanisée et se jeter au Vieux-Fossé en aval de l'urbanisation via un collecteur de 500mm de diamètre.



Document n° 15 : Réseau hydraulique, état des lieux – extrait en aval du bassin versant

• **Niveau aval du bassin versant - suite :**

Le fossé traverse la zone urbanisée. Il est empiété par diverses protections de berges aménagées par les particuliers (planches, tôles,...) et qui réduisent ponctuellement la largeur du fossé.
 Les busages sous les 3 routes ont des dimensions hétérogènes : 1m10x1m10 en amont, ARMCO 1200mm en intermédiaire sous la RD et ARMCO 2700x1800mm en aval.
 Le « contre-fossé » continue son cheminement au nord pour traverser une zone récemment urbanisée et se jeter au Vieux-Fossé en aval de l'urbanisation via un collecteur de 500mm de diamètre.



Busage ARMCO sous la RD, 1200mmx1000mm



Fossé artificialité à la traversée urbaine – section rétrécie



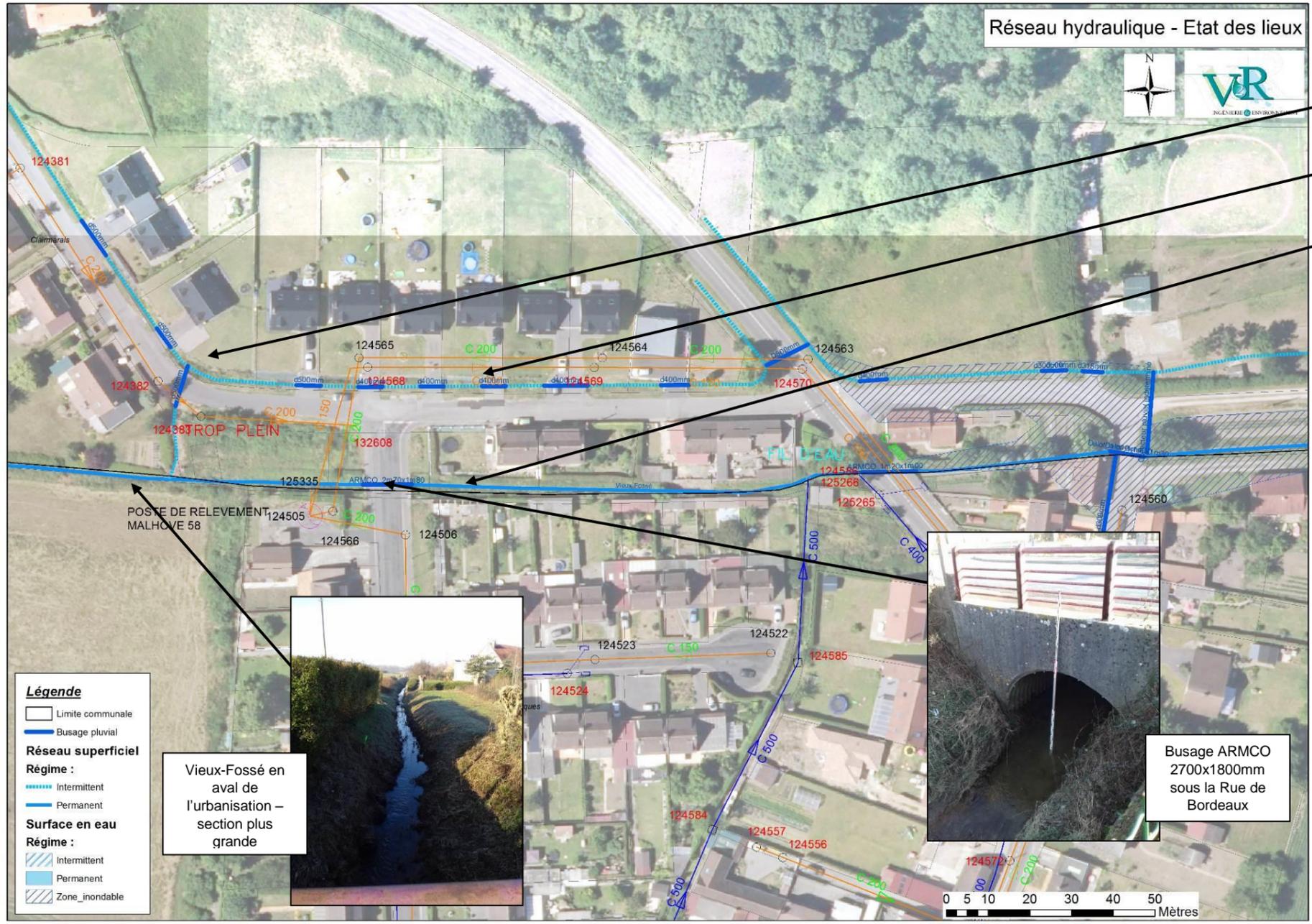
Fossé artificialité à la traversée urbaine – zoom sur la section rétrécie

Document n° 16 : Réseau hydraulique, état des lieux – extrait en aval du bassin versant, suite

• **Niveau aval du bassin versant – suite et fin :**

Le fossé traverse la zone urbanisée. Il est empiété par diverses protections de berges aménagées par les particuliers (planches, tôles,...) et qui réduisent ponctuellement la largeur du fossé.
 Les busages sous les 3 routes ont des dimensions hétérogènes : 1m10x1m10 en amont, ARMCO 1200mm en intermédiaire sous la RD et ARMCO 2700x1800mm en aval.
 Le « contre-fossé » continue son cheminement au nord pour traverser une zone récemment urbanisée et se jeter au Vieux-Fossé en aval de l'urbanisation via un collecteur de 500mm de diamètre.

Busages de 400 et 500mm au niveau du fossé devant les habitations récentes



Fossé artificialité à la traversée urbaine – section peu rétrécie



Vieux-Fossé en aval de l'urbanisation – section plus grande



Busage ARMCO 2700x1800mm sous la Rue de Bordeaux

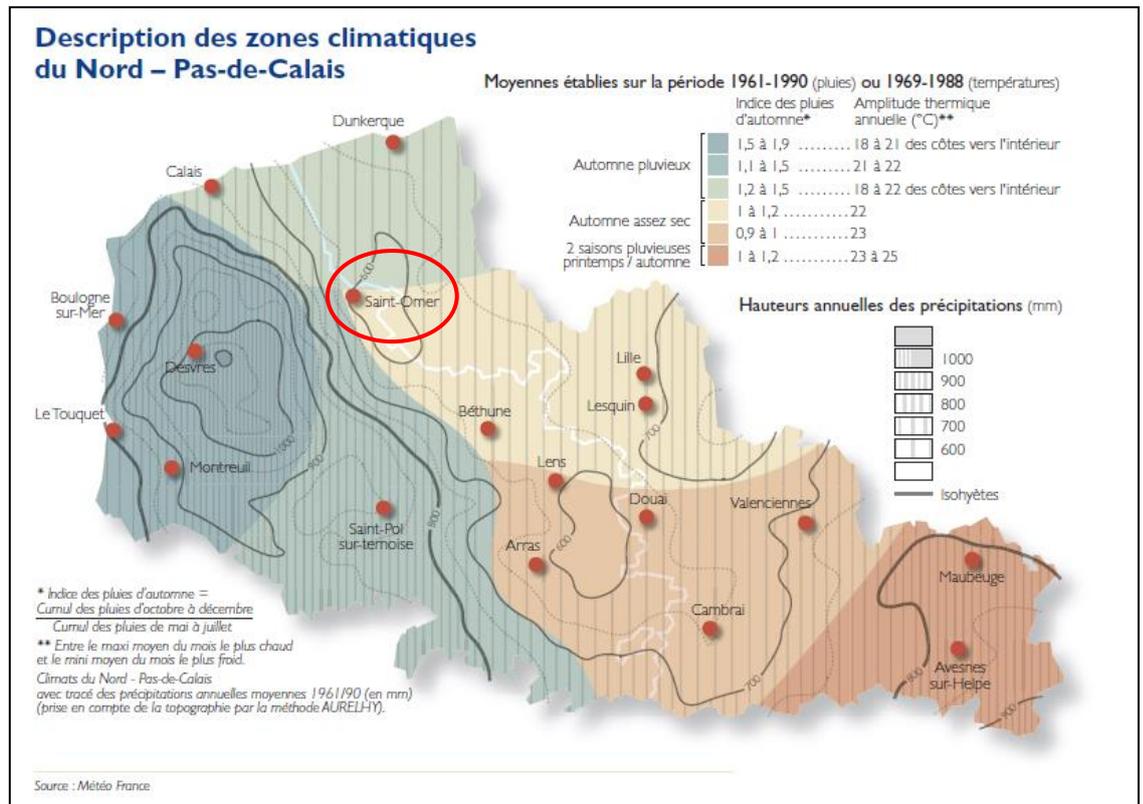
Document n° 17 : Réseau hydraulique, état des lieux – extrait en aval du bassin versant, suite et fin

5 CLIMATOLOGIE

5.1 Généralités

Dans le Nord Pas-de-Calais, nous pouvons observer des tendances climatiques ouest-est. On aura plus de soleil et moins de jours de brouillard à l'ouest qu'à l'est mais plus de jour de précipitations. A noter qu'au niveau du bord de mer le temps sera plus ensoleillé mais plus venteux qu'à l'intérieur des terres.

Le secteur Audomarois est un des moins pluvieux de la région en termes de cumuls annuels (plus de 600 mm précipités / an), caractérisée par des automnes pluvieux.



Document n° 18 : Diverses zones climatiques du Nord-Pas-de-Calais

5.2 Données statistiques pluviométriques utilisées sur le secteur étudié

Nous allons utiliser les statistiques de Lesquin pour les calculs et simulations de crues.

Ce sont celles actualisées à 2014. Les coefficients de Montana correspondant sont les suivants :



COEFFICIENTS DE MONTANA

Formule des hauteurs

Statistiques sur la période 1960 – 2014

LILLE-LESQUIN (59) *Indicatif : 59343001, alt : 47 m., lat : 50°34'12"N, lon : 03°05'48"E*

La formule de Montana permet, de manière théorique, de relier une quantité de pluie $h(t)$ recueillie au cours d'un épisode pluvieux avec sa durée t :

$$h(t) = a \times t^{(1-b)}$$

Les quantités de pluie $h(t)$ s'expriment en millimètres et les durées t en minutes.
Les coefficients de Montana (a, b) sont calculés par un ajustement statistique entre les durées et les quantités de pluie ayant une durée de retour donnée.

Cet ajustement est réalisé à partir des pas de temps (durées) disponibles entre 6 minutes et 48 heures.
Pour ces pas de temps, la taille de l'échantillon est au minimum de 46 années.

Coefficients de Montana pour des pluies de durée de 6 minutes à 48 heures

Durée de retour	a	b
5 ans	6.369	0.721
10 ans	7.908	0.73
20 ans	9.585	0.738
30 ans	10.586	0.742
50 ans	12.019	0.748
100 ans	14.061	0.755

Page 1/1
Edité le : 10/11/2017

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

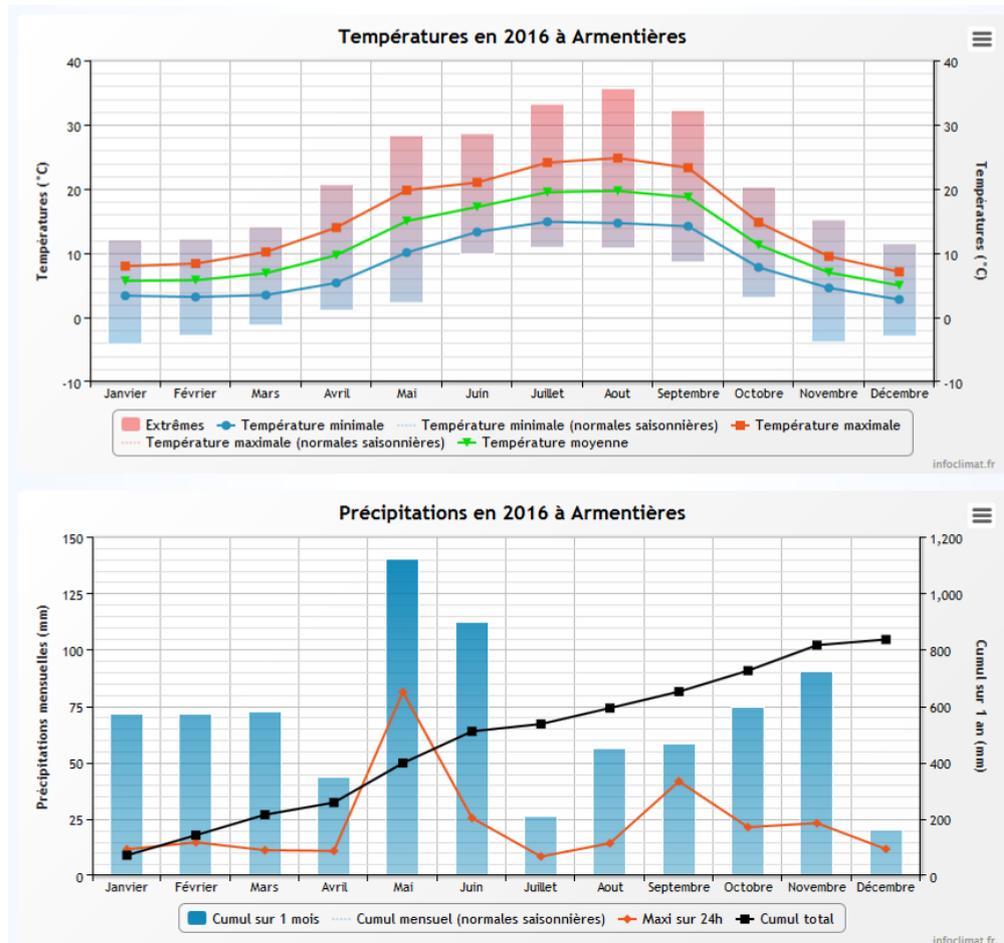
Document n° 19 : Coefficients de Montana applicables au secteur d'études (source : Météo France)

5.3 Pluviométrie de juin 2016

L'année 2016 est citée comme ayant engendré des inondations pendant le mois de juin.

2016 est caractérisée sur le secteur d'étude par un premier semestre excédentaire en pluviométrie (510mm en 6 mois, dont 140mm au mois de mai et 112mm au mois de juin). La pluviométrie en juin est liée à une succession d'épisodes orageux.

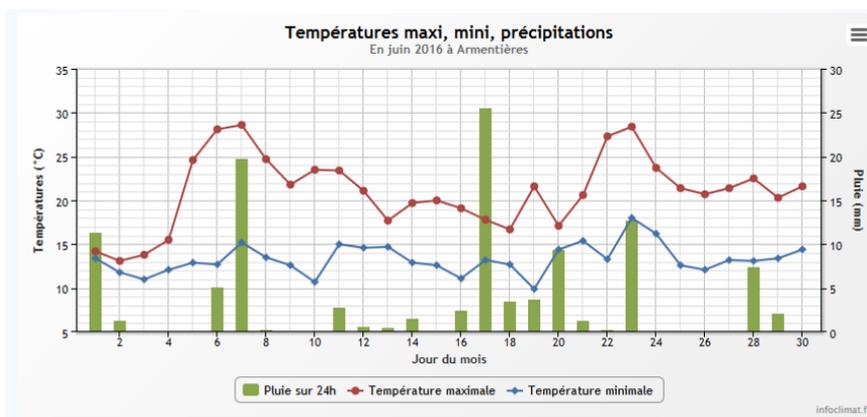
Diagramme climatique à Armentières (secteur le plus proche climatologiquement de Saint-Omer par rapport aux données disponibles) en 2016 (source : www.infoclimat.fr):



Document n° 20 : Diagramme climatique d'Armentières en 2016 (source : infoclimat)

*** JUIN 2016 :**

Le mois de juin est marqué par un cumul pluviométrique excédentaire, avec une succession d'épisodes orageux. Les cumuls pluviométriques sont importants sur une courte durée, notamment le 17 juin avec 25,5mm précipités en 10 heures. Ces orages arrivent sur des sols limoneux « glacés » et saturés des pluies précédentes depuis mai.



Document n° 21 : Diagramme climatique d'Armentières en juin 2016 (source : infoclimat)

Le 17 juin 2016 :

Armentières, le cumul était de 25,5mm en 10 heures, avec un pic d'intensité de 10mm en 2 heures :

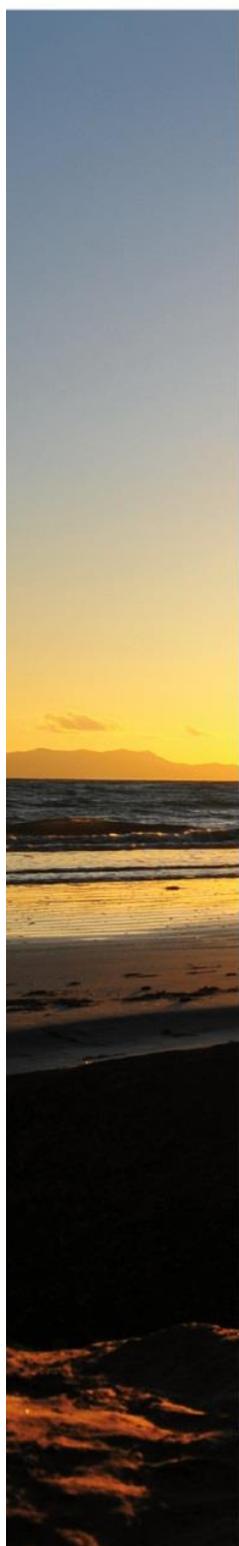
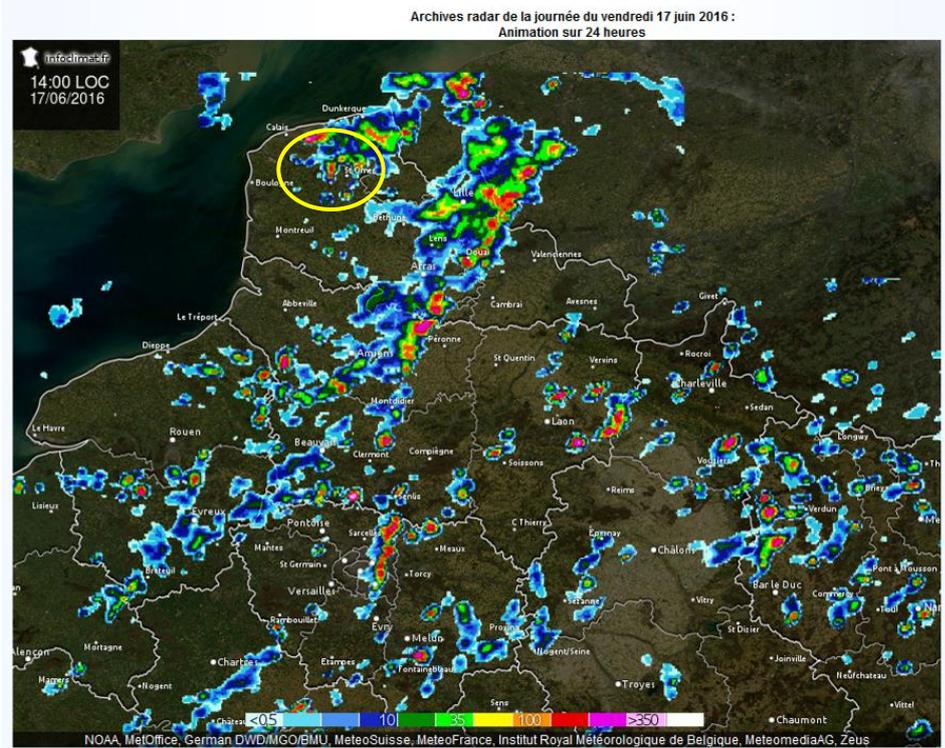
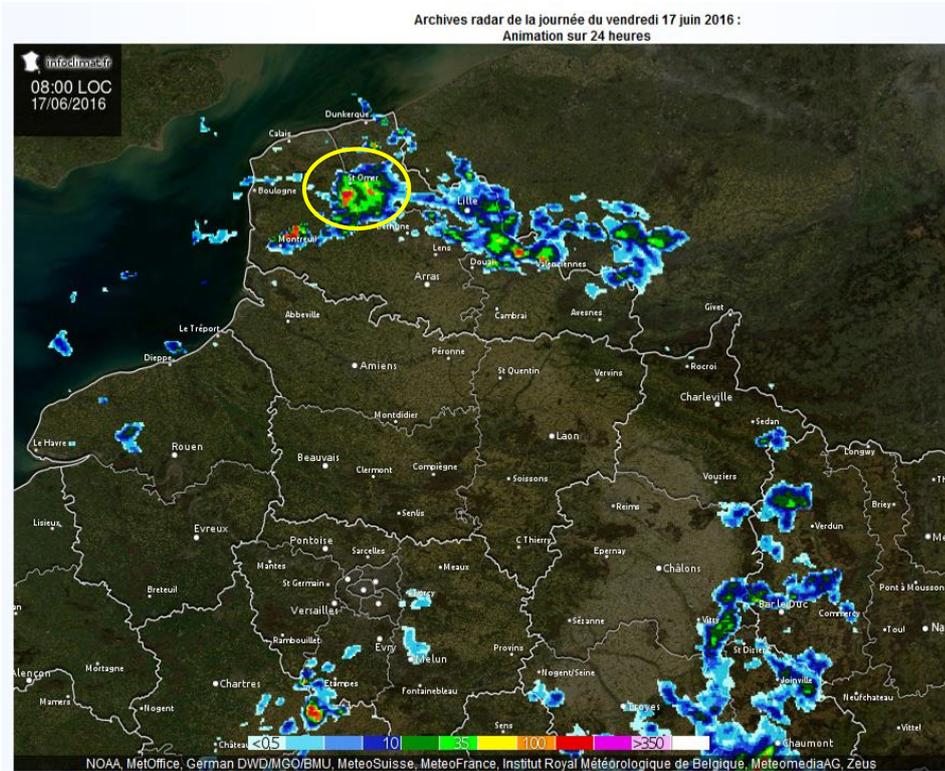
Heure	Temps	Température	Biométeo	Pluie	Humidité	Pt. de rosée	Vent moyen (raf)	Pression
17h30		15.2 °C	202		92%	13.9 °C	3 km/h (6.4 km/h)	1007.3 hPa
17h00		14.7 °C	97	2.5 mm/h	92%	13.3 °C	3 km/h (3.2 km/h)	1007.0 hPa
16h30	☁	14.6 °C	120	1.3 mm/h	91%	13.3 °C	4.8 km/h (8 km/h)	1006.9 hPa
16h00	☁	15.3 °C	44	2.3 mm/h	89%	13.3 °C	3 km/h (8 km/h)	1006.8 hPa
15h30		17.8 °C	290		87%	15.6 °C	14.5 km/h (14.5 km/h)	1006.8 hPa
15h00		15.7 °C	679	0.3 mm/h	93%	14.4 °C	3 km/h (9.7 km/h)	1006.8 hPa
14h30		15.1 °C	392		93%	13.9 °C	5 km/h (11.3 km/h)	1006.8 hPa
14h00	☁	14.8 °C	186	1.5 mm/h	93%	13.9 °C	2 km/h (4.8 km/h)	1006.8 hPa
13h30	☁	13.8 °C	200		94%	12.8 °C	1.6 km/h (1.6 km/h)	1005.8 hPa
13h00	☁	14.2 °C	23	5.8 mm/h	93%	13.3 °C	2 km/h (4.8 km/h)	1005.5 hPa
12h30		15.0 °C	380		94%	13.9 °C	3 km/h (6.4 km/h)	1005.2 hPa
12h00		15.0 °C	137	0 mm/h	94%	13.9 °C	2 km/h (6.4 km/h)	1004.8 hPa
11h30		15.0 °C	113		94%	13.9 °C	4.8 km/h (4.8 km/h)	1004.7 hPa
11h00	☁	14.3 °C	137	4.6 mm/h	94%	13.3 °C	2 km/h (4.8 km/h)	1004.7 hPa
10h30	☁	13.9 °C	40		94%	12.8 °C	2 km/h (6.4 km/h)	1004.4 hPa
10h00	☁	13.9 °C	35	4.3 mm/h	93%	12.8 °C	2 km/h (6.4 km/h)	1004.2 hPa
09h30	☁	13.8 °C	32	1.8 mm/h	93%	12.8 °C	3 km/h (6.4 km/h)	1004.0 hPa
09h00	☁	13.9 °C	30	1 mm/h	93%	12.8 °C	2 km/h (6.4 km/h)	1003.7 hPa
08h30	☁	13.9 °C	98		93%	12.8 °C	3 km/h (6.4 km/h)	1003.3 hPa
08h00	☁	13.7 °C	60	1.8 mm/h	93%	12.8 °C	3 km/h (4.8 km/h)	1003.2 hPa

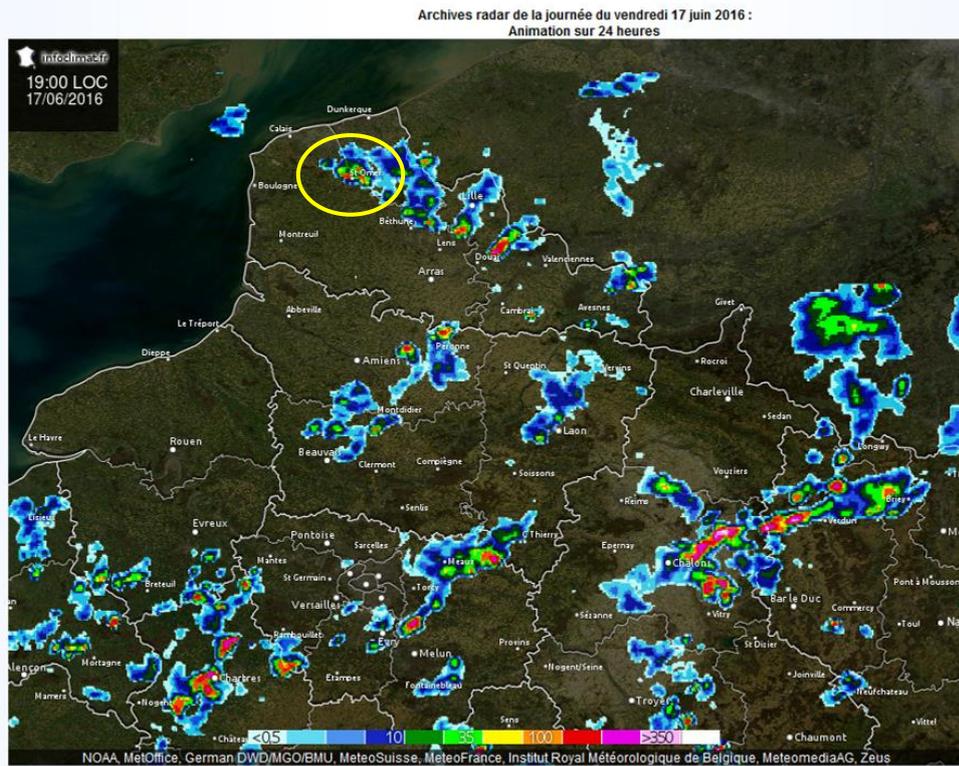
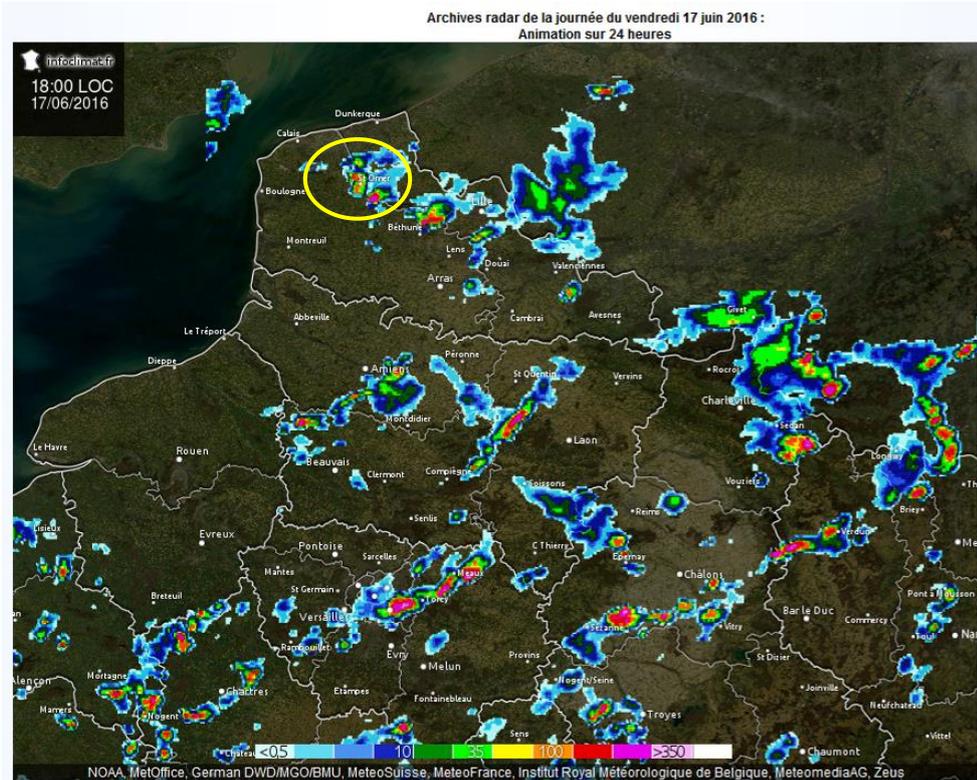
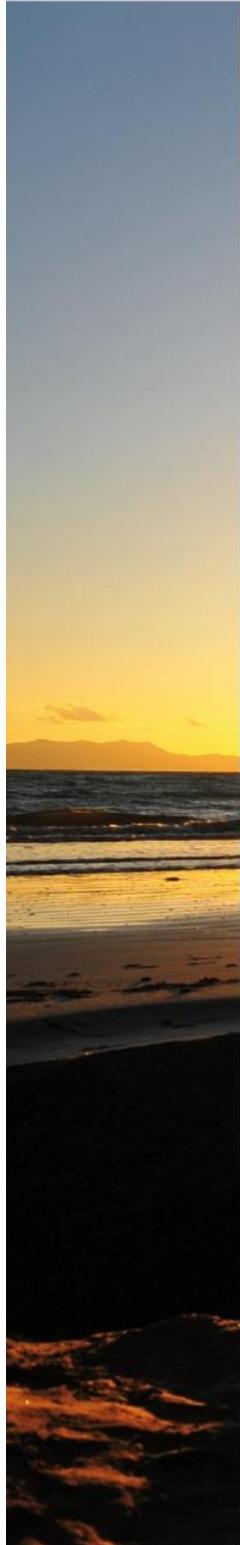
Document n° 22 : Pluviométrie du 17 juin 2016 à Armentières

On note que le caractère orageux des précipitations leur confère un caractère très local, en 1 kilomètre de distance le cumul pluviométrique peut être extrêmement différent.

Les échos radars récupérés sur le site www.infoclimat.fr permettent d'observer l'évolution de l'axe orageux sur le secteur étudié le 17 juin. La journée a vu une succession d'averses orageuses transiter sur l'Audomarois, se formant sur le secteur de Saint-Omer puis s'évacuant vers l'est, depuis 8 heures jusqu'à 20 heures :

Quelques extraits du radar pluviométrique sur les Hauts de France le 17 juin 2016 :





Document n° 23 : Echos radar du 17 juin 2016 à 15h15 sur les Hauts-de-France

Le chapitre suivant détaille l'épisode pluvieux sur Saint-Omer et Arques.

5.4 Analyse pluviométrique détaillée sur Saint-Omer du 17 juin 2016, faite par Météo France

✓ Situation générale et déroulement de l'épisode pluvieux à Saint-Omer

Le flux d'ouest à sud-ouest engendre de fréquentes précipitations instables, parfois fortes et orageuses et de grêle.

Sur le territoire de Saint-Omer, les premières pluies, faibles dans un premier temps, arrivent à partir de 05h35 locales jusqu'à 06h20 puis plusieurs cellules se suivent :

- une cellule plus conséquente en activation progressive par le sud et plus durable intervient à partir de 06h30 jusqu'à 08h50 ;
- dans un flux qui tourne progressivement plein ouest, une petite cellule aborde Saint-Omer à 08h50 et se déplace d'ouest en est jusqu'à 09h10 ;
- à partir de 09h25 une cellule au nord de la ville, une plus au sud puis une autre plus à l'ouest concerne le territoire de Saint-Omer jusqu'à 10h10 ;
- une cellule plus conséquente et plus vaste arrive à 10h15 et s'atténue un peu seulement à partir de 11h15 et part définitivement à 12h25 ;
- une autre approche à 12h35 et quitte le secteur à 13h40 ;
- le flux s'oriente momentanément un peu au ouest-nord-ouest et une nouvelle averse arrive par ce secteur à 13h45 et une autre suit à 14h10 jusqu'à 15h00 ;
- le flux repart au ouest-sud-ouest avec l'arrivée à 15h05 d'une nouvelle cellule puis une autre qui s'intensifie vers 16h00 ;
- une autre cellule prend le relai en quasi continue cette fois-ci plein ouest à 16h35 avec un maximum d'activité vers 18h00 puis une autre en continue particulièrement active de 18h45 à 19h10 et en atténuation vers 19h25 ;
- une dernière cellule aborde à 19h40 Saint-Omer dans un flux définitivement orienté à l'ouest-nord-ouest.

Sur le territoire de Saint-Omer, il y a eu une possibilité de petite grêle vers 16h00 surtout à l'ouest et à plusieurs reprises, sous les précipitations les plus intenses, on était à la limite de chutes de petite grêle vers 07h25, 13h15, 14h05, 14h30, 18h00, 18h45, 19h00 et 19h10.

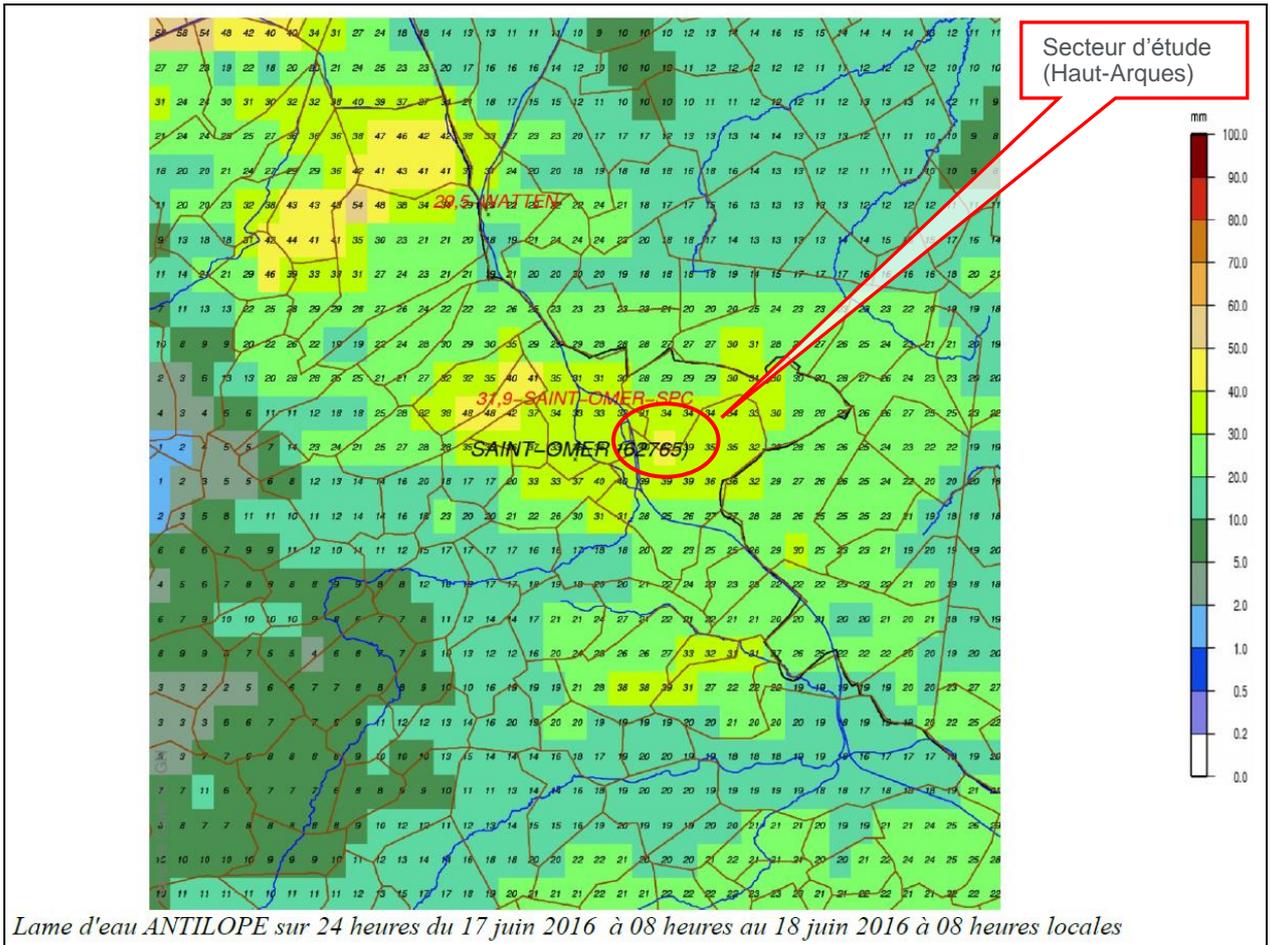
✓ Analyse précise des cumuls de précipitations

La station automatique Saint-Omer-SPC représente bien le suivi de l'épisode (lames d'eau en accord avec les relevés de cette station). Cette station mesure des cumuls de précipitation sur un pas de temps horaire toutes les heures entières mais pas sur des pas de temps infra horaires toutes les 6 minutes.

Dans le tableau suivant, voici les cumuls maximaux horaires sur différents pas de temps :

Durée du pas de temps	1h	2h	3h	4h	6h	12h	24h
Maximum du cumul de Précipitations correspondant à cette durée (en mm)	7.5	12.8	16.4	19.6	24.0	31.2	32.1
Heure locale de fin de ce maximum	20h	20h	20h	21h	22h	23h	23h

Il est ainsi tombé sur 12 heures la quasi-totalité de l'épisode pluvieux avec 31,2 mm sur la station de Saint-Omer mais on a pu dépasser parfois les 35 mm en 12 heures localement sur l'ouest du territoire de Saint-Omer.



Document n° 24 : Analyse radar de l'événement du 17 juin 2016 à Saint-Omer (source : Météo France, lame d'eau « Antilope »).

L'analyse de la répartition des pluies au radar montre que le cumul est plus élevé au niveau du Haut-Arques qu'à Saint-Omer, atteignant 39/40mm au lieu des 31mm à Saint-Omer-SPC, soit près de 25% de plus. Le secteur étudié et inondé a été celui le plus « arrosé » à l'est de Saint-Omer. Ces cumuls ont une période de retour associée qui est calculée avec les coefficients de Montana locaux :

Durée du pas de temps	1h	2h	3h	4h	6h	12h	24h
Maximum du cumul de précipitations correspondant à cette durée à Saint-Omer-SPC (en mm)	7,5	12,8	16,4	19,6	24	31,2	32,1
Cumul de précipitations correspondant à cette durée à HAUT-ARQUES (en mm)	9,4	16,0	20,5	24,5	30,0	39,0	40,1
Période de retour associée (en années)	< 1	< 2	< 2	2	4	5	3 à 4

SYNTHESE :

L'épisode pluvieux du 17 juin 2016 ayant engendré les dernières fortes inondations sur le secteur d'étude était constitué d'une succession de plusieurs averses orageuses, parfois grêligènes. Le cumul de pluie sur le secteur étudié était de près de 40mm en 12 heures, soit un événement de période de retour 5 ans.

5.5 Evolution des pluies depuis 20 ans

Il est souvent cité une « augmentation » des intensités et fréquences de fortes pluies depuis ces dernières années, tant par les médias que les interlocuteurs locaux.

Qu'en est-il réellement ?

Nous avons analysé en détail les données pluviométriques de Lille-Lesquin entre 1998 et 2017 (20 années) afin d'observer s'il y a une augmentation du régime pluviométrique.

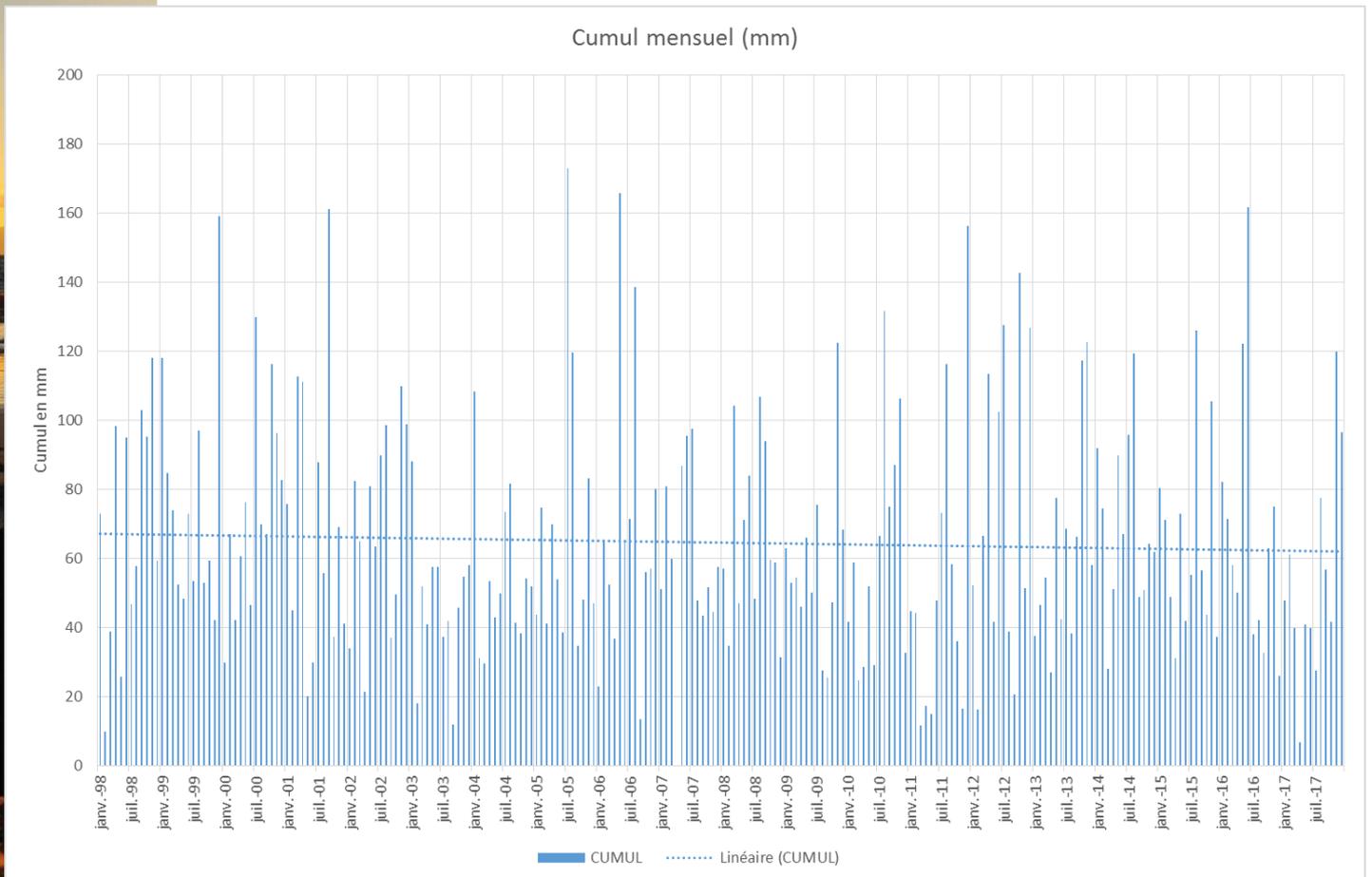
Le secteur de Lille est considéré comme représentatif du secteur de Saint-Omer, car suffisamment à l'intérieur des terres et moins sujet à influence océanique que le littoral.

Les résultats obtenus sont synthétisés dans les graphiques suivants.

Le terme « linéaire » définit la droite de régression linéaire (donc la tendance).

✓ EVOLUTION DES CUMULS MENSUELS :

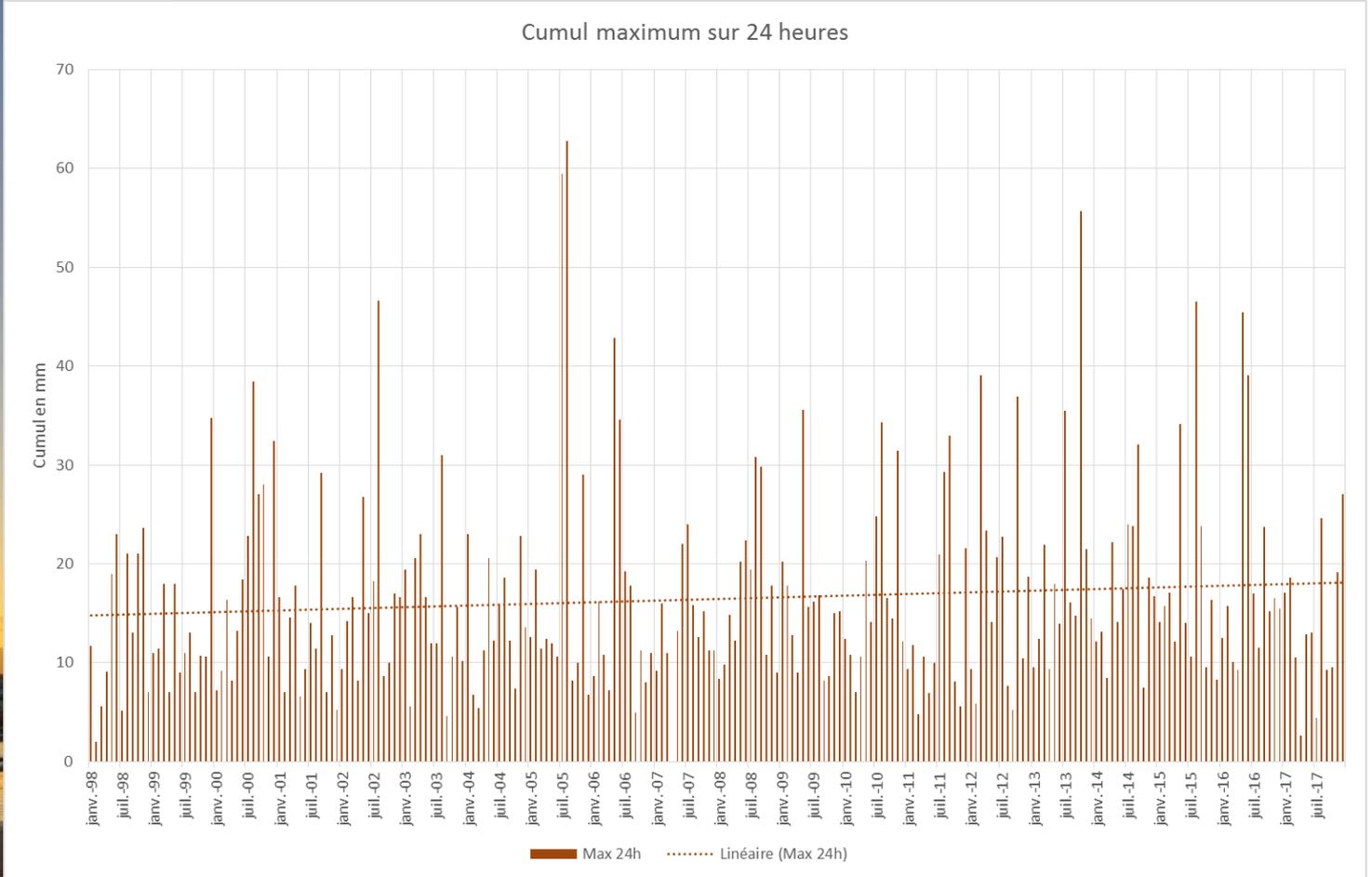
Les cumuls mensuels présentent une évolution à la **légère baisse** depuis 1998 (de 67 à 62 mm environ en moyenne / mois) :



Document n° 25 : Evolution des cumuls mensuels à Lille-Lesquin depuis 1998.

✓ **EVOLUTION DES CUMULS MAXIMUM JOURNALIERS :**

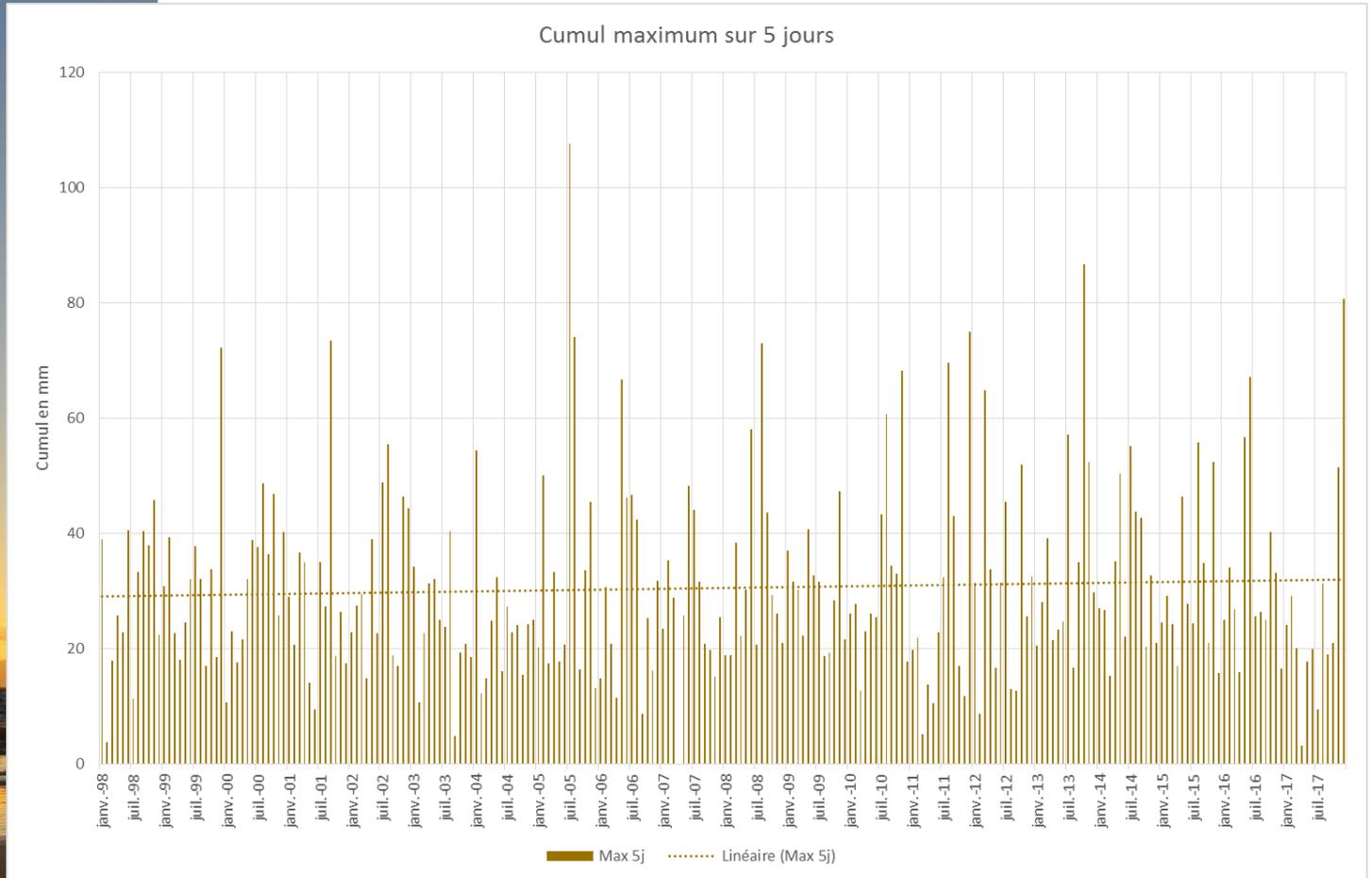
Les cumuls pluviométriques maximum sur 24 heures (typique de pluies intenses estivales) sont **en légère hausse (+20%)** depuis 1998 (en moyenne de 15 mm à 18 mm) :



Document n° 26 : Evolution des cumuls maximum sur 24 heures à Lille-Lesquin depuis 1998.

✓ EVOLUTION DES CUMULS MAXIMUM SUR 5 JOURS GLISSANTS :

Les cumuls pluviométriques maximum sur 5 jours glissants (typique de pluies hivernales) sont **en légère hausse (+10%)** depuis 1998 (en moyenne de 29 mm à 32 mm) :

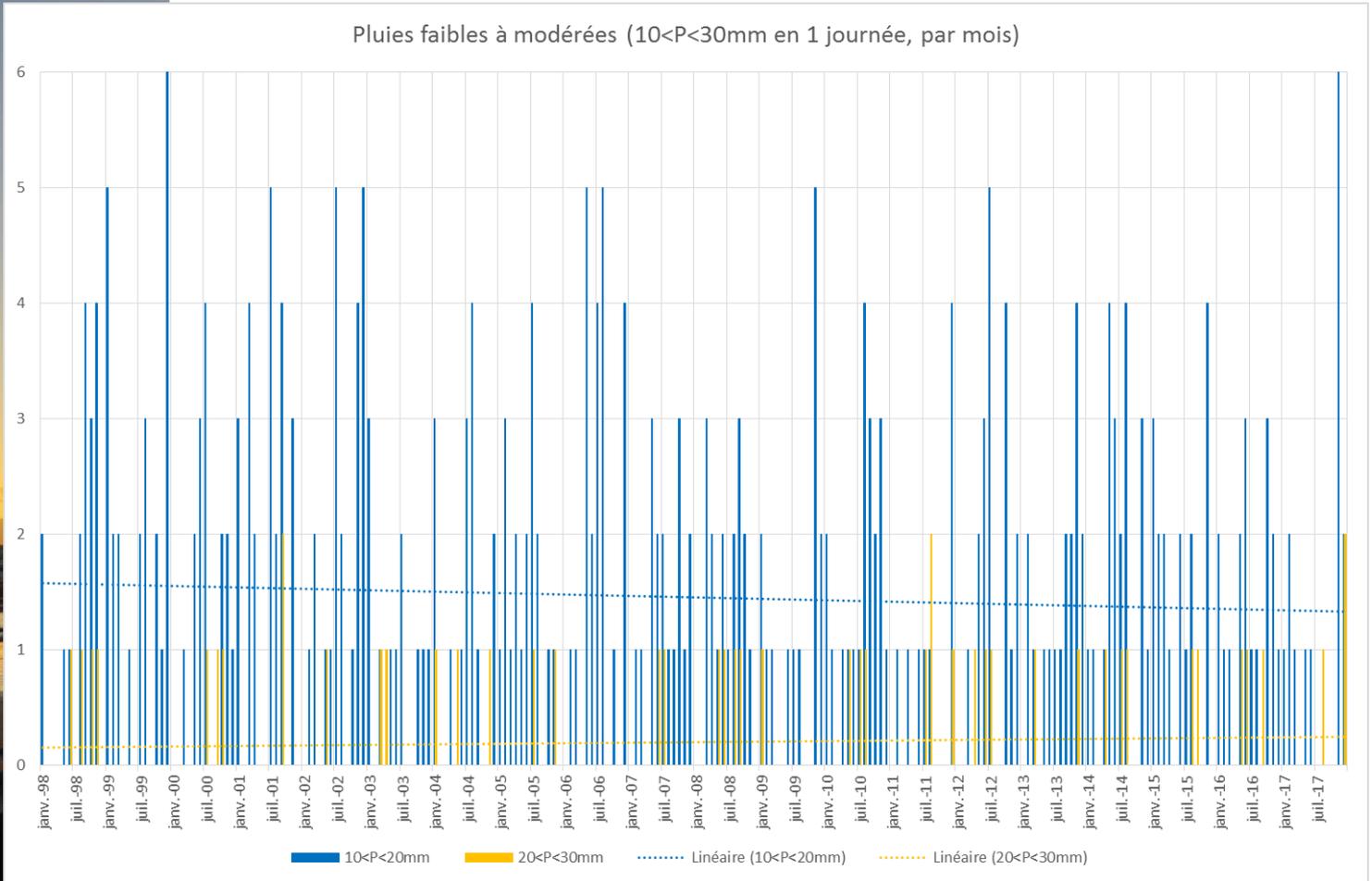


Document n° 27 : Evolution des cumuls maximum sur 5 jours glissants à Lille-Lesquin depuis 1998.

✓ EVOLUTION DES FREQUENCES D'APPARITION DE PLUIES MODEREMENT INTENSES :

Considérons les pluies dites « modérément » intenses comme celles de période de retour inférieures ou égales à 2 ans, n'occasionnant – en général – pas de problèmes d'inondations.

L'analyse statistique sur les 20 dernières années ne montre **pas d'augmentation** du nombre de pluies modérément intenses, l'évolution est à la baisse pour les épisodes de 10 mm à 20 mm précipités en 24 heures et à la stabilité pour ceux de 20 à 30mm en 24 heures :



Document n° 28 : Evolution des fréquences d'apparition de pluies modérées à Lille-Lesquin depuis 1998.

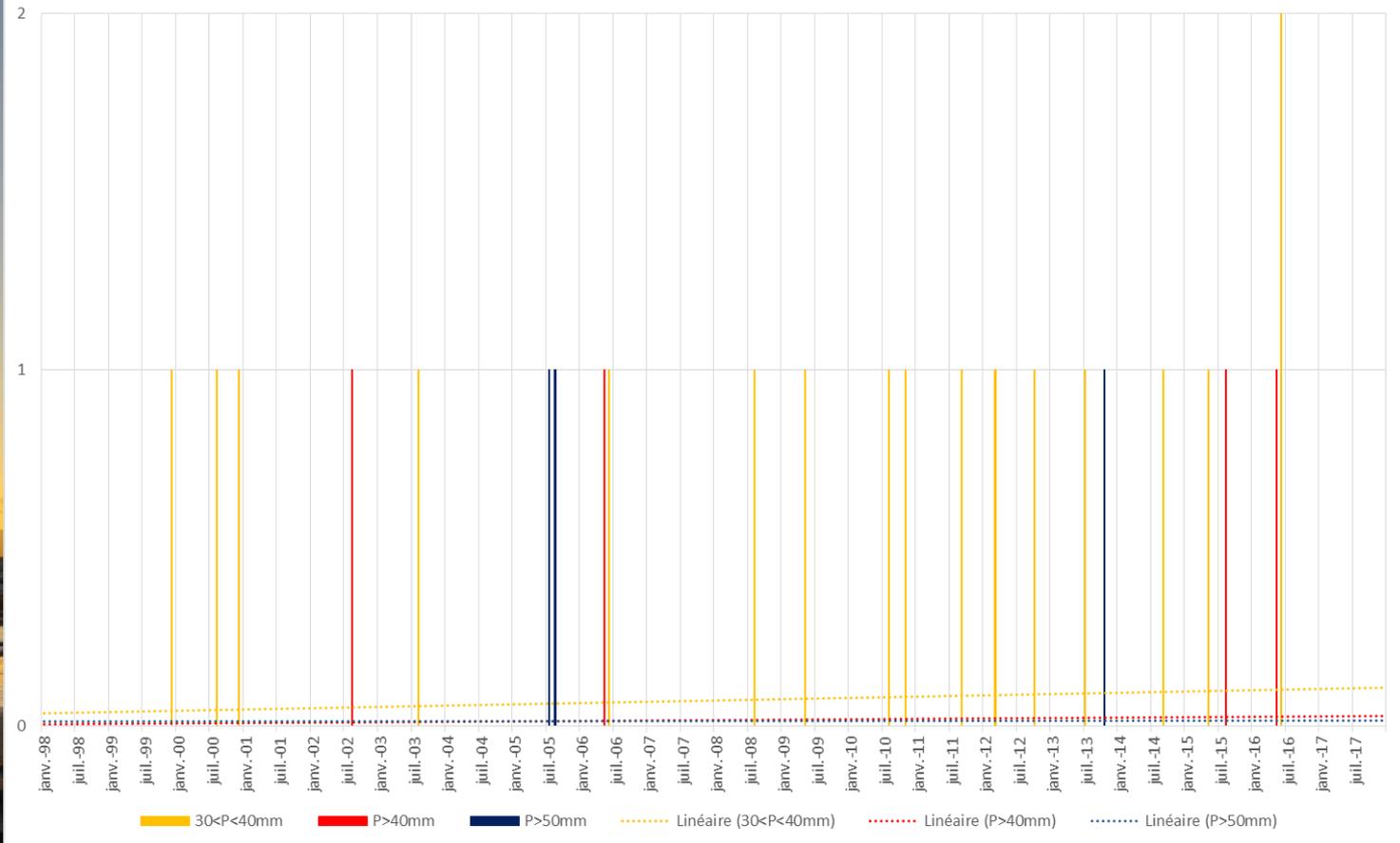
✓ **EVOLUTION DES FREQUENCES D'APPARITION DE PLUIES INTENSES :**

Considérons les pluies dites « intenses » comme celles de période de retour supérieures 2 ans, pouvant occasionner des problèmes d'inondations.

L'analyse statistique sur les 20 dernières années montre :

- **une augmentation** forte du nombre d'événements pluvieux forts (entre 30 et 40mm / 24 heures) : leur nombre a doublé sur la dernière décennie par rapport à la précédente.
- à contrario **une stabilité** des événements pluvieux les plus forts (> 40mm / 24 heures).

Fortes pluies (P>30mm en 1 journée, par mois)



Document n° 29 : Evolution des fréquences d'apparition de pluies intenses à Lille-Lesquin depuis 1998.

SYNTHESE :

Les observations des cumuls de pluies mensuels, des pluies journalières et du nombre de jours de pluies modérés à fortes depuis 20 ans sur la station de Lille-Lesquin **montrent une augmentation notable d'un type de pluie en particulier : les averses cumulant entre 30 et 40mm en 24 heures (période de retour 2 à 5 ans).**

A contrario, les épisodes pluvieux les plus intenses (période de retour > 5 ans) ne sont pas plus nombreux récemment qu'il y a 20 ans. En outre, l'évolution depuis 20 ans va à la baisse concernant les cumuls de pluies mensuels et annuels.

5.6 Perspectives liées au changement climatique

Les projections climatiques du GIEC transcrites à l'échelle de la région laissent penser que le territoire, hormis le littoral, connaîtra des changements localement problématiques mais de portée plutôt limitée comparée à d'autres régions françaises et surtout à d'autres parties du globe.

La région est sensible au changement climatique avec des conséquences pour les aspects suivants (Sources : SRCAE et étude MEDCIE Nord Pas-de-Calais - Picardie) :

- ▶ **La hausse des phénomènes de submersions marines et d'inondations continentales ;**
- ▶ La hausse de fréquence des vagues de chaleur impliquant en milieu urbain notamment des aléas de chaleur extrême ;
- ▶ L'accroissement de la fréquence et de la durée des sécheresses estivales tendant à concentrer la pollution dans les cours d'eau et les milieux aquatiques et **impliquant la diminution/dégradation de la ressource en eau de surface ;**
- ▶ **La pollution de l'air qui, à émissions constantes par rapport à aujourd'hui, devrait augmenter** sous l'effet du réchauffement climatique, favorisant la formation d'ozone et de particules ;
- ▶ **La vulnérabilité des forêts** à l'évolution des températures et des conditions hydriques, notamment pour certaines espèces particulièrement sensibles ;
- ▶ **La forte sensibilité des milieux humides** à l'évolution des températures et des conditions hydriques. Ces zones sensibles, déjà soumises à de nombreuses pressions, verront leur vulnérabilité augmenter avec le changement climatique, notamment celles qui dépendent essentiellement des eaux de pluie ;
- ▶ **La vulnérabilité des constructions** (logements et infrastructures) au phénomène de retrait/gonflement des argiles, sous l'effet de l'accroissement des périodes sèches en durée et en intensité.

L'évolution des précipitations est envisagée comme telle (Source : Météo France, changement climatique en Nord-Pas-de-Calais, 2011) :

Jusqu'en 2050 inclus, le cumul annuel de précipitations est stable par rapport à la climatologie actuelle pour tous les scénarios. Cependant le cumul annuel cache une disparité significative entre l'hiver et l'été :

- lors de la saison froide, les précipitations ont tendance à augmenter, entre +15 et +40 mm (soit +2% à +10% suivant les zones).
- lors de la saison chaude, elles ont tendance à diminuer dans une même proportion, entre -15 et -50 mm (soit -4% à -14% suivant les zones).

D'une manière générale, plus le scénario est pessimiste, plus la tendance est marquée.

A l'horizon 2080, les précipitations pour les 2 saisons sont à la baisse.

L'amplitude de cette baisse reste plus faible et plus incertaine en hiver, entre 0 et -30 mm pour 6 mois. Mais la tendance par rapport à 2050 est nette : l'anomalie positive de précipitations hivernales devient nulle, voire négative.

La diminution des précipitations estivales se poursuivant, le cumul annuel a une tendance significative à la baisse pour 2080, entre -40 et -110 mm par an (soit -4% à -14% suivant les zones).

Paramètres extrêmes :

Le nombre de pluies supérieures à 10 mm reste proche des normales actuelles au cours du XXI^{ème} siècle.

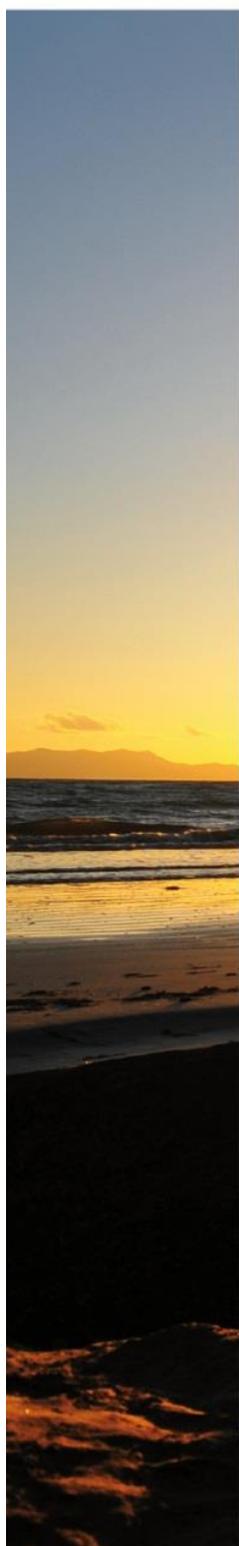
A noter que ce paramètre est légèrement au-dessus de la climatologie actuelle en 2030 et 2050 pour tous les scénarios. Mais l'ampleur de l'anomalie reste peu significative, autour de +1 jours par an sur une vingtaine au total. Par conséquent, le cumul de précipitations total baissant, la part relative de fortes pluies augmenterait.

La diminution des précipitations, notamment estivales, s'accompagne d'une augmentation du nombre de jours connaissant une sécheresse. Une sécheresse est définie comme un déficit en eau au cours du cycle hydrologique modélisé. Le paramètre étudié est la proportion de temps passé à subir un état de sécheresse en une année.

La proportion de jours secs augmente très fortement au cours du siècle, d'après les projections climatiques, de 8% aujourd'hui à 40 à 75% en 2080. Plus le scénario est pessimiste, plus la tendance est marquée. On peut s'attendre à ce que ces périodes de sécheresse aient lieu principalement en été.

Tableau de synthèse des précipitations selon les différents scénarios B1, A1B et A2 (voir définitions en page suivante) du GIEC :

Précipitations annuelles (mm)									
1971/ 2000	2030			2050			2080		
	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2
801	+6	-4	-3	+3	-15	-8	-44	-106	-80
Précipitations estivales (mm) avril à septembre									
1971/ 2000	2030			2050			2080		
	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2
366	-19	-19	-25	-20	-39	-49	-38	-76	-77
Précipitations hivernales (mm) octobre à mars									
1971/ 2000	2030			2050			2080		
	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2
435	+25	+16	+22	+23	+24	+42	-6	-30	-3
RR > 10 mm (nombre de jours)									
1971/ 2000	2030			2050			2080		
	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2
22,5	+0,1	+0,4	+0,6	+0,7	+1,2	+1,7	-	-1,2	+0,1



Famille de scénario A1 :

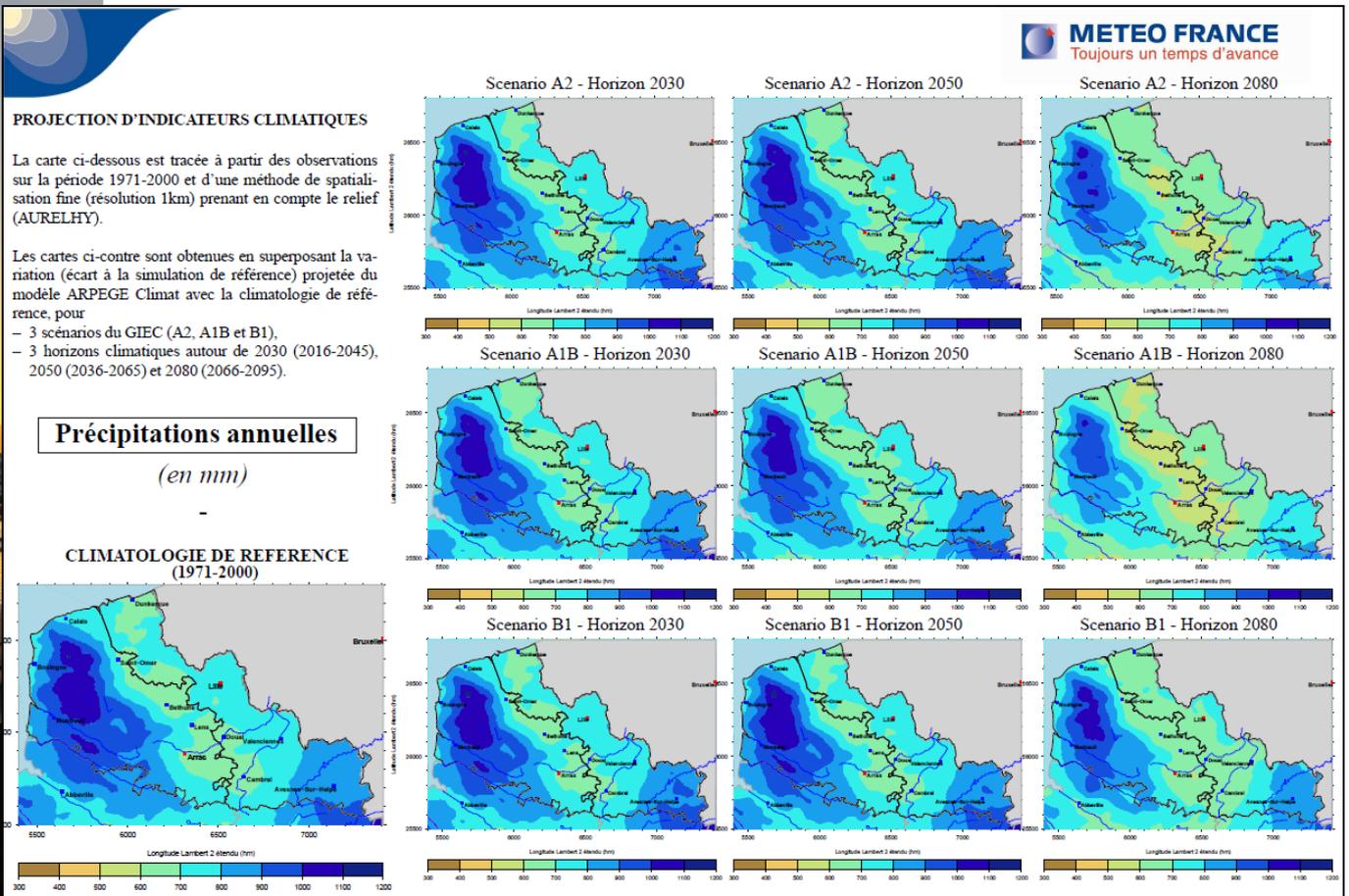
Elle postule une croissance économique très rapide et répartie de façon homogène sur la planète. La population mondiale atteint un maximum de 9 milliards d'individus au milieu du siècle pour décliner ensuite. De nouvelles technologies énergétiquement efficaces sont introduites rapidement. Les variantes viennent de l'utilisation plus ou moins intense des combustibles fossiles. Par exemple, la variante A1B suppose une utilisation des différentes sources énergétiques sans en privilégier une en particulier (scénario médian).

Famille de scénario A2 :

Elle prévoit un monde beaucoup plus hétérogène : la croissance économique et le développement des technologies énergétiquement efficaces sont très variables selon les régions et la population atteint 15 milliards d'habitants à la fin du siècle sans cesser de croître.

Famille de scénario B1 :

Elle décrit la même hypothèse démographique que la famille A1 mais avec une économie rapidement dominée par les services, les « techniques de l'information et de la communication » et dotée de technologies énergétiquement efficaces. Mais sans initiatives supplémentaires par rapport à aujourd'hui pour gérer le climat. Ce scénario est le plus optimiste.



PROJECTION D'INDICATEURS CLIMATIQUES

La carte ci-dessous est tracée à partir des observations sur la période 1971-2000 et d'une méthode de spatiation fine (résolution 1km) prenant en compte le relief (AURELHY).

Les cartes ci-contre sont obtenues en superposant la variation (écart à la simulation de référence) projetée du modèle ARPEGE Climat avec la climatologie de référence, pour

- 3 scénarios du GIEC (A2, A1B et B1),
- 3 horizons climatiques autour de 2030 (2016-2045), 2050 (2036-2065) et 2080 (2066-2095).

Précipitations annuelles
(en mm)

CLIMATOLOGIE DE REFERENCE (1971-2000)

Document n° 30 : Projection d'indicateurs climatiques – précipitations annuelles (source : Météo France).

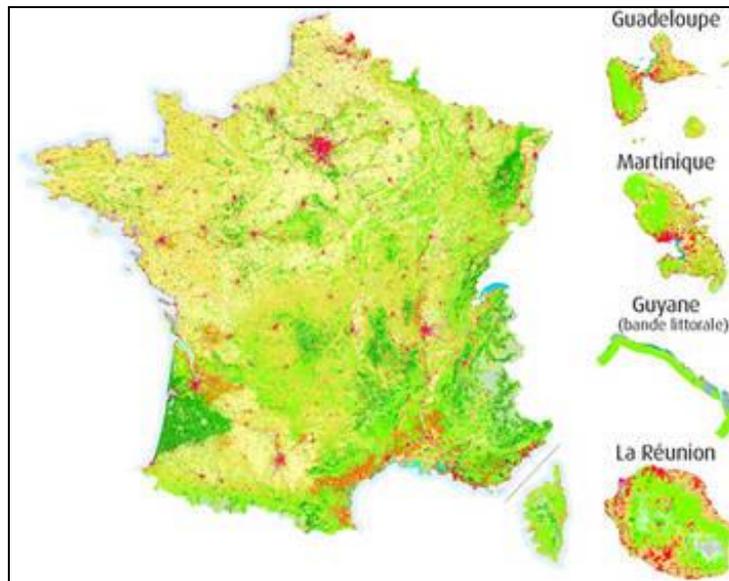
En conclusion, les projections climatiques à long terme montrent une légère augmentation des pluies hivernales et de leur intensité, mais de manière peu importante, et la tendance s'inverserait à l'horizon 2080 avec une diminution des quantités précipitées. Les techniques de dimensionnement utilisées actuellement pour les ouvrages de rétention des eaux pluviales intègrent un coefficient de sécurité de 20% qui permet de prendre en compte l'hypothèse de la faible augmentation de quantités précipitées à long terme.

6 ANALYSE DE L'OCCUPATION DES SOLS

6.1 Analyse des données Corine Land Cover

L'occupation du sol a été étudiée à partir de la Corine Land Cover et des données d'occupations de la base de données SIGALE sur la région Nord Pas de Calais. 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 pour 38 états européens. La continuité du programme et la diffusion des données CORINE Land Cover sont pilotées par l'Agence européenne pour l'environnement. Le producteur pour la France est le Service de l'observation et des statistiques du ministère chargé de l'environnement.



Document n° 31 : Présentation du Corine Land Cover

CORINE Land Cover est issue de l'interprétation visuelle d'images satellitaires, avec des données complémentaires d'appui. L'échelle de production est le 1/100 000. Il existe 4 millésimes de la base CORINE Land Cover en Europe : 1990, 2000, 2006 et 2012.

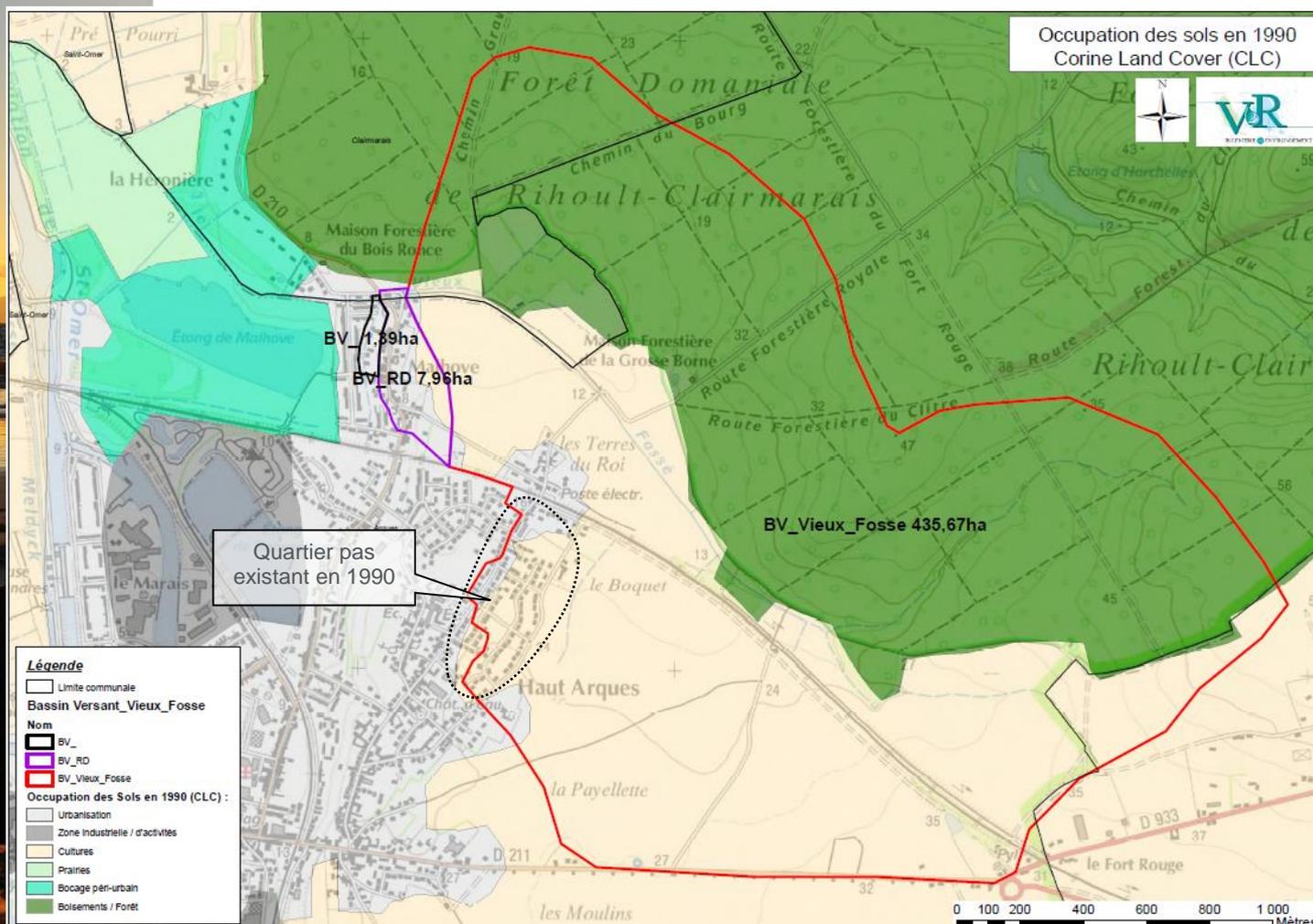
Source : <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/donnees-ligne/li/1825/1097/occupation-sols-corine-land-cover.html>

La méthodologie de production de ces bases de données géographiques est disponible sur le site : http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/donnees-ligne/t/methode-production-base-donnees.html?tx_ttnews%5Btt_news%5D=11268&c.

Nous allons utiliser ces données pour comparer l'occupation des sols entre 1990, 2000 et 2012.

Le tableau ci-dessous présente la répartition de l'occupation du sol du bassin versant du Vieux Fossé selon la Corine Land Cover 1990 :

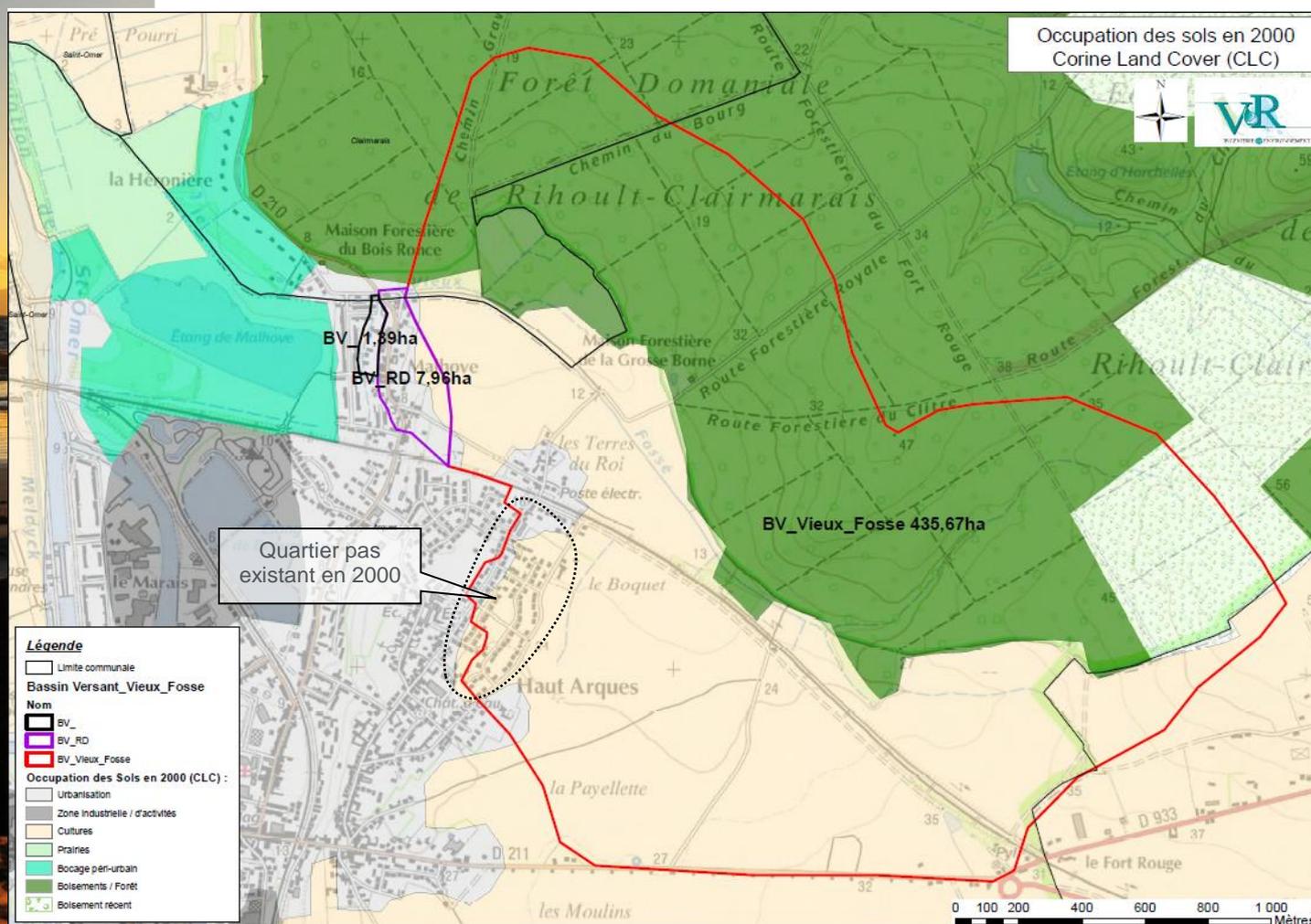
Code CLC	Occupation du sol	Surface en ha en 1990	Pourcentage de la surface totale du bassin versant
BASSIN VERSANT DU VIEUX-FOSSE :			
112	Tissu urbain discontinu	10,37	2,4 %
121	Zones industrielles et commerciales	-	-
211	Terres arables hors périmètres d'irrigation	204,6	47,0 %
231	Prairies	-	-
311	Boisements / forêts	220,69	50,7 %
324	Boisement récent	-	-
TOTAL		435,66	-
BASSIN VERSANT RD :			
112	Tissu urbain discontinu	6,29	79,1 %
211	Terres arables hors périmètres d'irrigation	1,66	20,9 %
TOTAL		7,95	-
BASSIN VERSANT 1 :			
112	Tissu urbain discontinu	1,38	100,0 %
TOTAL		1,38	-



Document n° 32 : Occupation des sols en 1990 (source : Corine Land Cover).

Le tableau ci-dessous présente la répartition de l'occupation du sol du bassin versant du Vieux Fossé selon la Corine Land Cover 2000 :

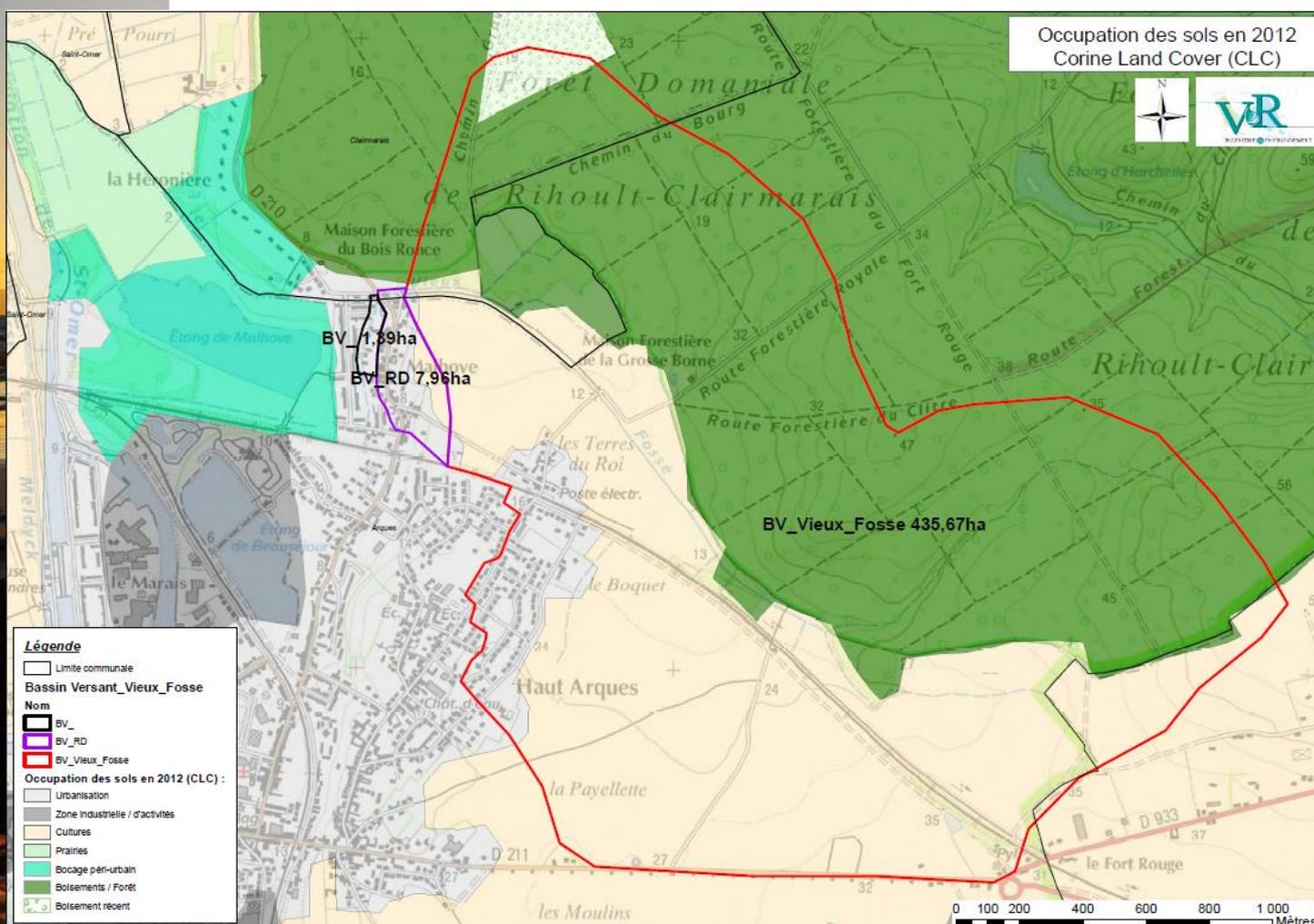
Code CLC	Occupation du sol	Surface en ha en 2000	Pourcentage de la surface totale du bassin versant
BASSIN VERSANT DU VIEUX-FOSSE :			
112	Tissu urbain discontinu	10,37	2,4 %
121	Zones industrielles et commerciales	-	-
211	Terres arables hors périmètres d'irrigation	204,6	47,0 %
231	Prairies	-	-
311	Boisements / forêts	195,51	44,9 %
324	Boisement récent	25,18	5,8 %
TOTAL		435,66	-
BASSIN VERSANT RD :			
112	Tissu urbain discontinu	6,29	79,1 %
211	Terres arables hors périmètres d'irrigation	1,66	20,9 %
TOTAL		7,95	-
BASSIN VERSANT 1 :			
112	Tissu urbain discontinu	1,38	100,0 %
TOTAL		1,38	-



Document n° 33 : Occupation des sols en 2000 (source : Corine Land Cover).

Le tableau ci-dessous présente la répartition de l'occupation du sol du bassin versant du Vieux Fossé selon la Corine Land Cover 2012 :

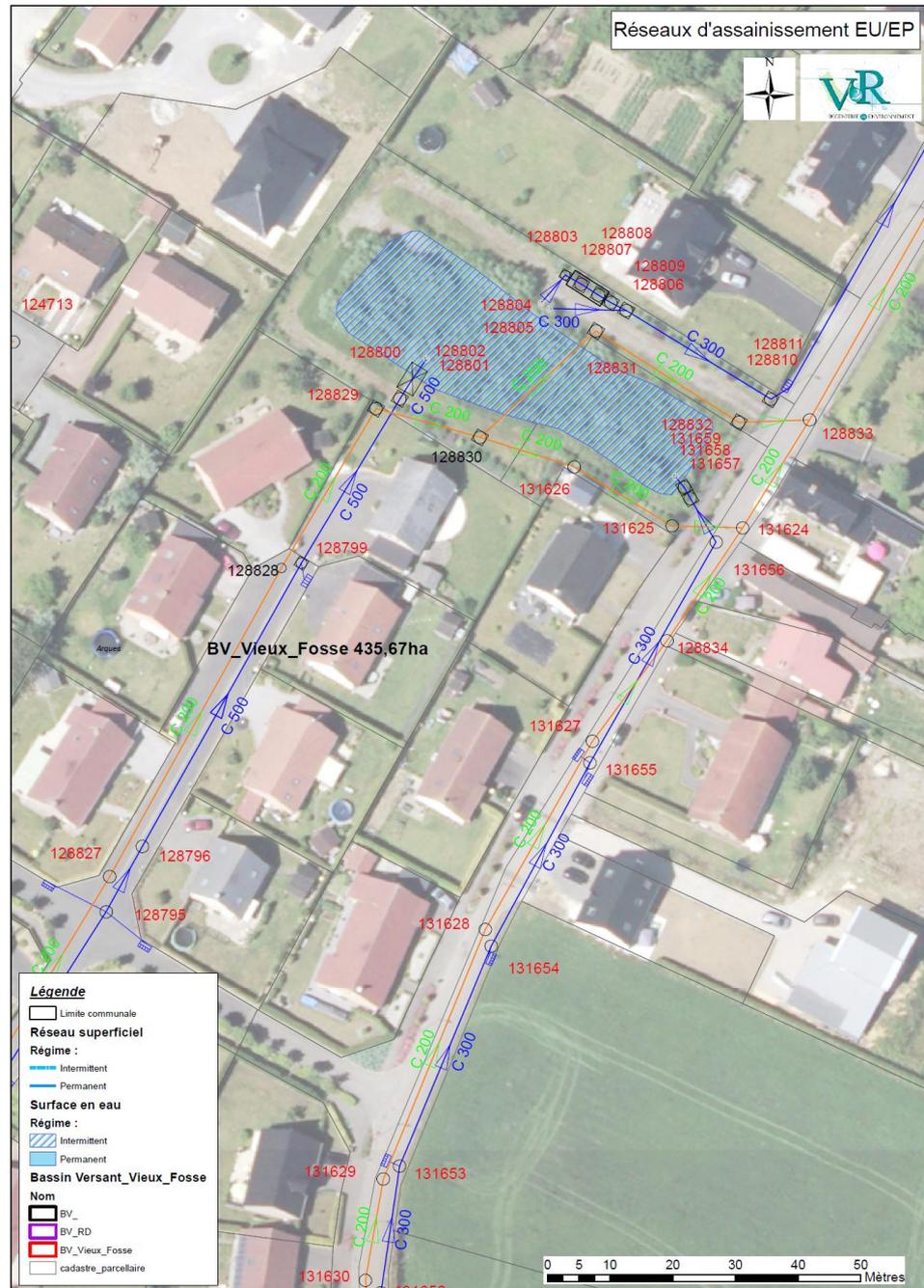
Code CLC	Occupation du sol	Surface en ha en 2012	Pourcentage de la surface totale du bassin versant
BASSIN VERSANT DU VIEUX-FOSSE :			
112	Tissu urbain discontinu	21,58	5,0 %
121	Zones industrielles et commerciales	-	-
211	Terres arables hors périmètres d'irrigation	193,39	44,4 %
231	Prairies	-	-
311	Boisements / forêts	216,33	49,5 %
324	Boisement récent	4,36	1,0 %
TOTAL		435,66	-
BASSIN VERSANT RD :			
112	Tissu urbain discontinu	6,29	79,1 %
211	Terres arables hors périmètres d'irrigation	1,66	20,9 %
TOTAL		7,95	-
BASSIN VERSANT 1 :			
112	Tissu urbain discontinu	1,38	100,0 %
TOTAL		1,38	-



Document n° 34 : Occupation des sols en 2012 (source : Corine Land Cover).

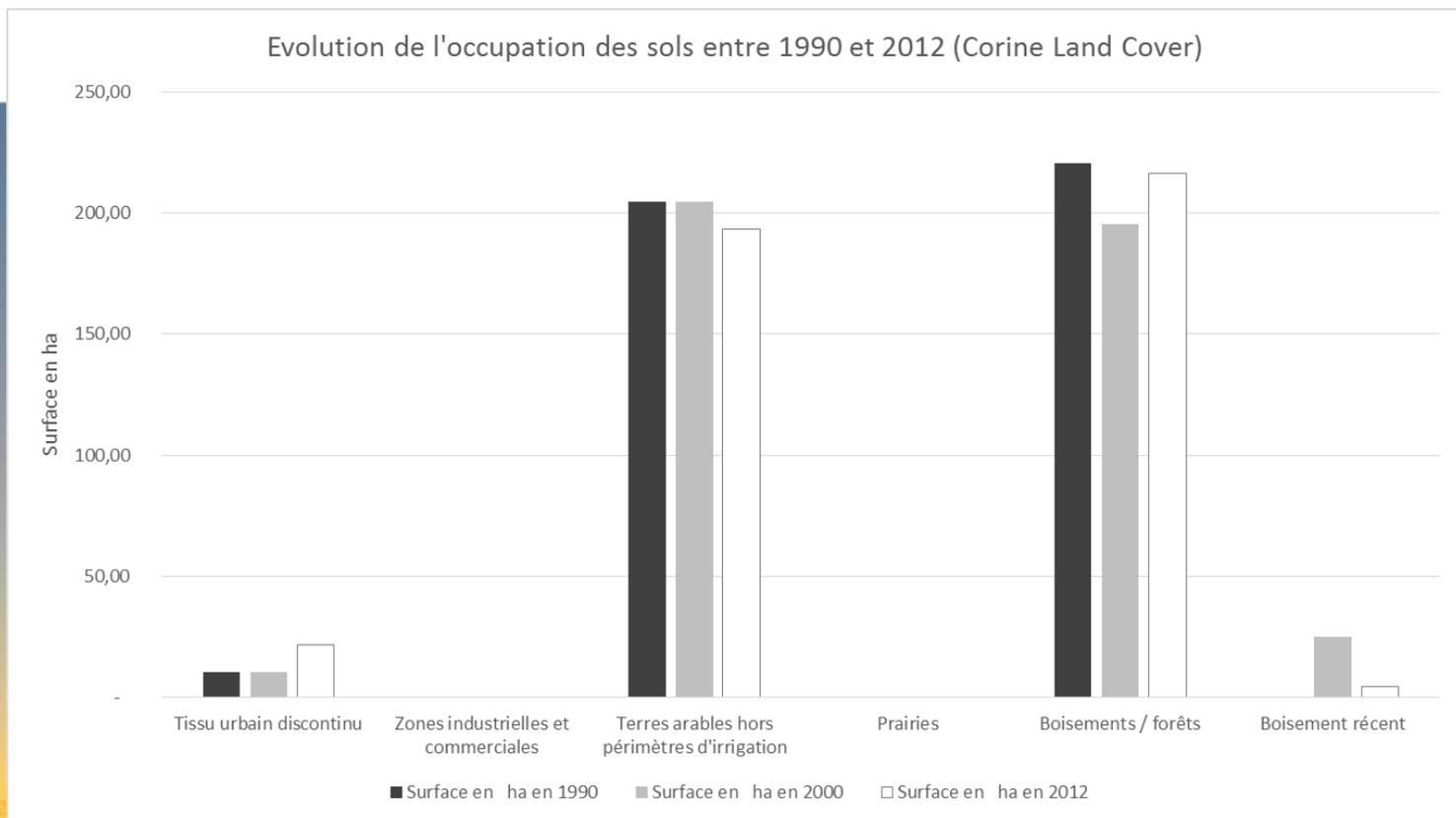
On constate que l'occupation des sols sur le bassin versant a peu changé entre 1990 et 2012.

Le seul changement notable concerne l'extension urbaine sur le Haut-Arques, au niveau des logements du Haut-Arques (Rue Montgolfier,...). Ces extensions ont fait l'objet de la mise en œuvre de réseaux d'assainissement séparatifs eaux usées / eaux pluviales et les eaux de ruissellement urbaines sont stockées à débit de fuite dans un bassin de rétention avant rejet au réseau hydraulique superficiel. L'urbanisation a donc un impact hydraulique fortement réduit sur l'aval :



Document n° 35 : Extrait du plan de réseaux d'assainissement sur le secteur urbanisé du Haut-Arques (source : Véolia Eau).

Les graphiques ci-dessous présentent l'évolution de l'occupation des sols entre 1990 et 2012, regroupés par grandes familles :



Document n° 36 : Principaux types d'occupation du sol en 1990 – 2000 - 2012, répartition au sein du bassin versant du Vieux-Fossé

SYNTHESE :

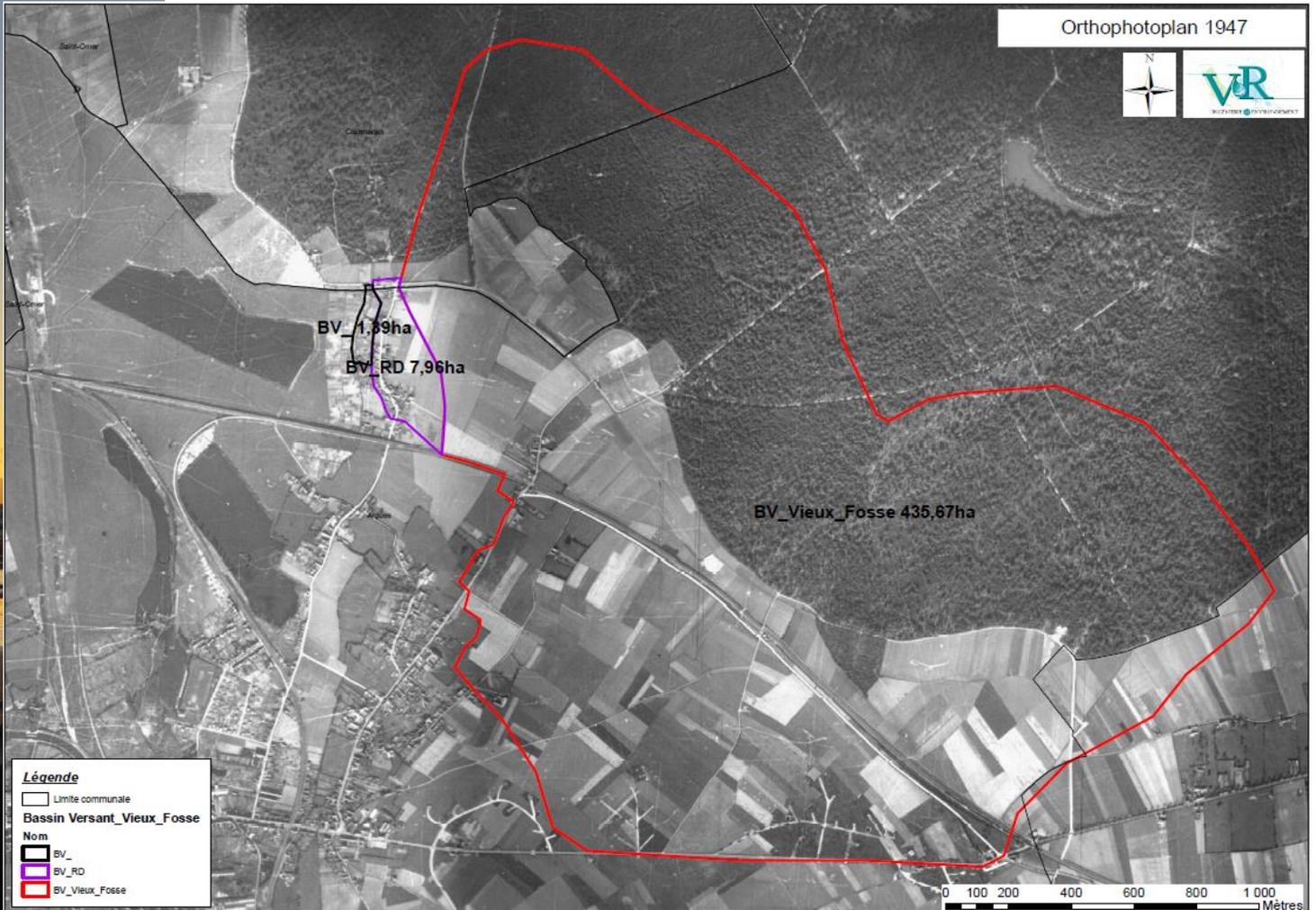
L'occupation des sols a globalement très peu changé sur le bassin versant étudié entre 1990 et 2012 :

- le couvert forestier est resté le même ;
- les surfaces cultivées ont diminué de 11 ha environ au profit de l'extension de l'urbanisation du Haut-Arques (l'urbanisation a augmenté de 2,5 à 5% de la surface totale du bassin versant du Vieux-Fossé sur la période 2000-2012).

6.2 Analyse détaillée à partir des photographies aériennes (1947, 2005 et 2015)

Les données du Corine Land Cover sont utiles pour une analyse globale ou historique mais ne sont pas assez détaillées à l'échelle d'un bassin versant de la taille de celui du Vieux-Fossé. Nous allons exploiter directement les photographies aériennes disponibles en 1947, 2005 et 2015 pour avoir plus de précisions :

✓ Orthophotoplan de 1947 sur le secteur étudié :



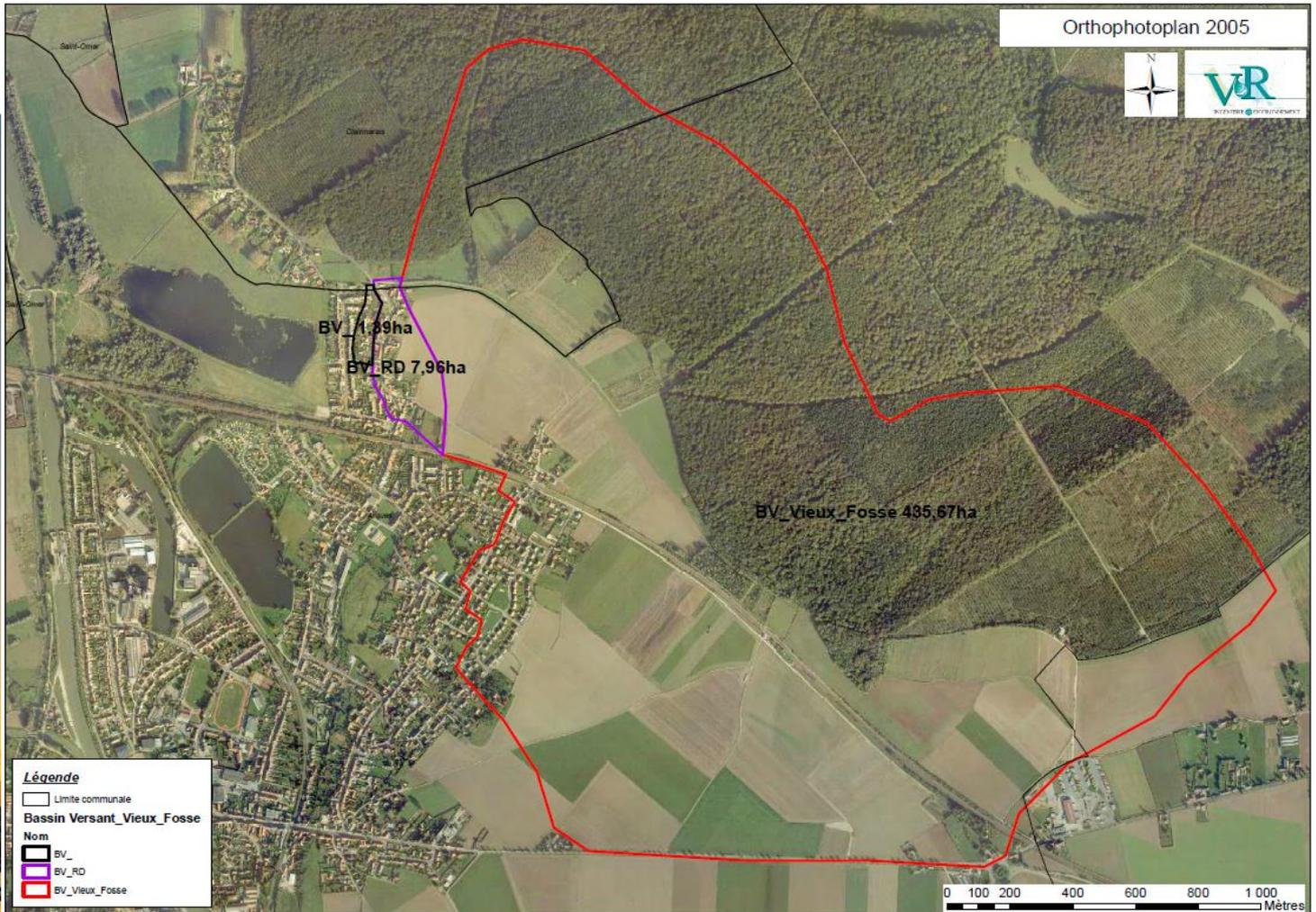
Document n° 37 : Orthophotoplan datant de 1947 sur le secteur étudié

L'information la plus intéressante de cette photographie est l'emprise de la Forêt Domaniale qui est sensiblement la même que celle d'aujourd'hui.

L'urbanisation est absente sur le bassin versant étudié, hormis la zone la plus proche du Rossignol au nord-ouest.

Le parcellaire agricole est très fractionné.

✓ **Orthophotoplan de 2005 sur le secteur étudié :**



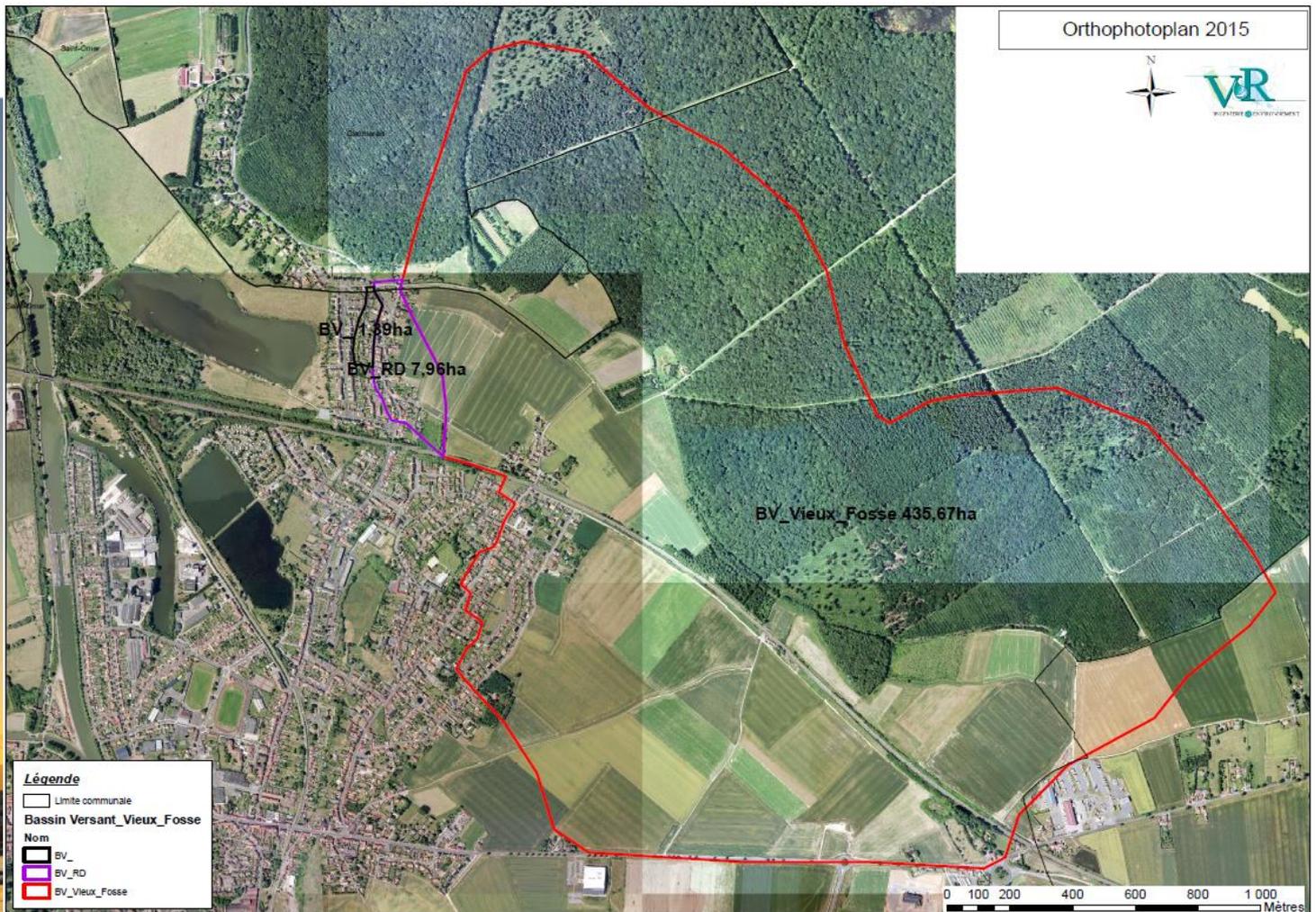
Document n° 38 : Orthophotoplan datant de 2005 sur le secteur étudié

De manière assez contradictoire par rapport aux idées couramment véhiculées, l'occupation des sols s'est peu urbanisée sur le bassin versant étudié par rapport aux époques anciennes (voir 1947 précédemment). Le quartier du Haut-Arques est la seule modification urbaine notable (extension vers le nord-est et donc le bassin versant du Vieux-Fossé. Cependant, la surface concernée (une douzaine d'hectares) reste faible à l'échelle du bassin versant complet de 436 ha.

La modification la plus notable concerne le parcellaire agricole, avec des parcelles beaucoup plus grandes.

La Forêt Domaniale s'est étendue localement un peu plus au sud vers la voie ferrée.

✓ **Orthophotoplan de 2015 sur le secteur étudié :**



Document n° 39 : Orthophotoplan datant de 2015 sur le secteur étudié

Il n'y a quasiment aucun changement d'occupation des sols entre 2005 et 2015 sur le bassin versant étudié.

Le développement de la Porte Multimodale de l'Aa se fait au sud de la route départementale, donc en dehors du périmètre du bassin versant.

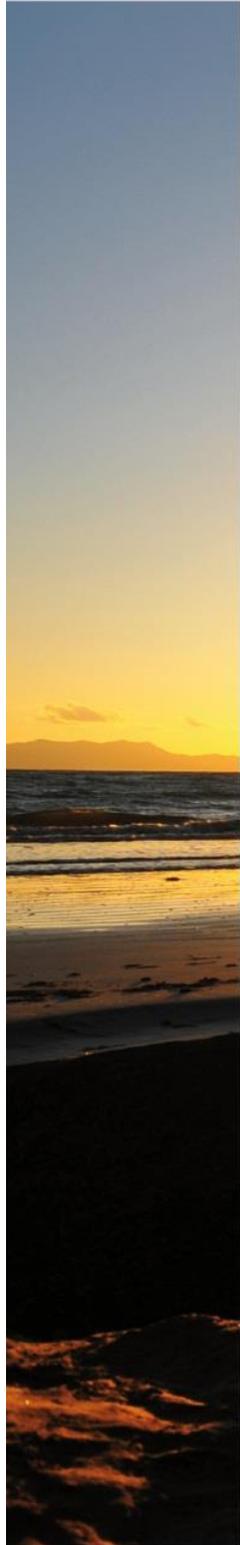
Le parcellaire agricole est quasiment inchangé.

SYNTHESE :

L'exploitation de photographies aériennes de 1947, 2005 et 2015 montre que :

- le couvert forestier est resté quasiment le même depuis 1947, sa surface a même très légèrement augmenté depuis ;
- l'urbanisation sur le bassin versant est restée de faible ampleur, avec une douzaine d'hectares en plus par rapport à 1947 ;
- la plus forte modification concernant l'occupation des sols entre 1947 et aujourd'hui concerne le fractionnement du parcellaire agricole, les parcelles sont aujourd'hui beaucoup plus grandes qu'avant.

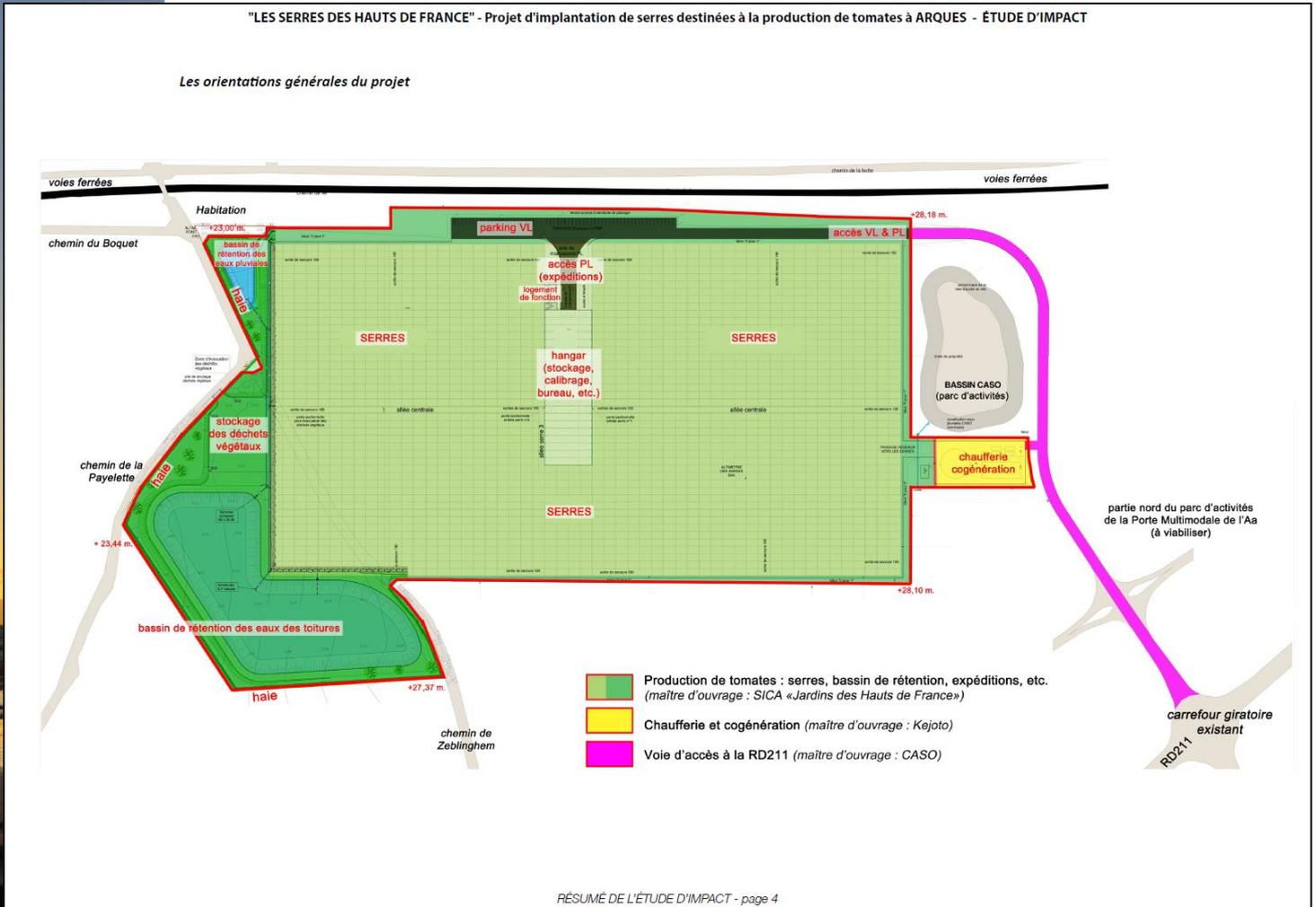
En conclusion, s'il y avait une augmentation de l'importance et de la fréquence des inondations au niveau du Rossignol depuis plusieurs années voire décennies (ce qui est supposé par les interlocuteurs locaux mais pas démontré), l'urbanisation partielle du bassin versant ne pourrait pas être mise en cause, d'autant plus que les eaux pluviales du lotissement du Haut-Arques sont gérées dans un bassin de rétention à débit de fuite régulé. S'il y avait effectivement plus de ruissellement « qu'avant », cela ne pourrait provenir que du mode d'exploitation des terres agricoles (compactage, drainage, sens des cultures, assolements,...).



6.3 Perspectives de développement urbain

Il existe des projets en cours de réalisation sur l'amont du bassin versant étudié :

- 1/ l'aménagement du site « Serres des Hauts-de-France » en cours, nous avons récupéré les pièces du dossier de permis de construire et l'arrêté préfectoral d'autorisation (disponible sur le site de la DREAL Hauts-de-France) :



Document n° 40 : Extrait de l'étude d'impact du projet « Serres des Hauts-de-France » (« Tomabel ») – Thierry Challon, 2015.

Ce projet correspond à l'aménagement de serres horticoles destinées à la production de tomates à Arques. Il est porté par la famille Vandeveld qui produit depuis 30 ans des tomates sous serres à Zedelgem près de Bruges (Flandre Occidentale), au sein de la société Vandtra BVBA.

L'unité de production de tomates (12,65 hectares) comprendra 9 ha de serres, auxquelles se grefferont les ateliers de calibrage, de conditionnement et d'expédition de la production, des locaux de stockage et de maintenance, des locaux pour le personnel et un logement de fonction, les voiries d'accès et bassin de rétention des eaux de voiries. Un bassin destiné à la récupération des eaux pluviales issues des toitures des serres sera aménagé sur l'emprise du projet pour l'arrosage de la production des tomates ; son dimensionnement correspond aux

besoins en eau des plants de tomates, le recours à des apports extérieurs n'étant envisagé que très exceptionnellement (périodes prolongées de très faible pluviométrie).

La gestion de la ressource en eau est décrite dans l'étude d'impact précitée :

▸ La nature limono-argileuse du sous-sol ne permet pas d'envisager une infiltration totale des eaux de ruissellement issues de l'opération. En conséquence, les aménagements suivants ont été adoptés :

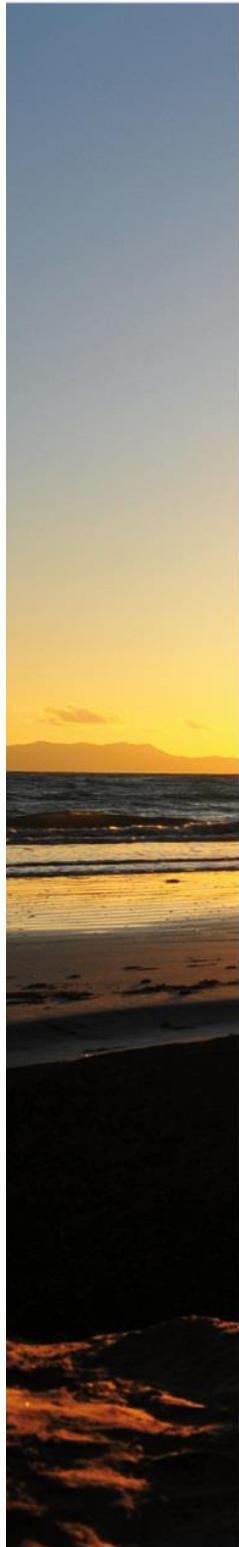
- Les eaux pluviales de ruissellement issues de la voirie et des espaces verts seront tamponnées via un bassin à ciel ouvert d'une capacité de plus de 800 m³ avant rejet limité (sur la base de 2 l/s/ha) vers le réseau d'assainissement géré par la CASO. L'infiltration sera partiellement possible.
- Les eaux pluviales de ruissellement issues des toitures seront acheminées dans un bassin de rétention étanche d'environ 50 000 m³ en vue d'être réutilisées pour l'arrosage des serres. Ce bassin est suffisamment dimensionné pour permettre de recueillir les eaux issues d'un événement pluvieux cinquantennal sans risques de débordement. En cas d'événement exceptionnel, un trop-plein sera présent et sera raccordé vers le bassin de rétention des eaux de voirie.
- Le projet intercepte également les eaux pluviales de ruissellement d'un bassin versant extérieur de nature agricole (6,90 ha). Ces eaux seront interceptées par une noue située en limite sud-ouest de l'opération (tamponnement et infiltration).

▸ En terme de qualité, afin de ne pas dégrader le milieu naturel et respecter la qualité du milieu souterrain, sont prévus :

- L'étanchéité des différentes surfaces de voiries et un écoulement dirigé vers une décantation permettant le traitement des éventuelles pollutions.
- La mise en place d'espèces végétales hygrophiles dégraissantes dans le bassin de rétention à ciel ouvert (abattement des particules fines et des matières en suspension contenues dans les eaux de voirie). Les eaux pluviales de ruissellement issues des toitures sont considérées comme « non polluées » et acheminées directement dans le bassin de rétention étanche pour une réutilisation pour l'arrosage des serres avec un fonctionnement en circuit fermé.
- Les eaux usées domestiques provenant de l'activité du bâtiment seront collectées par un réseau eaux usées strict et acheminées vers la station d'épuration d'Arques. Ce réseau est suffisamment dimensionné pour recevoir les effluents supplémentaires en provenance du projet.
- Le chantier d'aménagement sera conduit de manière à empêcher toute infiltration ou déversement.

CHIFFRES CLES DE LA GESTION DES EAUX PLUVIALES :

- Gestion de la pluie critique de période de retour 50 ans à 2 l/s/ha de débit de fuite.
- Bassin de rétention des EP des voiries et espaces verts = 823,5 m³ utiles (V50ans = 430 m³) et débit de fuite = 4,63 l/s.
- Eaux de toitures stockées dans un bassin de 50 000 m³ pour être réutilisées pour l'arrosage des plants de tomates. Trop-plein vers le bassin EP des voiries/espaces verts.
- Noue de stockage de 204 m³ de volume utile (V50ans = 190 m³) et débit de fuite = 13,8 l/s vers le bassin EP des voiries/espaces verts.



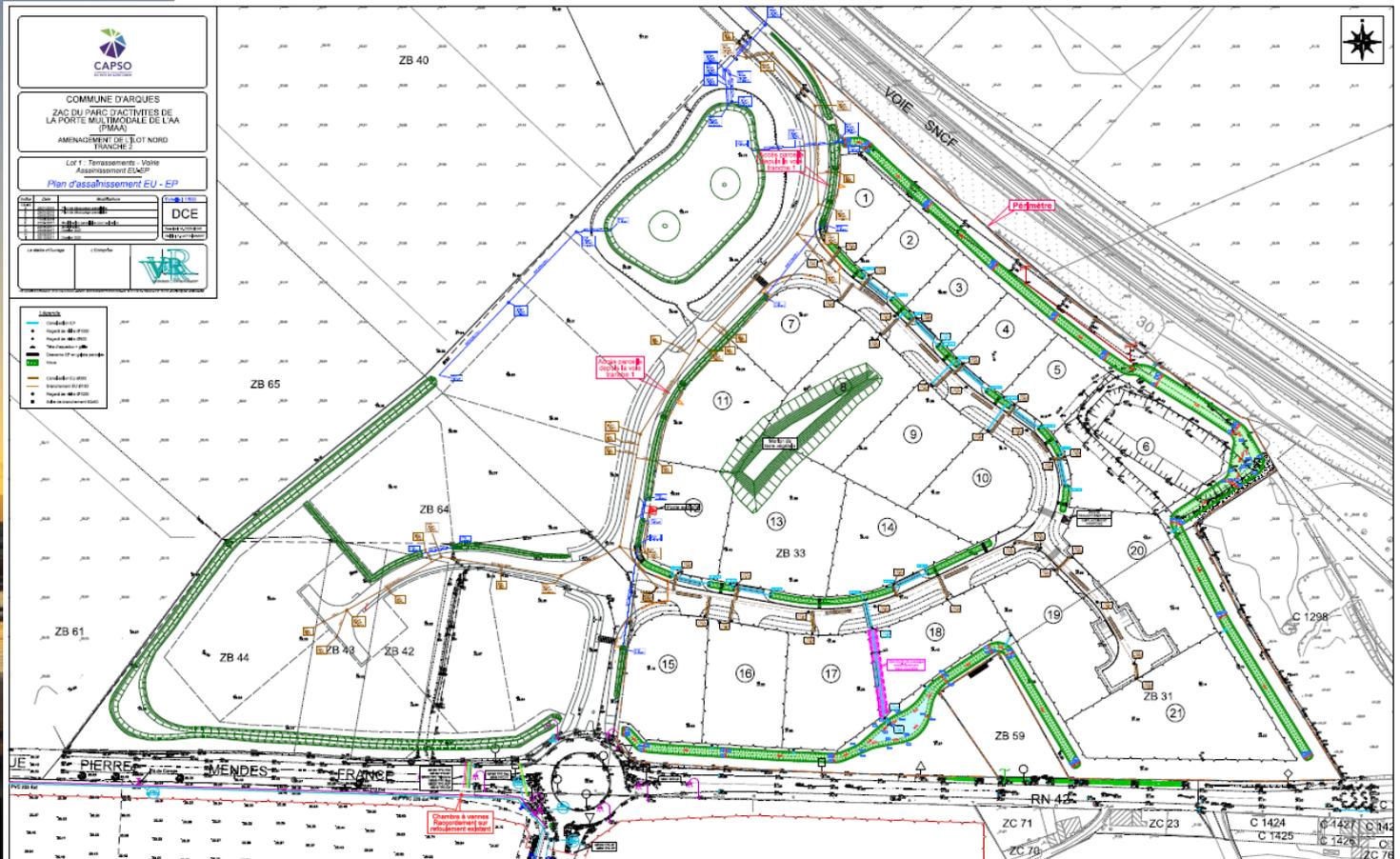
2/ l'aménagement de la partie nord de la Porte Multimodale de l'Aa, en cours également :

L'îlot nord de la Porte Multimodale de l'Aa est en projet de viabilisation.

Il s'étend sur 12,6 ha environ, en limite avec les Serres des Hauts-de-France au nord-ouest.

CHIFFRES CLES DE LA GESTION DES EAUX PLUVIALES :

- Gestion de la pluie critique de période de retour 50 ans à 2 l/s/ha de débit de fuite.
- Tenant compte des 12,6 ha collectés : bassin de rétention de la totalité du projet en domaine public $\approx 4\,420\text{ m}^3$ (T=50ans) et débit de fuite = 25,2 l/s.



Document n° 41 : Extrait du plan d'assainissement de la PMAa, partie Nord (source : V2R, 2017).

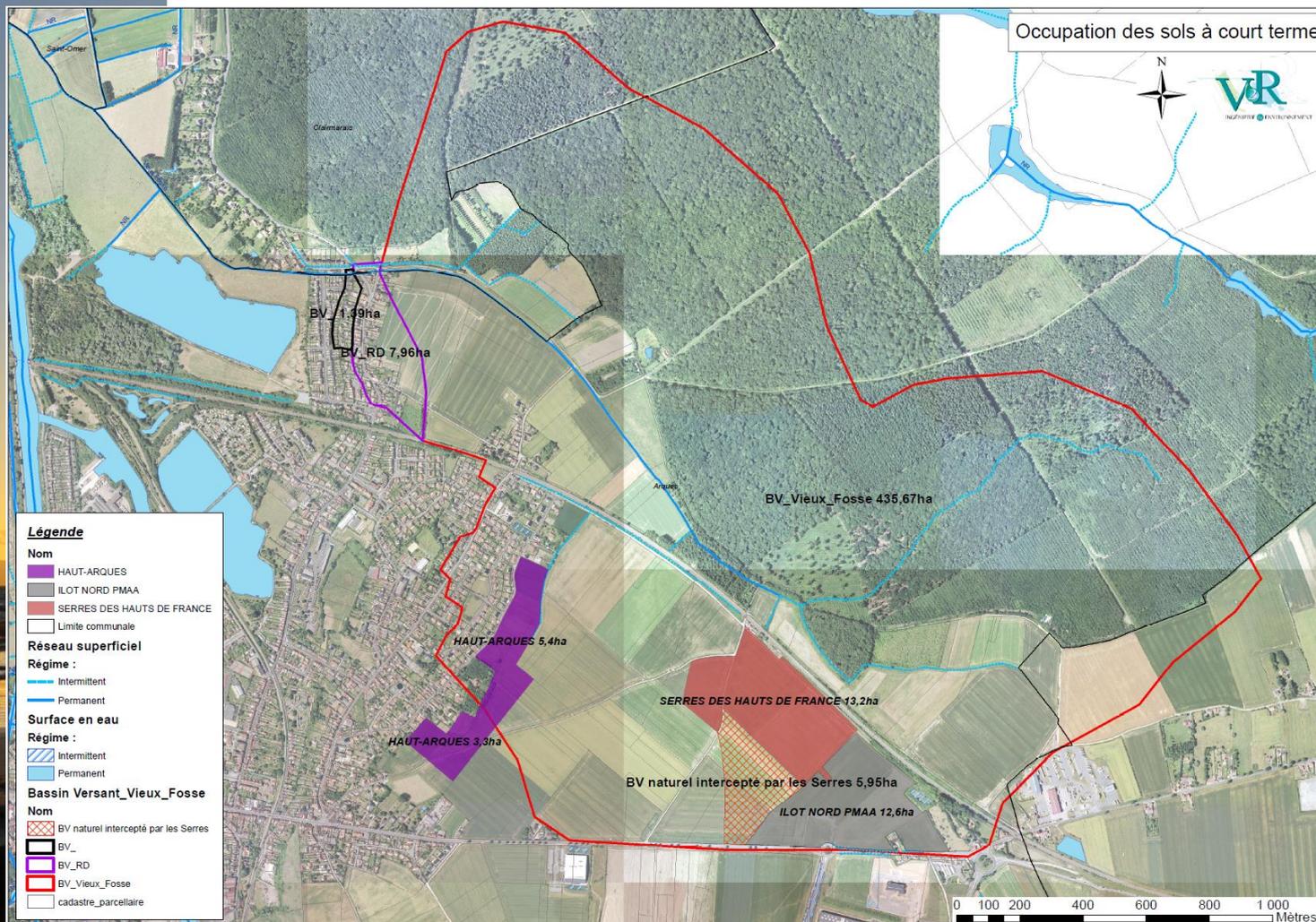
3/ A terme il est également prévu l'extension urbaine du quartier du Haut-Arques (secteur Rue Montgolfier) sur le bassin versant étudié. Cela devra être confirmé dans le PLU intercommunal en cours d'élaboration par la CAPSO.

Cette extension urbaine (habitat résidentiel) s'étendrait sur 5,4 ha au sein du bassin versant étudié.

La gestion des eaux pluviales imposera la mise en place de dispositifs d'infiltration / rétention pour gérer la pluie critique de période de retour 50 ans à 2 l/s/ha maximum.

Sur une surface de 5,4 ha en urbanisation péri-urbaine, on peut estimer en première approche que l'ouvrage de rétention devra gérer un volume de 1900 m³ à 10,8 l/s de débit de fuite.

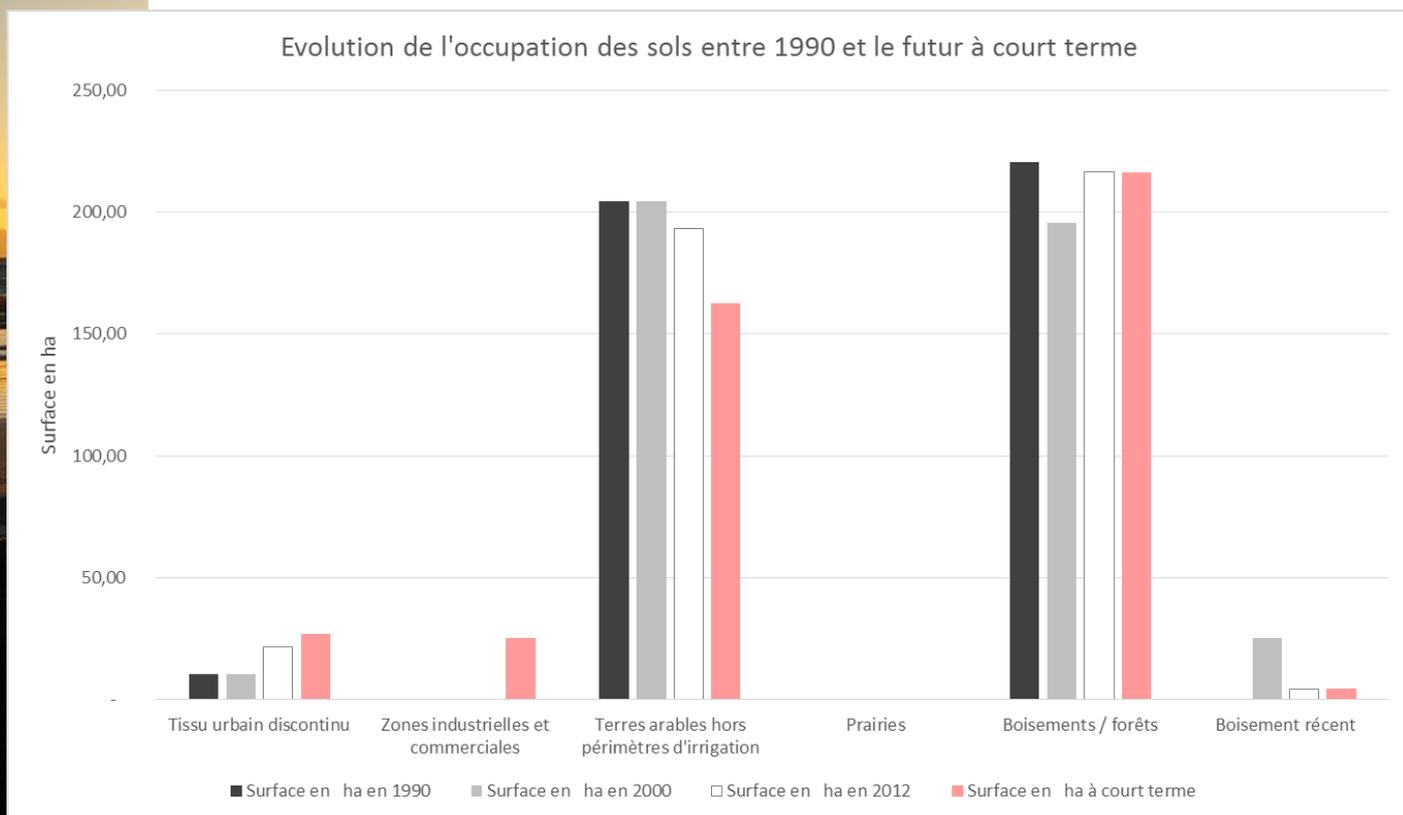
Ces trois aménagements vont modifier fortement l'amont du bassin versant sur de grandes surfaces :



Document n° 42 : Localisation des développements urbains en cours de réalisation (Tomabel et PMAa).

L'impact sur l'occupation des sols du bassin versant étudié sera le suivant, comparativement aux situations antérieures, le développement industriel se fait au détriment des terres cultivées :

Code CLC	Occupation du sol	Surface en ha en 1990	Surface en ha en 2000	Surface en ha en 2012	Surface en ha à court terme
112	Tissu urbain discontinu	10,37	10,37	21,58	21,58
121	Zones industrielles et commerciales	-	-	-	25,25
211	Terres arables hors périmètres d'irrigation	204,60	204,60	193,39	168,14
311	Boisements / forêts	220,69	195,51	216,33	216,33
324	Boisement récent	-	25,18	4,36	4,36
TOTAL		435,66	435,66	435,66	435,66



Document n° 43 : Evolution de l'occupation des sols sur le bassin versant jusqu'à court terme

SYNTHESE :

1/ Projet des « Serres des Hauts-de-France » :

- Impact sur 12,65 ha de terrains partiellement imperméabilisés (9 ha de serres) et collecte des eaux de ruissellement de 6,9 ha de bassin versant non aménagé en amont (stockage dans une noue de 204 m³ de volume utile à 13,8 l/s de débit de fuite).
- Eaux de toitures gérées en circuit « fermé » dans un bassin de rétention étanche de 50000 m³ utilisé pour l'arrosage des plants de tomates – trop-plein vers le bassin de rétention de 823,5 m³ en aval (voir ci-dessous) ;
- Eaux du reste du projet (voiries / espaces verts) gérées dans un ouvrage de rétention de 823,5 m³ à débit de fuite régulé à 2 l/s/ha (4,6 l/s).

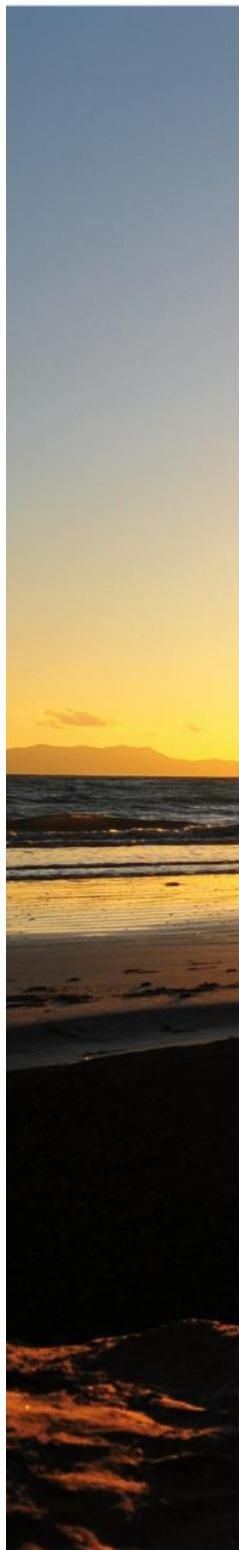
2/ Projet de viabilisation de la partie Nord de la Porte Multimodale de l'Aa :

- impact sur 12,6 ha de terrains partiellement imperméabilisés ;
- collecte des eaux de ruissellement et gestion dans un bassin de rétention de 4 420 m³ de capacité à 2 l/s/ha de débit de fuite.

3/ Projet de viabilisation de l'est de la rue Montgolfier (à confirmer au PLU intercommunal en cours d'élaboration) :

- impact sur 5,4 ha de terrains partiellement imperméabilisés ;
- collecte des eaux de ruissellement et gestion dans un bassin de rétention de 1 900 m³ de capacité à 2 l/s/ha de débit de fuite.

L'impact hydraulique sur l'augmentation des volumes et débits ruisselés de ces trois aménagements est compensé par des rétentions à débit de fuite régulé à hauteur au minimum de la pluie critique de période de retour 50 ans (objectif même encore plus élevé pour les Serres des Hauts-de-France).



7. ANALYSE HYDROLOGIQUE DETAILLEE / COEFFICIENTS DE RUISSELLEMENTS

✓ **Généralités sur l'occupation des sols du secteur étudié :**

Le bassin versant étudié s'étend sur environ 436 ha de surface essentiellement dominée par une occupation des sols de terres forestière (49,7%) et arable (44,4 %). On ne recense que 5,0% de surface d'urbanisation de type résidentielle.

L'imperméabilisation artificielle des sols est donc négligeable sur ce bassin versant au regard des 436 ha totaux.

Le paramètre ruisselant déterminant est lié à la nature même du sol, argileuse et imperméable.

Rappel : le tableau ci-dessous présente la répartition de l'occupation du sol du bassin versant étudié selon la Corine Land Cover en 2012 et à court terme :

Code CLC	Occupation du sol	Surface en ha en 2012	Pourcentage du bassin versant	Surface en ha à terme	Pourcentage du bassin versant
112	Tissu urbain discontinu	21,58	5,0 %	26,98	6,2 %
121	Zones industrielles et commerciales	0	0 %	25,25	5,8 %
211	Terres arables hors périmètres d'irrigation	193,39	44,4 %	162,74	37,4 %
311	Boisements / forêts	216,33	49,7 %	216,33	49,7 %
324	Boisement récent	4,36	1,0 %	4,36	1,0 %
TOTAL		435,66	100,0 %	435,66	100,0 %

Il n'existe pas de réseau de mesure de débit sur le cours du Vieux-Fossé.

Les débits de crues doivent donc être calculés de manière théorique, sans calage possible.

La clé d'entrée des simulations de débits de crue sera donc le choix du coefficient de ruissellement appliqué aux surfaces naturelles du secteur étudié : la forêt et les terres arables.

✓ **Choix des coefficients de ruissellement :**

Hypothèses des coefficients de ruissellement retenus pour la modélisation :

Type occupation des sols	Coefficient de ruissellement retenu
Urbain discontinu	50 %
Zones industrielles et activités	80 %
Cultures annuelles sur sols limono-argileux	40 %
Forêts – Boisements sur sols imperméables	40 %

Calcul des coefficients de ruissellement du bassin versant étudié :

Code CLC	Occupation du sol	Actuel (2015)	Coefficient de ruissellement associé	Futur	Coefficient de ruissellement associé
112	Tissu urbain discontinu	21,58	50,0 %	21,58	50,0 %
121	Zones industrielles et commerciales	0	80,0 %	25,25	80,0 %
211	Terres arables hors périmètres d'irrigation	193,39	40,0%	162,74	40,0 %
311	Boisements / forêts	216,33	40,0 %	216,33	40,0 %
324	Boisement récent	4,36	40,0 %	4,36	40,0 %
TOTAL		435,66	40,5 %	435,66	42,9 %

✓ Temps de concentration :

Nous allons calculer dans ce chapitre le temps de concentration du bassin versant du Vieux-Fossé.

Temps de concentration (Tc) : C'est le temps que met une particule d'eau provenant de la partie du bassin versant la plus éloignée "hydrologiquement" de l'exutoire pour parvenir à celui-ci. On peut estimer « Tc » en mesurant la durée comprise entre la fin de la pluie nette et la fin du ruissellement direct (c'est-à-dire la fin de l'écoulement de surface).

Le temps de concentration dépend de nombreux paramètres tels que la topographie, la géologie, la pente des terrains, l'occupation des sols,...

Il existe de nombreuses formules empiriques pour calculer le temps de concentration d'un bassin. Les formules ont souvent un domaine de validité limité défini par des conditions d'utilisation des formules. Dans le cadre de cette étude, nous allons utiliser trois formules :

Désignation	Formule	Validité
SOGREAH (Tc en minutes) (S en ha, R sans dim, I en m/m)	$Tc = 0,90 \times S^{0,35} \times R^{-0,35} \times I^{-0,5}$	Petit bassin versant
PASSINI (Tc en minutes) (S en Ha, L en m, I en m/m)	$Tc = 0,14 \times ((S \times L)^{1/3} / I^{0,5})$	Petit bassin versant
VENTURA (Tc en minutes) (S en Ha, I en m/m)	$Tc = 0,763 \times (S/I)^{0,5}$	Petit bassin versant

Avec :

S : surface du bassin versant

R : coefficient de ruissellement du bassin versant

*I : pente moyenne du plus long cheminement hydraulique sur le bassin versant
(défini par (altitude maximum – altitude minimum) / L)*

L : plus long cheminement hydraulique sur le bassin versant

Calcul des temps de concentration (mn) sur le secteur étudié en 2005, 2016 et 2030 :

ETAT actuel (2015)	S	R	Alt.maxi	Alt.mini	I	L	Sogreah	Passini	Ventura	MOYENNE
BV Vieux Fossé	436,0	40,5%	58	8	1,4%	3600	87	137	135	120

ETAT futur	S	R	Alt.maxi	Alt.mini	I	L	Sogreah	Passini	Ventura	MOYENNE
BV Vieux Fossé	436,0	42,9%	58	8	1,4%	3600	86	137	135	119

On constate que le temps de concentration global au bassin versant amont au site du Rossignol est de l'ordre de 2h00mn.

Ce temps de concentration justifie que les réactions les plus fortes du cours d'eau se déroulent sous les averses de fortes intensités, comme les orages.

Les temps de concentrations variera peu entre la situation actuelle et la situation future, ce malgré les évolutions d'occupation du sol sur le territoire.

Concrètement, une forte pluie critique de 2h00 de durée va mobiliser pleinement la capacité de concentration des débits sur le bassin versant du Vieux-Fossé.

Le tableau suivant présente les cumuls de pluies critiques sur une durée de 2 heures pour différentes périodes de retour (secteur pluviométrique de Lesquin) :

Période de retour en années	Cumuls en mm
5	24,2
10	28,8
20	33,6
30	36,4
50	40,2
100	45,4

8. MODELISATION HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

8.1 Méthodologie d'élaboration du modèle

8.1.1 Généralités sur le modèle utilisé

L'objectif du modèle à mettre en œuvre dans le cadre de cette étude est multiple :

- La description précise du fonctionnement hydraulique pour des événements de crues ;
- La confirmation des dysfonctionnements observables sur le terrain et la quantification des débits et volumes ;
- La validation des aménagements imaginés en réponse aux dysfonctionnements mis en évidence lors des phases précédentes de l'étude, l'élaboration d'un programme de travaux et la hiérarchisation de ces travaux en fonction de leur efficacité et de leurs coûts.

Nous allons utiliser le logiciel MIKE URBAN version 2017 pour la réalisation du modèle d'écoulement en crues du bassin versant du Vieux-Fossé.

Le logiciel **MIKE URBAN 2017** est un logiciel de calcul permettant l'évaluation, pour une pluie et un bassin versant donnés, des débits et des flux polluants en tout point d'un réseau d'assainissement unitaire ou séparatif, ou d'un réseau hydrographique complexe de surface (fossés, cours d'eau, bassins de rétention,...). Il intègre la technologie du Système d'Information Géographique (S.I.G.) pour les cartographies.

Il tient compte d'une succession de phénomènes allant de la prise en compte du ruissellement sur les bassins versants naturels en fonction de l'urbanisation, à la simulation de l'ensemble des ouvrages susceptibles de se trouver sur un réseau d'assainissement (déversoirs d'orages, postes de refoulement, clapets, siphons, ...) ou un bassin versant (bassin de rétention, bassin d'infiltration, fossés,...), tout en permettant d'inclure les conditions en aval (influence du niveau des rivières, ...).

Les principaux phénomènes simulés sont les suivants :

- * Les apports en eaux météoriques.
- * En chaque nœud du réseau, le bilan des débits entrants et sortants en fonction des caractéristiques de chacun de ces nœuds (déversoir, station de refoulement, orifice, clapet, réservoir,...).
- * La propagation, dans chaque tronçon de conduite ou de fossé, des débits.
- * Le calcul de la hauteur d'eau dans les différents collecteurs permettant une prise en compte des mises en charge du réseau et des débordements.
- * Il permet d'obtenir des résultats sous forme de plans présentant les zones d'insuffisances hydrauliques, de profils en long, de courbes de débits, de volumes, de niveau d'eau, ...

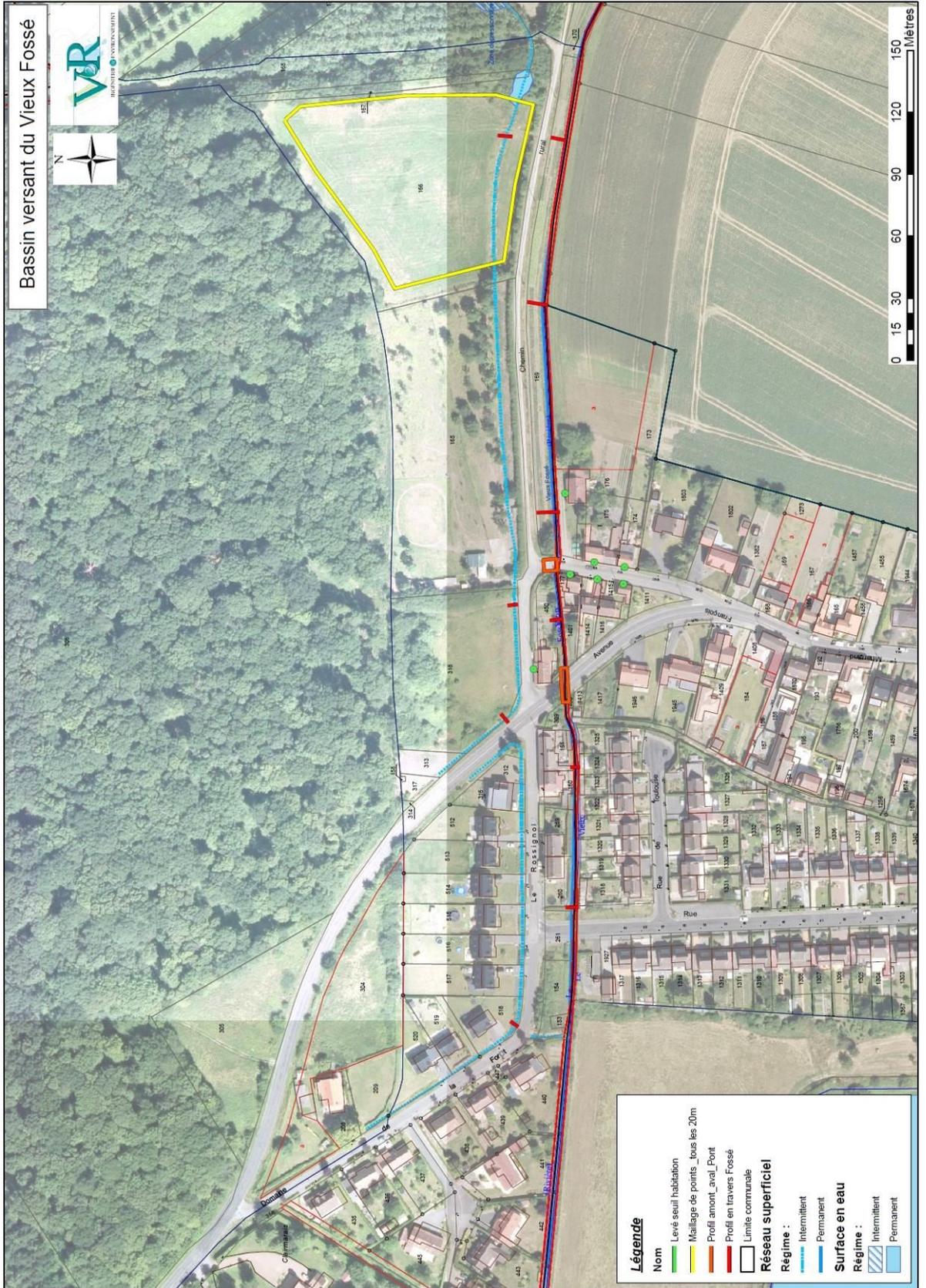
Notons que nous ne disposons pas de mesures de débits permettant le calage du modèle.

Construction du modèle

Durant cette phase d'étude, la réflexion sur la construction du modèle hydraulique permet d'obtenir le synoptique général du système, ainsi que la définition des zones de collecte.

La construction du modèle hydraulique du réseau comprendra :

- L'intégration des données topographiques sur le réseau de fossés et le réseau d'assainissement pluvial (cotes aux regards, pentes des canalisations), **Le Bureau d'Etudes INGEO a réalisé en février 2018 une série de levés topographiques le long du cours d'eau en aval du bassin versant qui ont été intégrés au modèle.**



Document n° 44 : Localisation des levés topographiques réalisés en 2018 par INGENIO

- La reconnaissance des principaux points du réseau caractéristiques du réseau hydrographique (busages, sections de fossés, ouvrages hydrauliques),
- L'intégration des conditions aux limites aval du modèle.

Description de l'outil informatique utilisé dans la modélisation

Le logiciel utilisé permet de construire le synoptique général du réseau hydrographique et de simuler son fonctionnement par temps sec ou pluvieux. Dans ce logiciel, tous les points singuliers (regards, bassins, exutoires, ...) sont représentés par des nœuds. Tout le reste (conduites, trop-pleins, fossés, busages,...) constitue des liens entre les différents nœuds du réseau. Cette pratique permet de construire tous les réseaux par l'association d'éléments de base (des nœuds et des liens).

La construction du modèle du réseau d'assainissement

Le modèle du réseau reprend les conduites principales des réseaux d'eaux pluviales (supérieures ou égales au diamètre 300mm), afin de permettre une bonne représentativité de la réalité du terrain (utilisation des levés topographiques).

Concernant le réseau de fossés et cours d'eau, le modèle reprend le maillage principal, associé aux données topographiques précises lorsqu'elles existent (levés par géomètre), à défaut les données topographiques de la carte IGN au 1/25000^{ème}.

Le découpage en sous-bassins versants

Ce découpage prendra en compte les sous-bassins versants pluviaux, ce qui permet une meilleure précision par l'obtention de mesures en sortie de chaque bassin. Le modèle sera affiné sur les secteurs présentant des dysfonctionnements connus, de manière à accroître la fiabilité du modèle aux endroits présentant des anomalies.

8.1.2 Données techniques utilisées pour la construction du modèle d'écoulement

Les données d'entrée sont :

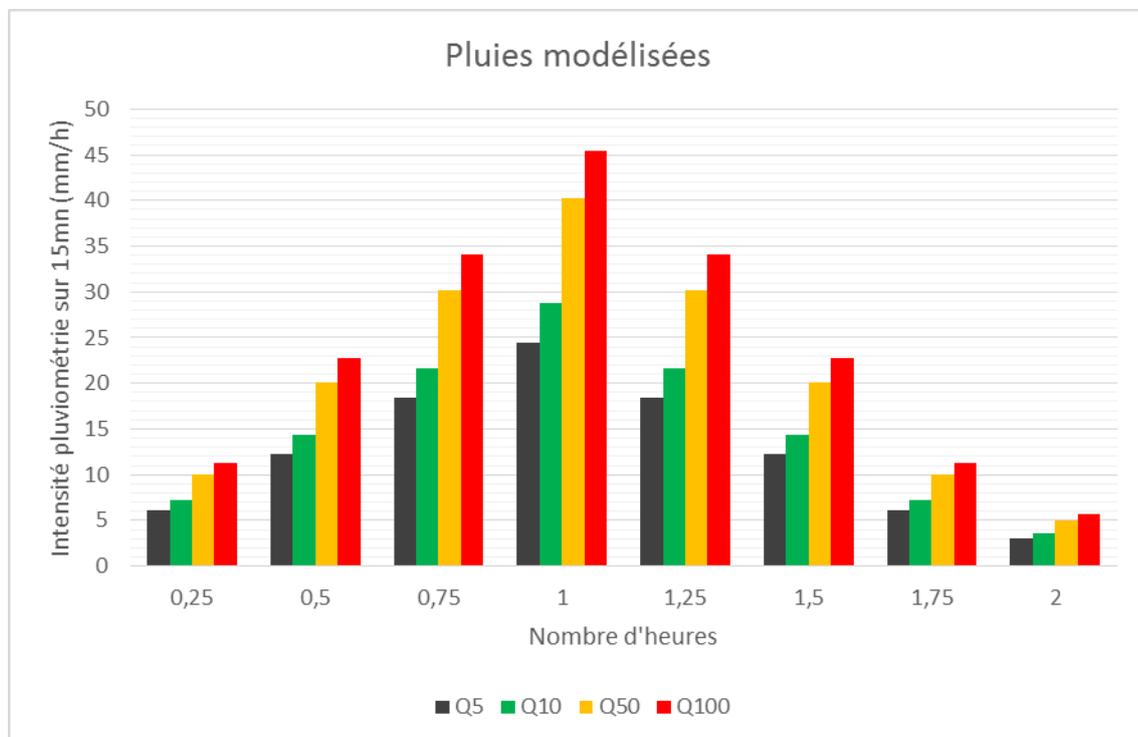
- Les différents nœuds correspondent aux busages, ponts, fossés et regards d'assainissement observés et relevés lors des investigations de terrain et reportés sur les plans de levés topographiques. Ils comprennent les intersections de fossés et les entrées/sorties de busages (ponts, accès aux parcelles agricoles par exemple).
- La topographie a été relevée par géomètre pour la plupart des profils en travers de fonds de vallées.
- Les données concernant les diamètres des canalisations et les dimensions des fossés sont issues des levés topographiques et des observations de terrain.

8.1.3 Données pluviométriques utilisées pour le calage du modèle et pluies de projet

Nous avons modélisé les pluies théoriques de période de retour 5 ans, 10 ans, 50ans et 100 ans.

Schéma des pluies entrées dans le modèle hydrologique (intensité en mm/h) :

-> 4 pluies de projet de périodes de retour 5, 10, 50 et 100 ans avec un pic d'intensité de 2h de durée (correspondant au temps de concentration du bassin versant) sur la base des données statistiques actualisées à 2014 sur la station pluviométrique de Lille-Lesquin (source Météo France) :



Document n° 45 : Pluies utilisées dans le modèle hydrologique

8.1.4 Principe de la modélisation hydrologique

Une modélisation hydrologique représente la transformation de la pluie en débit ruisselé vers le réseau de collecte. La simulation hydrologique des écoulements nécessite les valeurs des paramètres suivants sur chaque zone de collecte : coefficient de ruissellement, temps de concentration, intensité et durée de la pluie de projet.

Une fois ces paramètres connus, le modèle calcule les hydrogrammes de débit à l'exutoire de chaque sous-bassin versant en fonction de la pluie utilisée.

Pour la modélisation du réseau, nous avons retenu une formule similaire à la formule rationnelle généralisée, mais qui s'applique non plus à tout le bassin versant et en permanence, mais à une série de bassins élémentaires déterminés pas de temps par pas de temps, par utilisation d'une courbe Aire-Temps.

Formule rationnelle généralisée : $Q = \mu C I A$

- Avec :
- Q : débit de ruissellement, d'apport au réseau,
 - μ : coefficient de réduction (= 95%)
 - C : coefficient d'imperméabilisation,
 - I : intensité de la pluie,
 - A : surface du bassin versant.

Cela se traduit par :

- ⇒ un découpage en pas de temps Δt de la période à simuler,
- ⇒ une détermination du débit par pas de temps :
 - calcul des pertes initiales : tant que l'intensité cumulée n'a pas atteint la valeur de ces pertes initiales, il n'y a pas de ruissellement
 - utilisation de la formule rationnelle à chaque pas de temps :

$$Q(n\Delta t) = C \mu S(n\Delta t) I(n\Delta t)$$

$Q(n\Delta t)$: débit à l'exutoire du bassin versant à l'instant $n\Delta t$
 C : coefficient d'imperméabilisation du bassin
 μ : coefficient de réduction
 $S(n\Delta t)$: surface participant à l'écoulement à l'instant $n\Delta t$
 déterminée par la courbe Aire-Temps
 $I(n\Delta t)$: intensité de la pluie à l'instant $n\Delta t$

Hypothèses :

- ⇒ Les pluies efficaces sont obtenues en retranchant les pertes initiales.
- ⇒ Le coefficient de réduction μ s'applique aux surfaces imperméables, et traduit le fait que toute l'eau parvenant sur ces surfaces, mêmes imperméables, n'atteint pas l'exutoire (coefficient pris en général à 95%).
- ⇒ Les surfaces perméables (telles que déterminées par le coefficient d'imperméabilisation) participent à l'écoulement, même retardé.
- ⇒ Il faut estimer les temps de concentration (temps mis pour une goutte d'eau tombant sur la partie la plus lointaine du bassin versant pour parvenir à l'exutoire) pour définir les courbes Aire-Temps. Ce temps de concentration varie entre **5 et 80 minutes** pour l'ensemble des sous-bassins de collecte pluviaux raccordés au réseau hydrographique (des petites surfaces réactives urbaines aux grandes surfaces forestières moins réactives). C'est ce cumul de sous-bassins versants et le temps de propagation de l'onde de crue qui va déterminer le temps de concentration global du bassin versant étudié.

8.1.5 Principe de la modélisation hydraulique

La modélisation hydraulique consiste à réaliser un maillage du réseau : le réseau est discrétisé en tronçons successifs sur lesquels sont résolues les équations complètes de Barré-de-Saint-Venant (conservation de la matière et de la quantité de mouvement). Ils sont délimités en fonction des paramètres suivants :

- * homogénéité des dimensions ;
- * intersection avec un autre tronçon ;
- * rencontre avec une singularité hydraulique (seuil, autre collecteur, ...).

Les résultats de la modélisation, en cas de régime non-permanent, permettent de suivre l'évolution des paramètres suivants : côtes des niveaux d'eau, vitesses d'écoulement, débits de chaque tronçon discrétisé, durée de submersion des zones inondées.

Les conditions aux limites sont de deux types :

- Les conditions aux limites « amont » correspondent aux hydrogrammes de débit introduits dans le modèle dus aux apports zones d'apport diffus le long du réseau (hydrogrammes pluie/débit et débits d'apports plus ou moins variables d'eaux de nappe). Ces hydrogrammes résultent directement de la modélisation hydrologique, interfacée avec la modélisation hydraulique. Nous considérons dans le modèle que les apports de nappe sont nuls (crues estivales => nappe basse). Dans le cadre de la modélisation, les hydrogrammes de la modélisation pluie/débit sont intégrés au niveau des sous-bassins versants pluviaux.
- Les conditions aux limites « aval » correspondent par exemple au niveau d'eau dans la canalisation à son exutoire : nous avons considéré dans le cadre de la modélisation qu'il n'y avait pas d'influence hydraulique aval au niveau de l'exutoire du réseau.

8.1.6 Risques d'erreur et paramètres de calage

Rappelons qu'il n'y a pas de mesures de débits disponibles pour permettre le calage du modèle.

Pour la modélisation hydrologique, il existe plusieurs paramètres qui présentent un risque d'erreur :

- La morphologie des zones de collecte (surface, longueur, pente) et l'occupation des sols, qui permettent de déterminer les temps de concentration ;
- Le ruissellement de la pluie relatif à l'occupation des sols sur chaque zone de collecte ;
- Les débits initiaux dans les tronçons de collecte (débits de base), c'est-à-dire au début de l'événement pluviométrique simulé.

Nous allons donc :

- Nous baser sur l'occupation des sols détaillée analysée en phase 1 de l'étude (base SIG) pour déterminer les surfaces imperméabilisées, les surfaces cultivées, les surfaces en pâtures, boisées,...
- Utiliser un coefficient de ruissellement basé sur la bibliographie et ce qui est couramment utilisé dans les études hydrauliques sur le territoire. La valeur de ce coefficient de ruissellement sera modifiée en fonction de la crédibilité des résultats obtenus pour la modélisation hydraulique, par rapport aux témoignages de hauteur d'eau aux exutoires des bassins versants.

Pour la modélisation hydraulique, il existe aussi plusieurs paramètres qui présentent un risque d'erreur, mais moins significatives que celles concernant les aspects hydrologiques :

- La discrétisation du réseau elle-même, par le fait qu'elle simplifie un tronçon complet alors qu'il y comporte des singularités diverses qui créent toutes des pertes de charge (obstacles nés d'effondrements, objets dans le réseau hydrographique, encombrement des fossés par la végétation,...) ;
- Les coefficients de rugosité des tronçons (20 pour un fossé, 70 pour une canalisation béton,...).

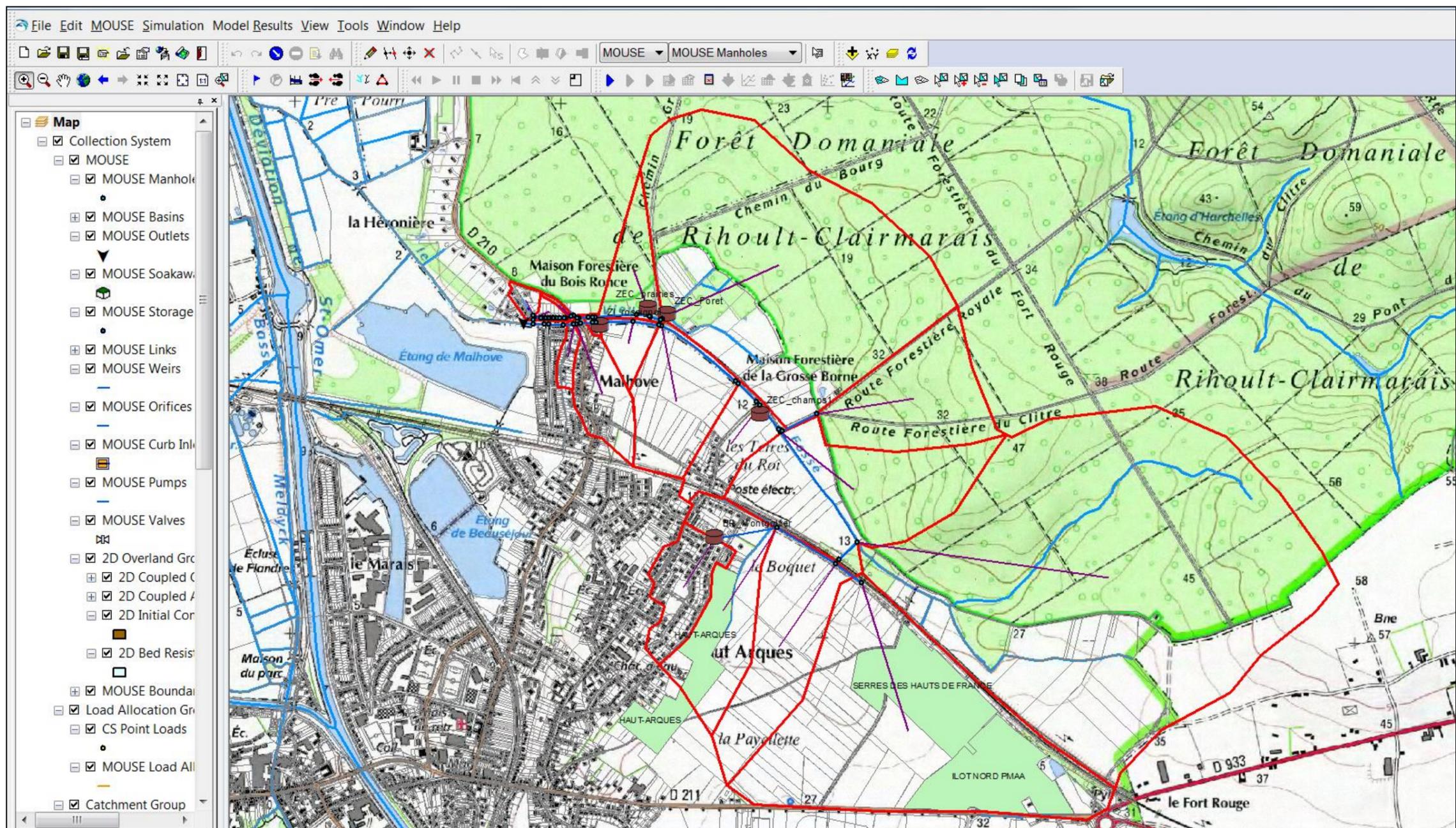
Les risques d'erreur d'évaluation existent pour chacun de ces paramètres, compte tenu de la précision relative de l'enquête de terrain, de la modélisation elle-même, ainsi que des particularités locales difficiles à appréhender. En effet, la discrétisation du réseau comporte de nombreux tronçons qui correspondent tous à des changements de capacité hydraulique significatifs : changements de section, chute d'eau.

Pour simplifier, les petites singularités (obstacles divers,...) ont été intégrées au modèle en réglant le coefficient de rugosité moyen du tronçon. Les coefficients de rugosité des tronçons constituent le paramètre essentiel de calage hydraulique du modèle.

8.2 Construction du modèle

- Le modèle hydrologique/hydraulique du bassin versant comprend :

18 sous-bassins versants
 58 nœuds, 1 exutoire
 4 zones d'expansion de crue, dont celle correspondant aux inondations du secteur du Rossignol
 1 bassin de rétention à l'état actuel (rue Montgolfier)
 3 bassins de rétention supplémentaires à l'état à terme (Serres des Hauts de France, PMAa, urbanisation à l'est d'Arques)
 28 canalisations circulaires ou ponts / busages modélisées (0,55 km)
 2,6 km de fossés et cours d'eau modélisés
 9 zones de déversements (déversement au-dessus de ponts, déversements de fossés,...)

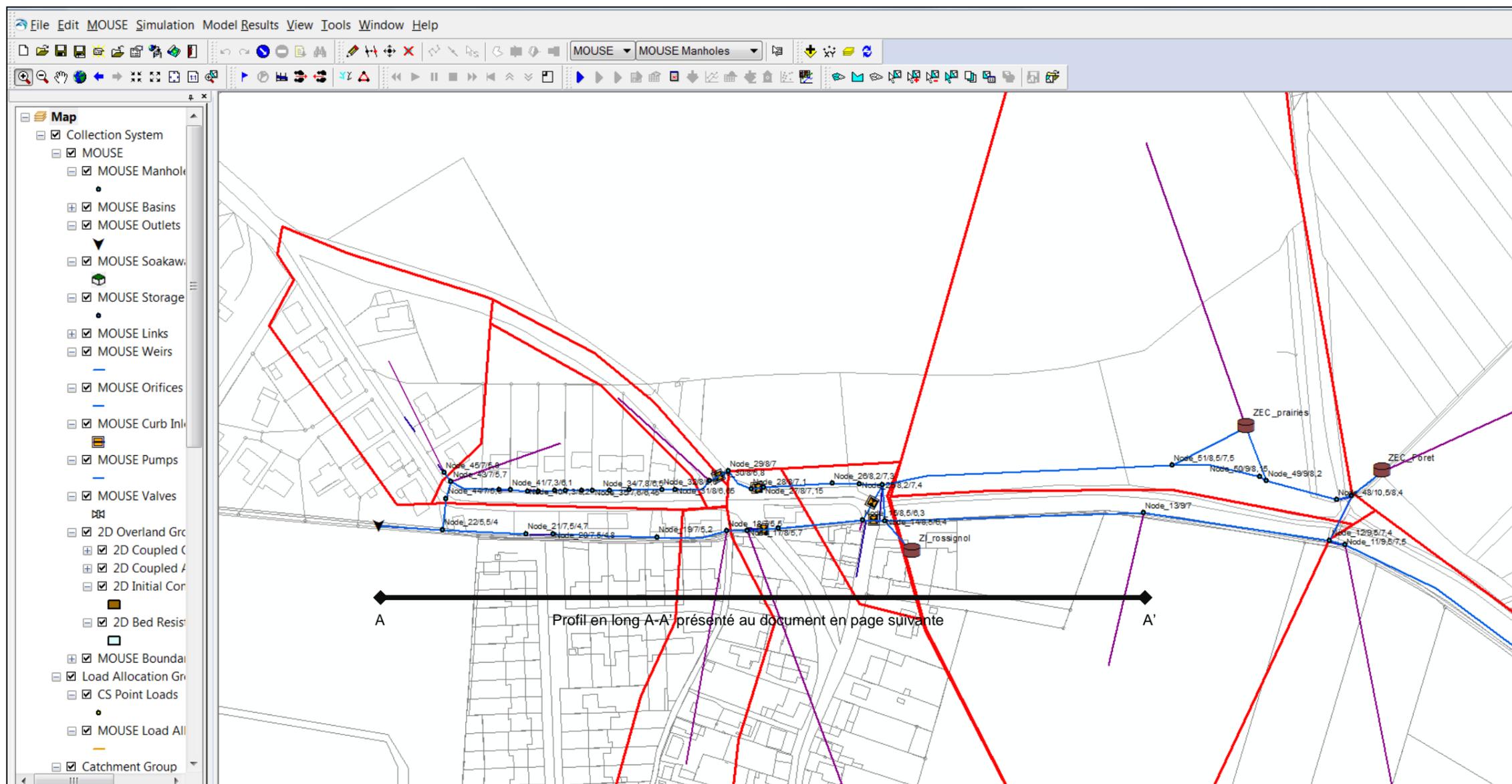


Document n° 46 : Schéma de modélisation du bassin versant du Vieux-Fossé à l'état actuel.

Le fond de plan est constitué par le fond IGN au 1/25000^{ème} et le cadastre.

Sont figurés également sur cette carte :

- « Mouse Regards » : les nœuds correspondant aux regards des réseaux ;
- « Mouse Exutoires » : les exutoires ;
- « Mouse Conduites » : les canalisations ;
- Et les bassins de collecte encadrés en traits rouge.



Document n° 47 : Schéma de modélisation du bassin versant du Vieux-Fossé, zoom sur le secteur aval.

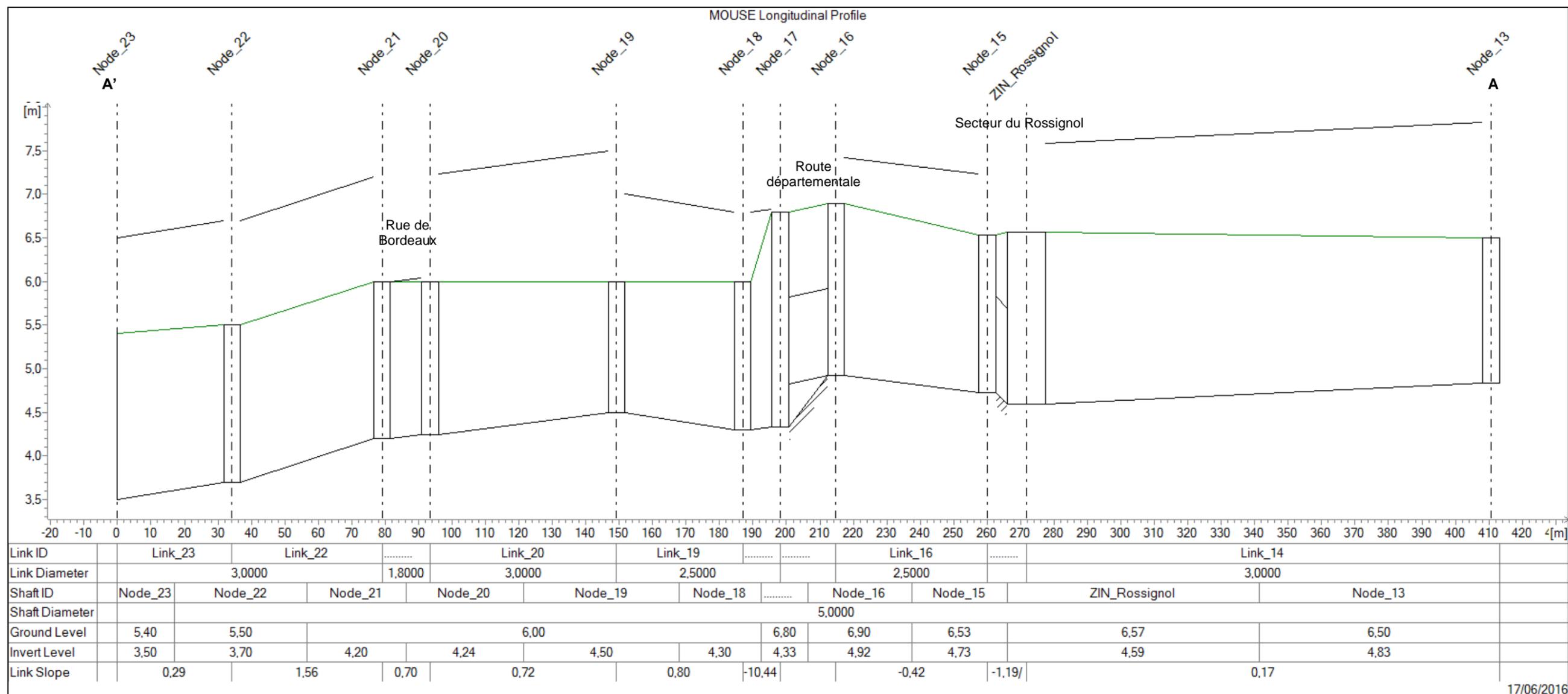
Le fond de plan est constitué par le cadastre.

Sont figurés également sur cette carte :

- « Mouse Regards » : les nœuds correspondant aux regards des réseaux ;
- « Mouse Exutoires » : les exutoires ;
- « Mouse Conduites » : les canalisations ;
- Et les bassins de collecte encadrés en traits rouge.

Le profil en long de l'écoulement du Vieux Fossé est réalisé avec les données topographiques relevées par géomètre.

On observe une contre-pente d'écoulement entre le Rossignol et la route départementale de l'ordre de 50cm.



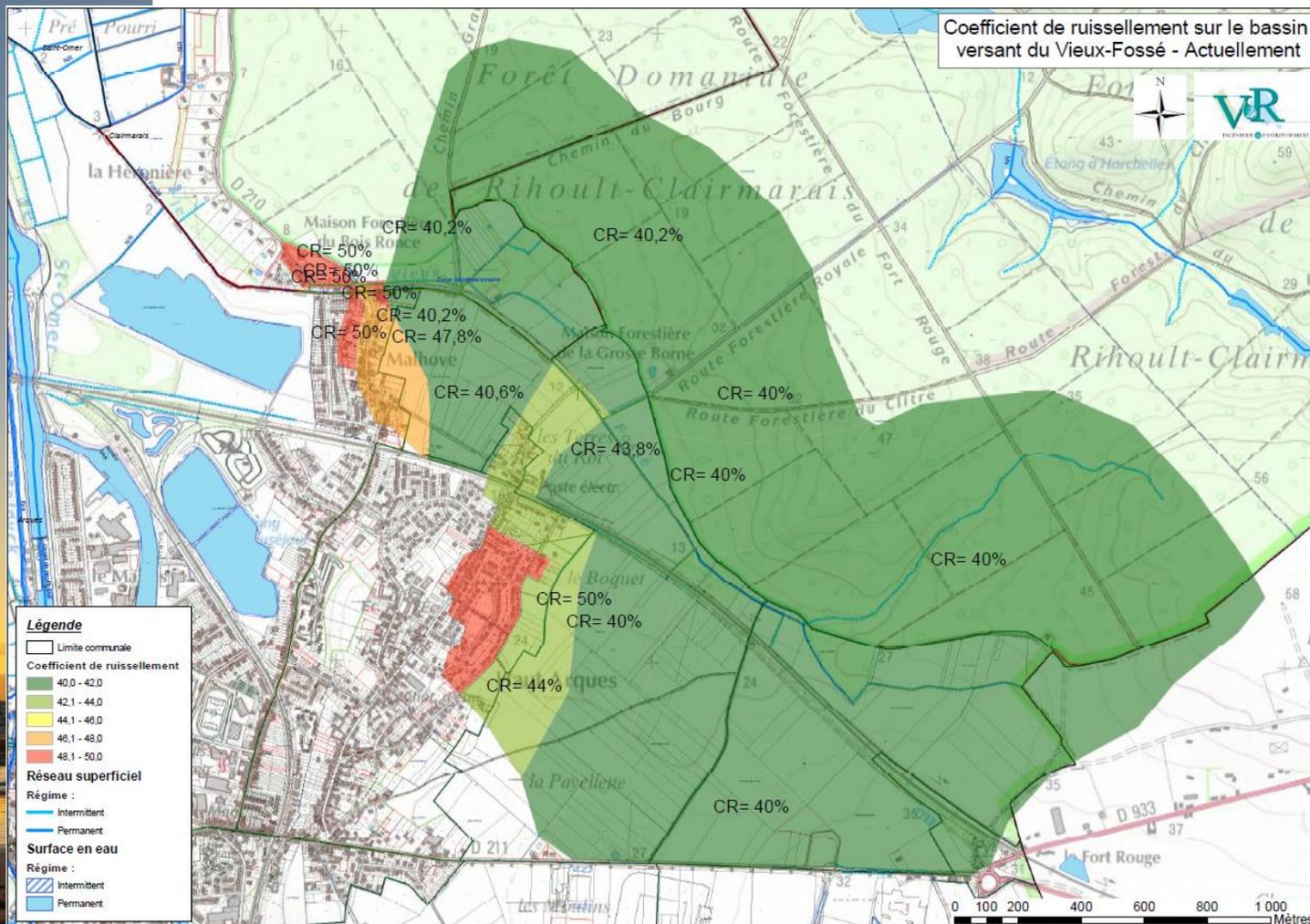
Document n° 48 : Schéma de modélisation du bassin versant du Vieux-Fossé, profil en long du secteur aval.

Eléments principaux de la légende :

- Ground Level : niveau du terrain naturel (trait vert) ;
- Invert Level : niveau du radier du cours d'eau ;
- Link Slope : pente d'écoulement ;

Les coefficients de ruissellement affectés à chaque sous-bassin versant modélisé sont :

A l'état actuel, ils varient entre 40 et 50% :



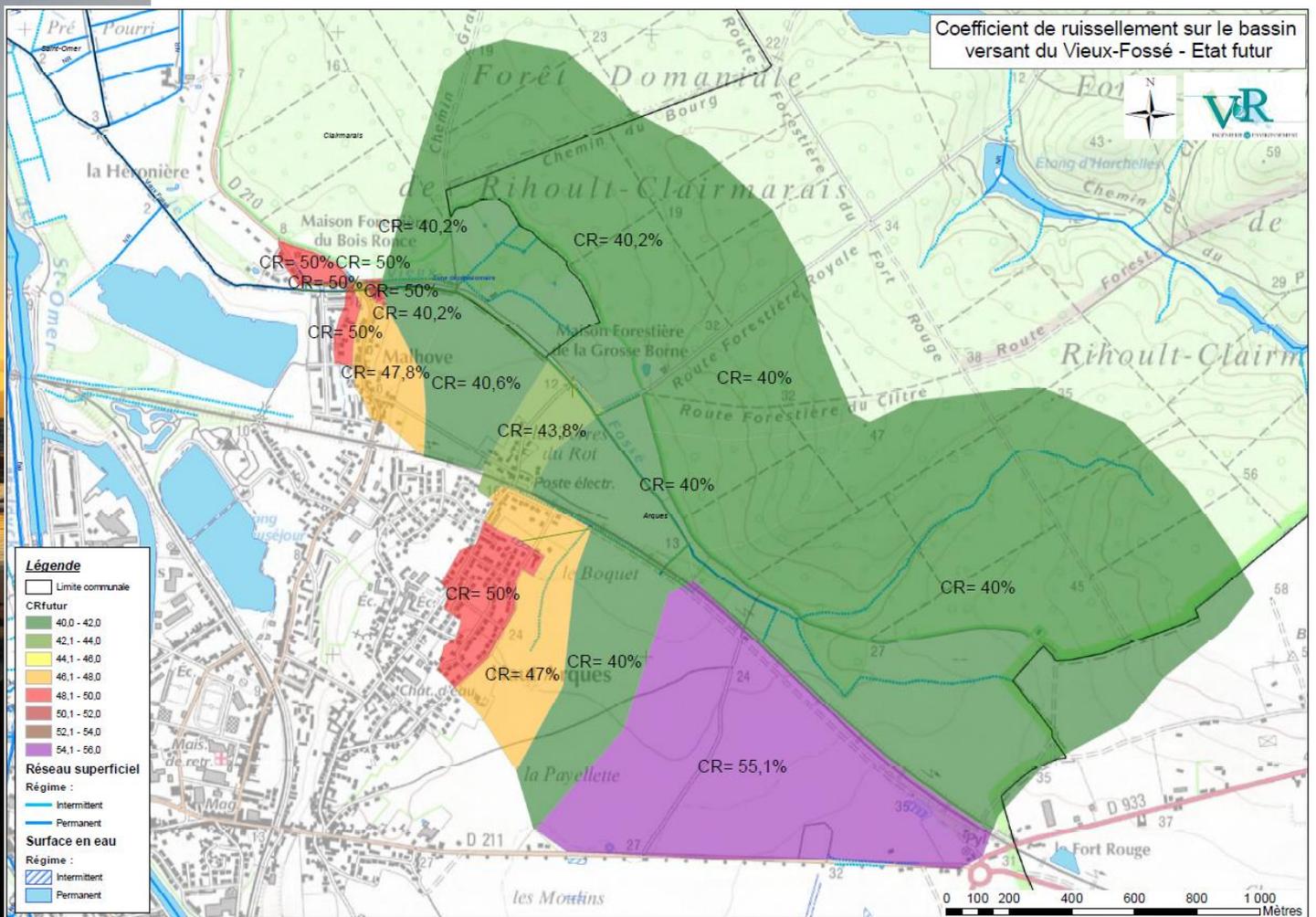
Document n° 49 : Découpage en sous-bassins versants et coefficients de ruissellement associés – à l'état actuel

A l'état futur, ils varient entre 40 et 55 % :

La différence entre cet état et « l'actuel » est :

- l'aménagement du site « Serres des Hauts de France » avec son système de gestion des eaux pluviales opérationnel (bassins de rétention) ;
- l'aménagement de la partie nord de la Porte Multimodale de l'Aa, avec son système de gestion des eaux pluviales opérationnel (bassin de rétention) ;
- l'aménagement du reste du lotissement du Champ Pley (partie est de la rue Montgolfier), avec son système de gestion des eaux pluviales opérationnel (bassin de rétention).

Le modèle hydraulique inclue donc les modifications d'occupation du sol et l'ajout des ouvrages de rétention sur le bassin versant du Vieux-Fossé.

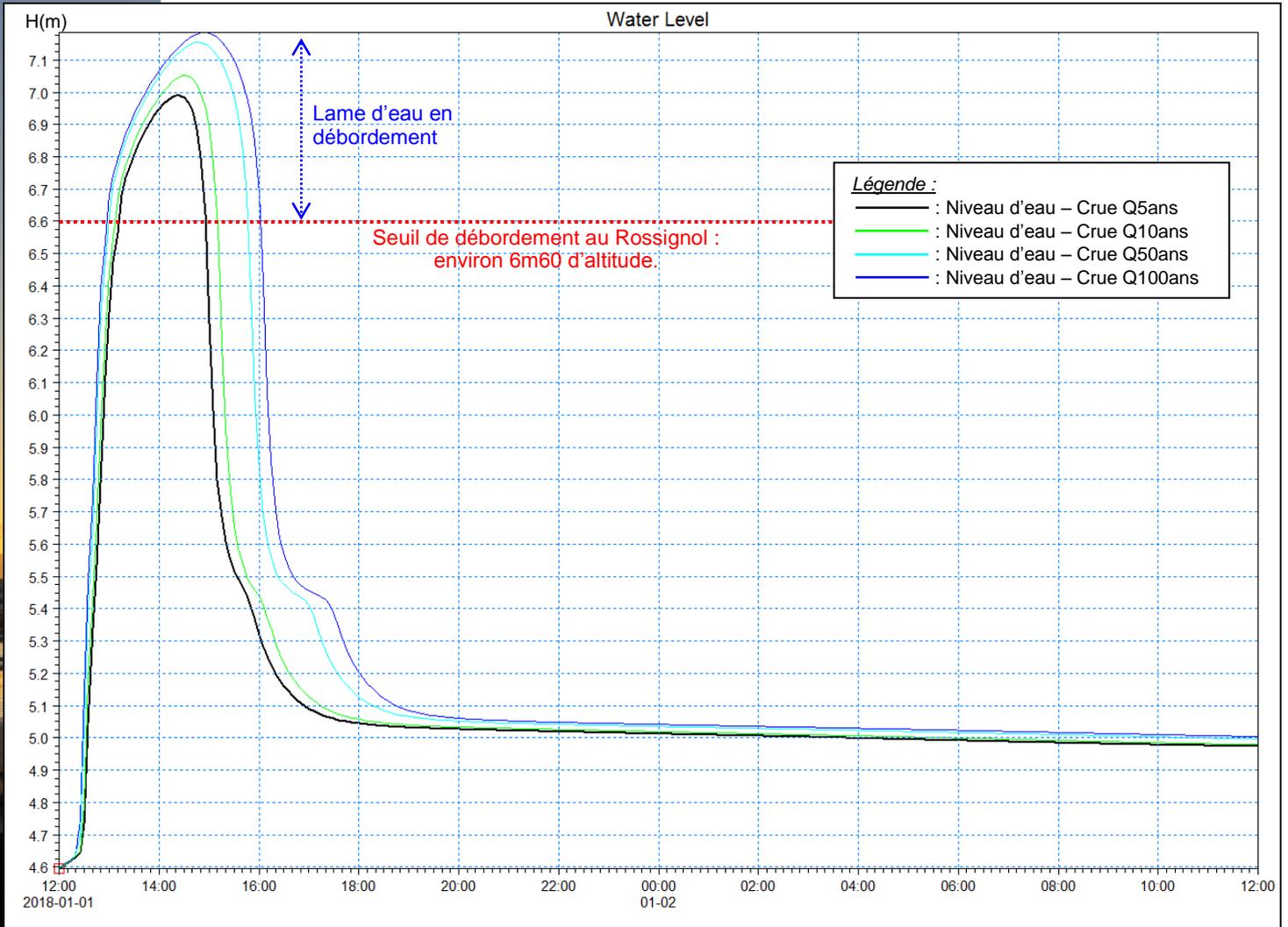


Document n° 50 : Découpage en sous-bassins versants et coefficients de ruissellement associés – à l'état futur

8.3 Résultats de la modélisation

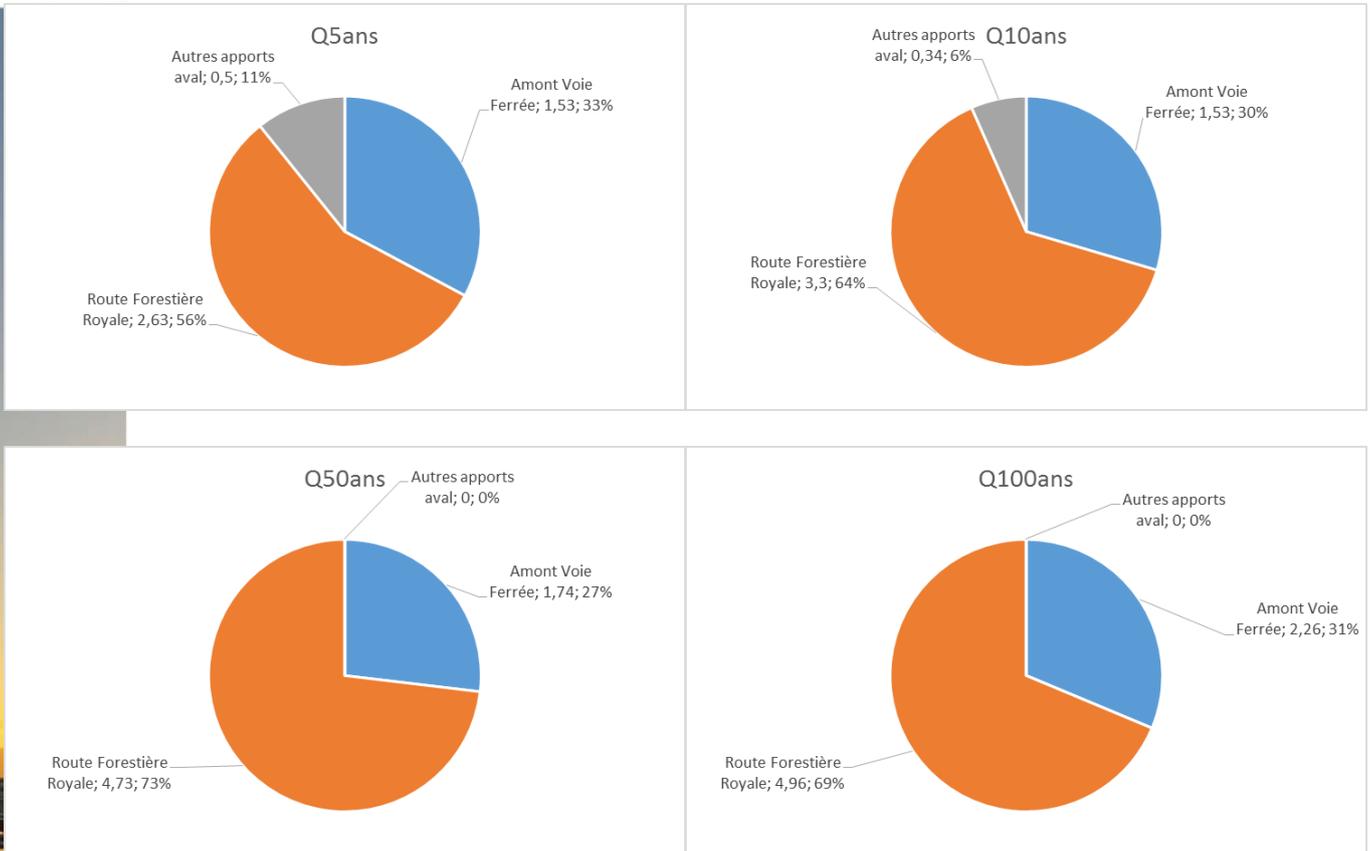
✓ Etat actuel du bassin versant :

Les modélisations montrent un débordement au niveau du Rossignol dès la pluie de période de retour 5 ans, avec 40 à 60cm de lame d'eau. Le débordement est limite au niveau de la RD à T=5ans, et se produit pour des crues plus rares.

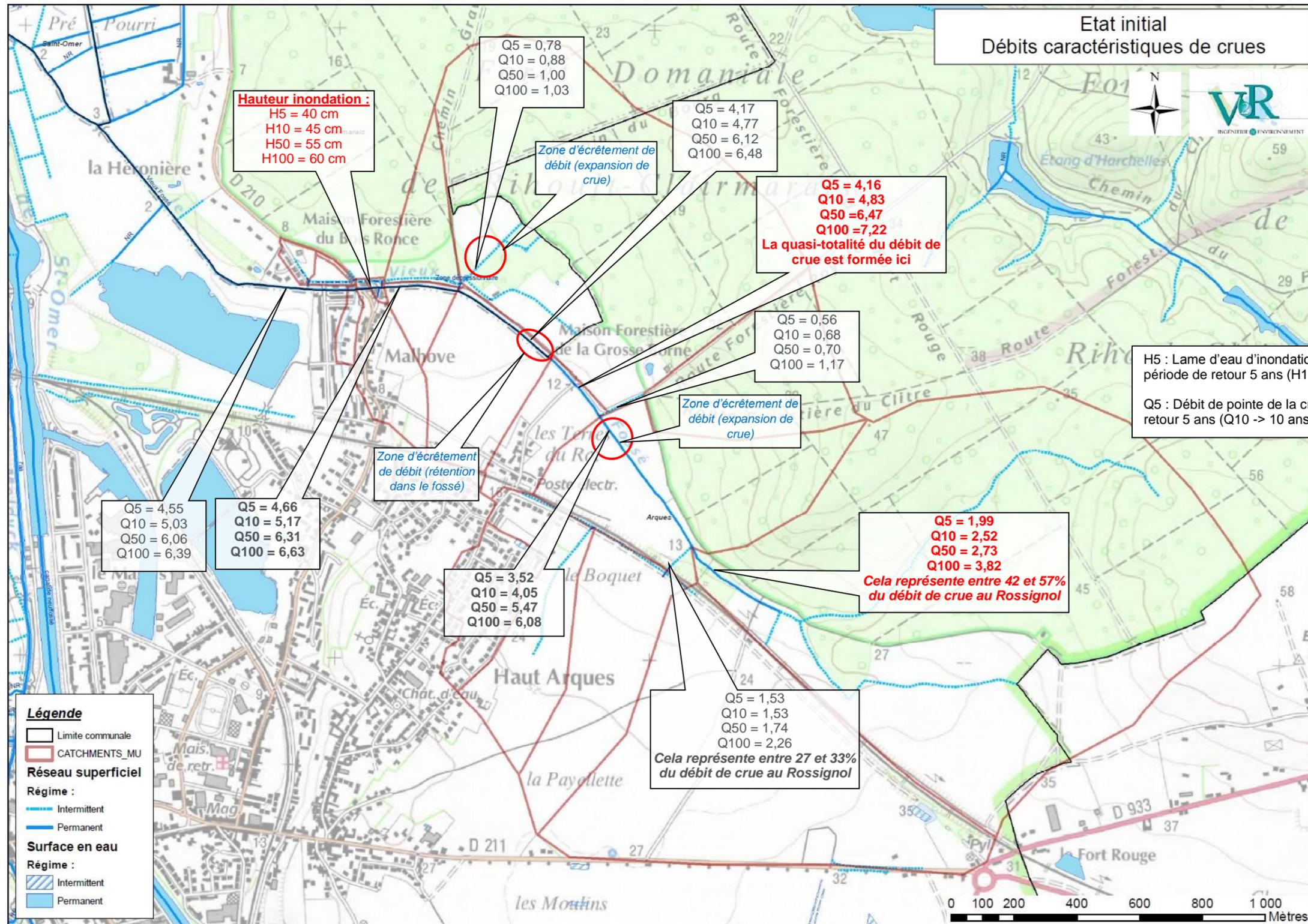


Document n° 51 : Niveaux d'eau atteints pendant les crues au niveau du Rossignol

On constate notamment que l'essentiel des débits provient de l'amont et de la forêt domaniale. Le débit de crue est déjà formé à la traversée de la Grosse Borne, il augmentera peu jusqu'à la traversée du Rossignol en aval, voire même diminuera pour les crues les plus fortes (> Q50ans) grâce à l'écrêtement dans son parcours dans le lit du Vieux-Fossé et aux expansions de crues dans les champs. Répartition des apports de débit à la crue (en m³/s) :



Le synoptique en page suivante présente les débits caractéristiques aux différents endroits clés du bassin versant à son état actuel.



Document n° 52 : Synoptique des débits caractéristiques de crues – état actuel

✓ Etat projeté futur, à terme, du bassin versant :

Le modèle hydraulique inclue donc les modifications d'occupation du sol et l'ajout des ouvrages de rétention sur le bassin versant du Vieux-Fossé.

On constate une diminution des débits de crue en amont du bassin versant grâce à l'écrêtement généré par les ouvrages de rétention aménagés pour les projets d'extension urbaine et d'industrialisation. Le gain sur les débits de crue diminue avec l'augmentation de la période de retour (5% de gain pour T=5 ans, 1,5% pour T=100ans).

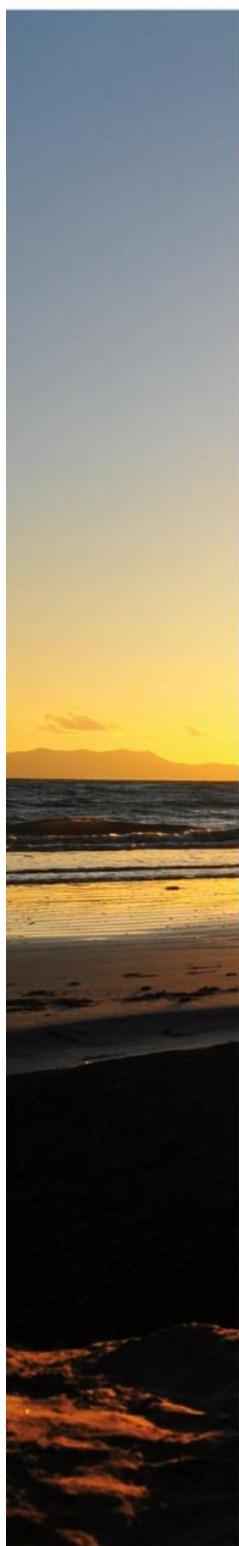
Mais l'impact de cette baisse est très faible au niveau du secteur du Rossignol qui demeure inondable de manière comparable à l'état actuel du bassin versant.

Pour les crues de période de retour ≤ 10 ans, le gain est de 5 cm au niveau du Rossignol pour la lame d'eau d'inondation.

Au-delà de T=10ans, ce gain sur les hauteurs d'inondation devient négligeable.

L'information principale à retenir est que l'urbanisation futur en amont du bassin versant n'aggraver pas la situation actuelle en termes de risque d'inondation jusqu'à la crue de période de retour 100 ans au moins. Elle l'améliorera même pour les périodes de retour inférieures ou égales à 10 ans.

Le synoptique en page suivante présente les débits caractéristiques aux différents endroits clés du bassin versant à son état futur.



✓ Ouvrages hydrauliques clés du bassin versant :

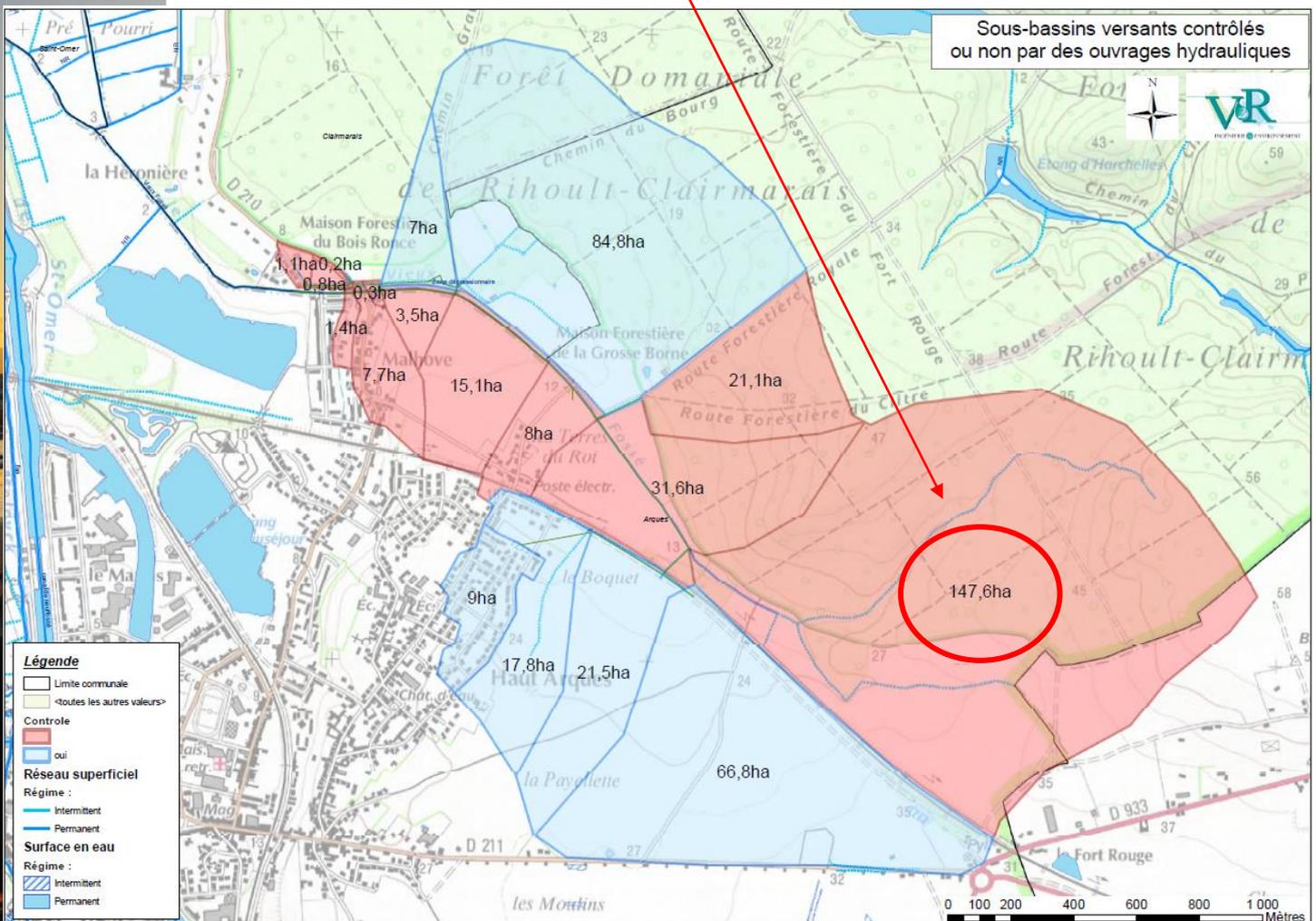
Plusieurs ponts et busages jouent un rôle essentiel d'écrêteur de crue :

- le franchissement sous la voie ferrée en amont pour les plus fortes crues (la voie ferrée ne peut être submergée et constitue un « barrage » dans le fond de vallée) ;
- l'expansion naturelle de la crue dans les champs en amont de la Grosse Borne ;
- un busage ø1000 dans le Vieux-Fossé même au niveau de la Grosse Borne ;
- une zone dépressionnaire en forêt (ancienne retenue d'eau aujourd'hui disparue).

Ces ouvrages sont absolument à conserver pour la gestion des crues du secteur.

Les actions de régulation des écoulements seront à porter prioritairement sur les sous-bassins versants non contrôlés actuellement. On remarque notamment un gros sous-bassin versant forestier de 148 ha producteur de près de 50% du débit de crue transitant par le Rossignol en amont.

Les surfaces contrôlées par ces sites s'étendent sur plus de 200 ha (près de la moitié du bassin versant étudié) et sont représentées en bleu dans le graphique suivant :



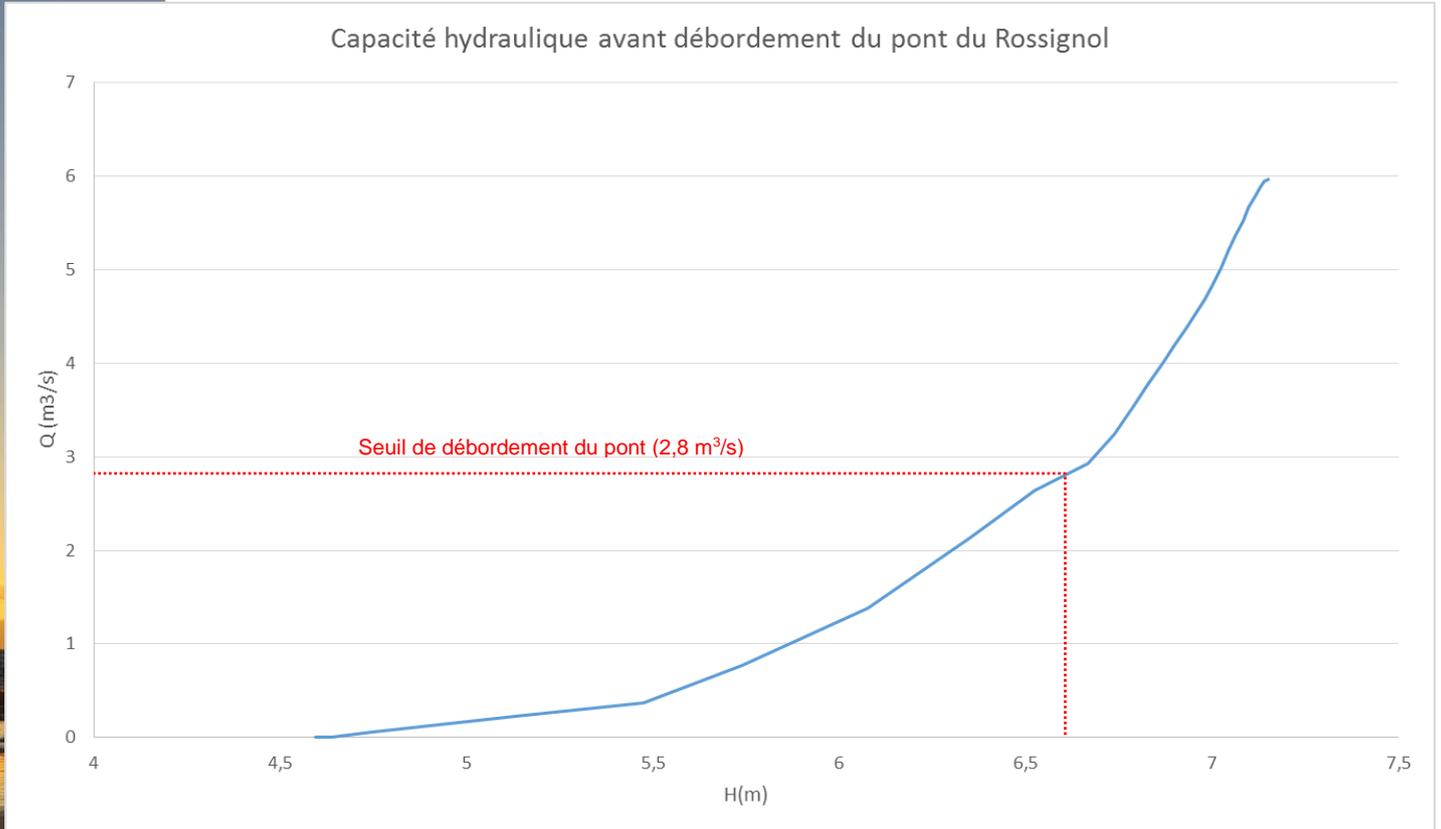
Document n° 54 : Surfaces de bassins versants régulés à l'état actuel

✓ Capacité d'écoulement avant débordement au niveau du pont du Rossignol :

Le pont du Rossignol a une capacité hydraulique de l'ordre de $2,8 \text{ m}^3/\text{s}$ avant débordement.

Ce débit est nettement inférieur au débit de pointe de période de retour 5 ans simulé sur le secteur qui est de $4,66 \text{ m}^3/\text{s}$.

La capacité hydraulique de ce pont devrait être plus que doublée pour éviter les inondations pour une période de retour 5 ans sur le secteur.



Document n° 55 : Capacités d'écoulements au pont du Rossignol

✓ Capacité d'écoulement avant débordement au niveau du pont de la route départementale :

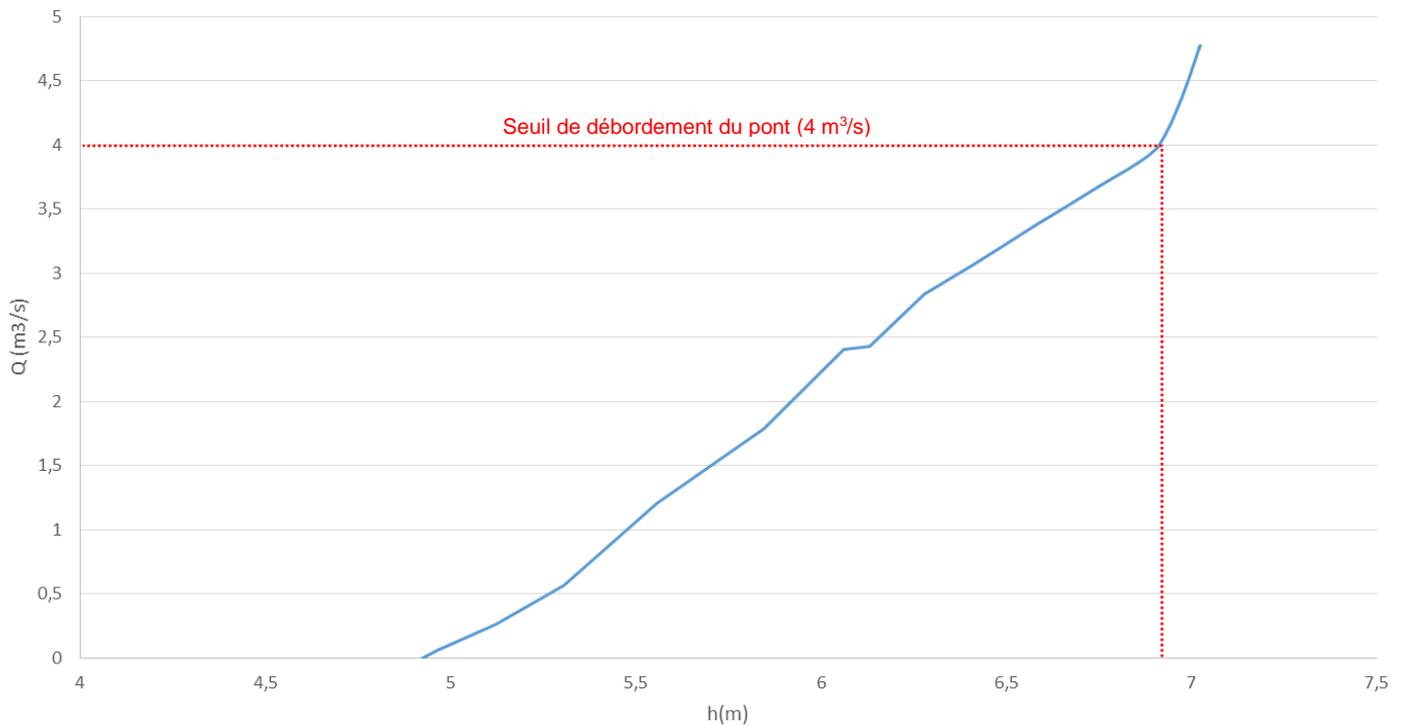
Le pont de la RD a une capacité hydraulique de l'ordre de 4 m³/s avant débordement.

Ce débit est légèrement inférieur au débit de pointe de période de retour 5 ans simulé sur le secteur (4,66 m³/s).

A noter qu'il n'y a pas eu de débordement observé sur ce pont jusqu'à présent (de mémoire de locaux), car celui-ci est « protégé » par les débordements se faisant déjà en amont au Rossignol et aussi par la section étroite du lit mineur en amont.

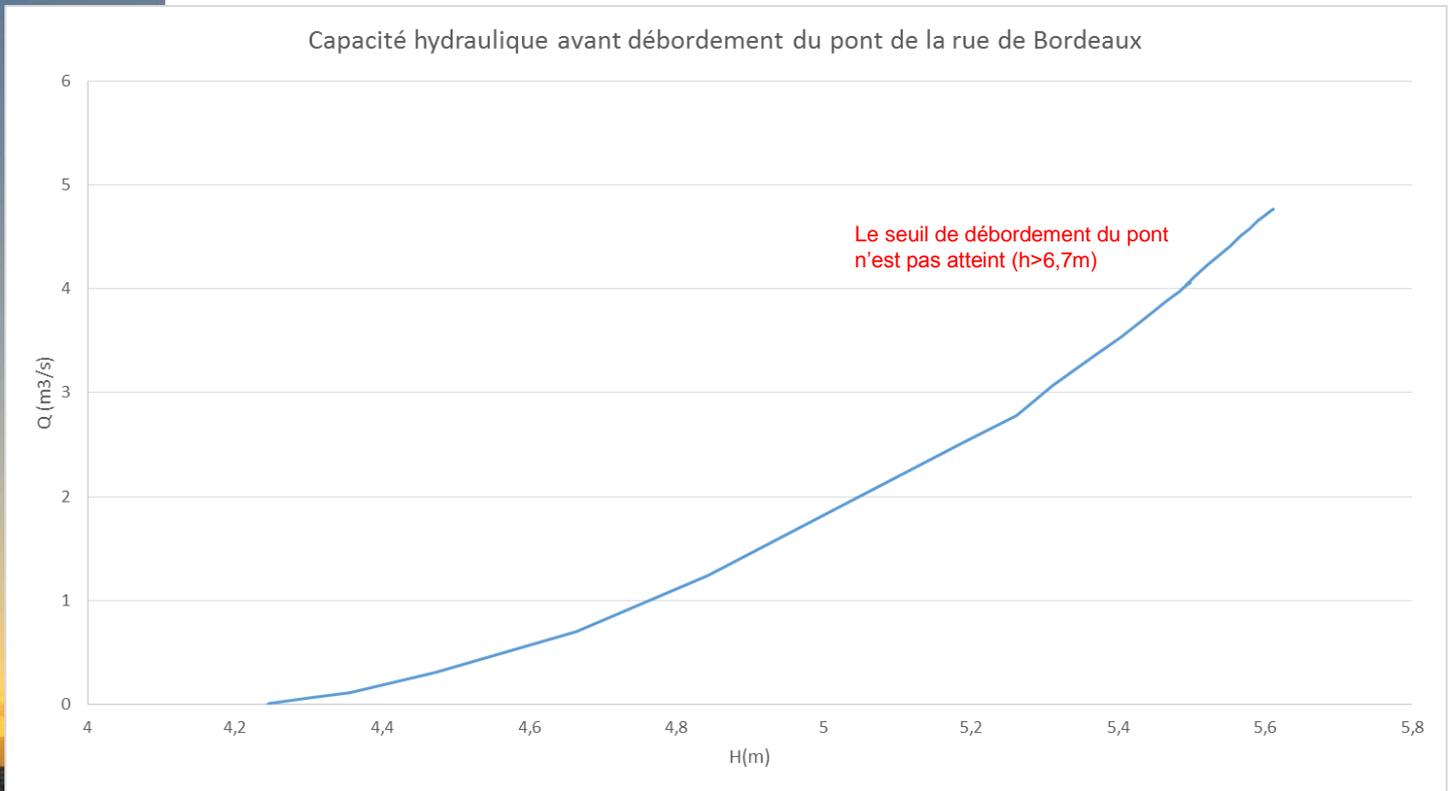
La capacité hydraulique de ce pont devrait être au moins augmentée de 50% pour éviter les inondations pour une période de retour 100 ans sur le secteur (6,6 m³/s).

Capacité hydraulique avant débordement du pont de la route départementale



Document n° 56 : Capacités d'écoulements au pont de la RD210

- ✓ Capacité d'écoulement avant débordement au niveau du pont de la rue de Bordeaux :
Le pont a une capacité hydraulique nettement supérieure à 7 m³/s avant débordement.
Ce débit est supérieur au débit de pointe de période de retour 100 ans simulé sur le secteur.



Document n° 57 : Capacités d'écoulements au pont de la rue de Bordeaux

9. PROPOSITIONS D'AMENAGEMENTS

Compte tenu des résultats exposés précédemment, les aménagements proposés suivent deux orientations :

- 1 Améliorer la capacité d'écoulement en aval en intervenant sur le lit du cours d'eau et les ponts de capacités insuffisantes.
- 2 Favoriser l'expansion de crue en amont dans les zones non contrôlées actuellement par des ouvrages hydrauliques.

9.1 Aménagements proposés : recalibrage du Vieux-Fossé

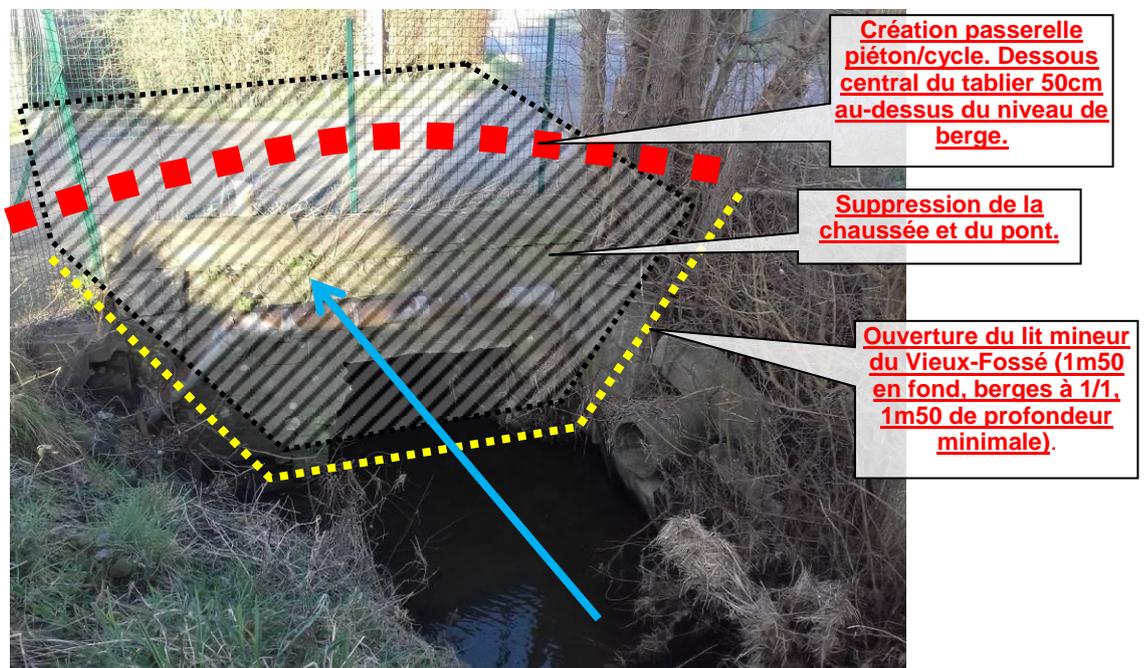
Nous avons constaté précédemment que le Vieux-Fossé avait une section réduite et insuffisante au regard des débits de crues dommageables à la traversée urbaine d'Arques et Clairmarais.

L'objectif à fixer est le suivant :

-> Gérer sans débordement le transit d'un débit de crue de $6,5 \text{ m}^3/\text{s}$ pour la période de retour 100 ans et à minima $5 \text{ m}^3/\text{s}$ pour la période de retour 10 ans.

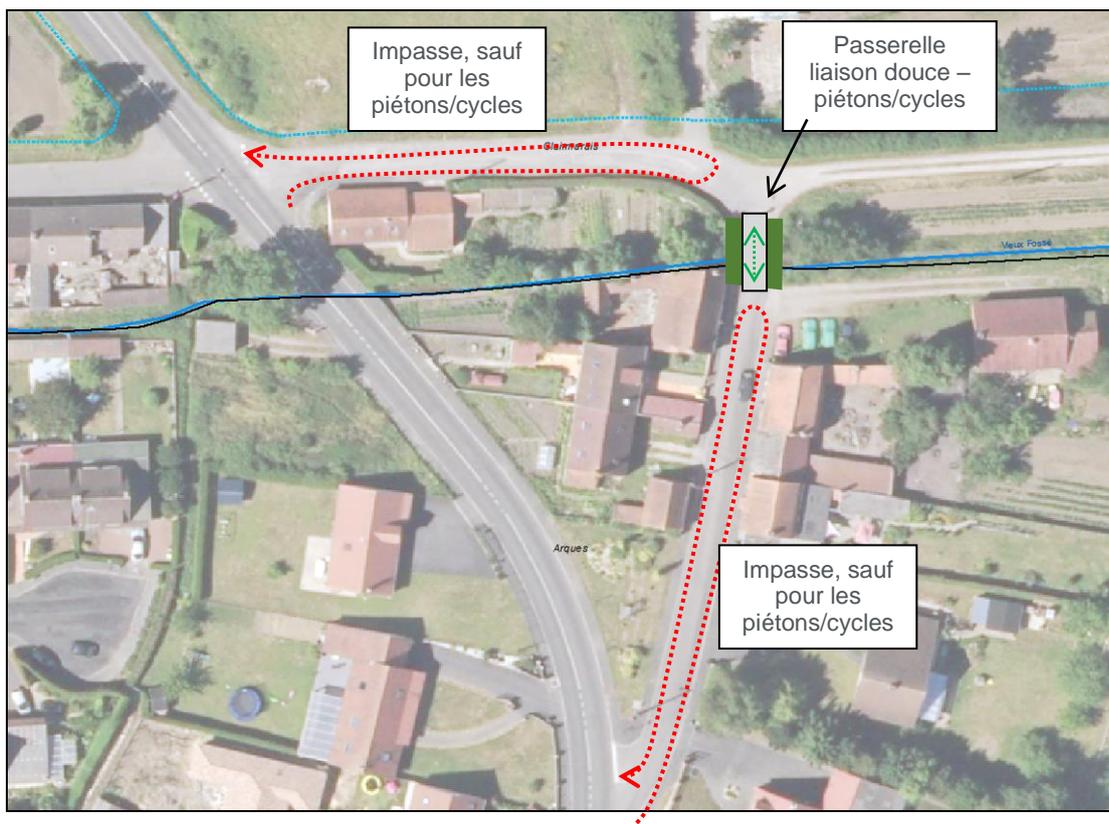
1 - Suppression du pont du Rossignol, passage de la rue en impasse et implantation d'une passerelle piéton/cycle transparente hydrauliquement, formant une arche au-dessus du niveau des berges :

La capacité de débitance devient supérieure à $6,5 \text{ m}^3/\text{s}$ avant débordement (Q100ans).



Document n° 58 : Schéma d'aménagement du nouveau pont au niveau du Rossignol

La circulation au niveau de ce secteur est donc modifiée, les accès aux habitations deviennent des impasses :



Document n° 59 : Schéma d'aménagement du nouveau pont au niveau du Rossignol, fonctionnement de la circulation



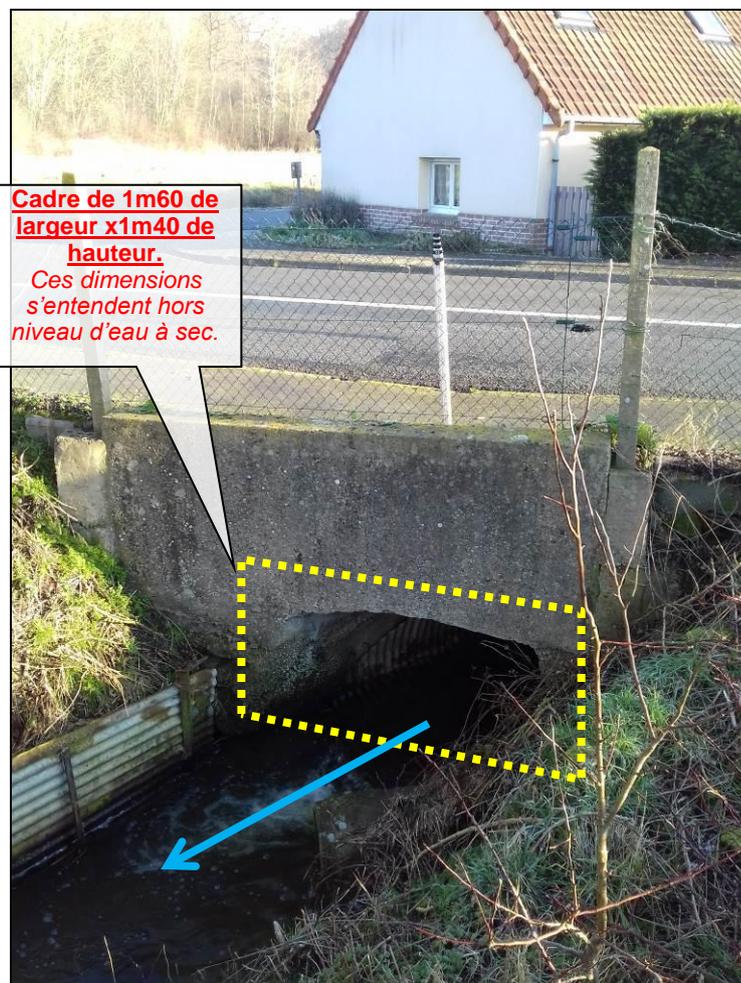
2 - Suppression du pont de la RD210, mise en œuvre d'un pont cadre de 1m60x1m40 (2,24m²) :

La pente est supérieure à 1%.

La capacité de débitance serait doublée (section actuelle proche de 1,1 m²).

Le débit pouvant transiter avant débordement par une telle section est supérieur à 7 m³/s (supérieur à Q100ans).

Le schéma d'implantation serait le suivant :



Document n° 60 : Schéma d'aménagement du nouveau pont au niveau de la RD210

3 - Un recalibrage du lit est nécessaire sur les tronçons suivants :

Il existe plusieurs points de rétrécissement sur le lit du Vieux-Fossé, où la largeur en fond descend à environ 1m.

Le recalibrage des ponts en amont (Rossignol et RD210) nécessitera un recalibrage du lit du Vieux-Fossé également.

Les protections de berges sont à reprendre de manière végétale, sauf contrainte foncière majeure (soutènement nécessaire de bâtiment,...).

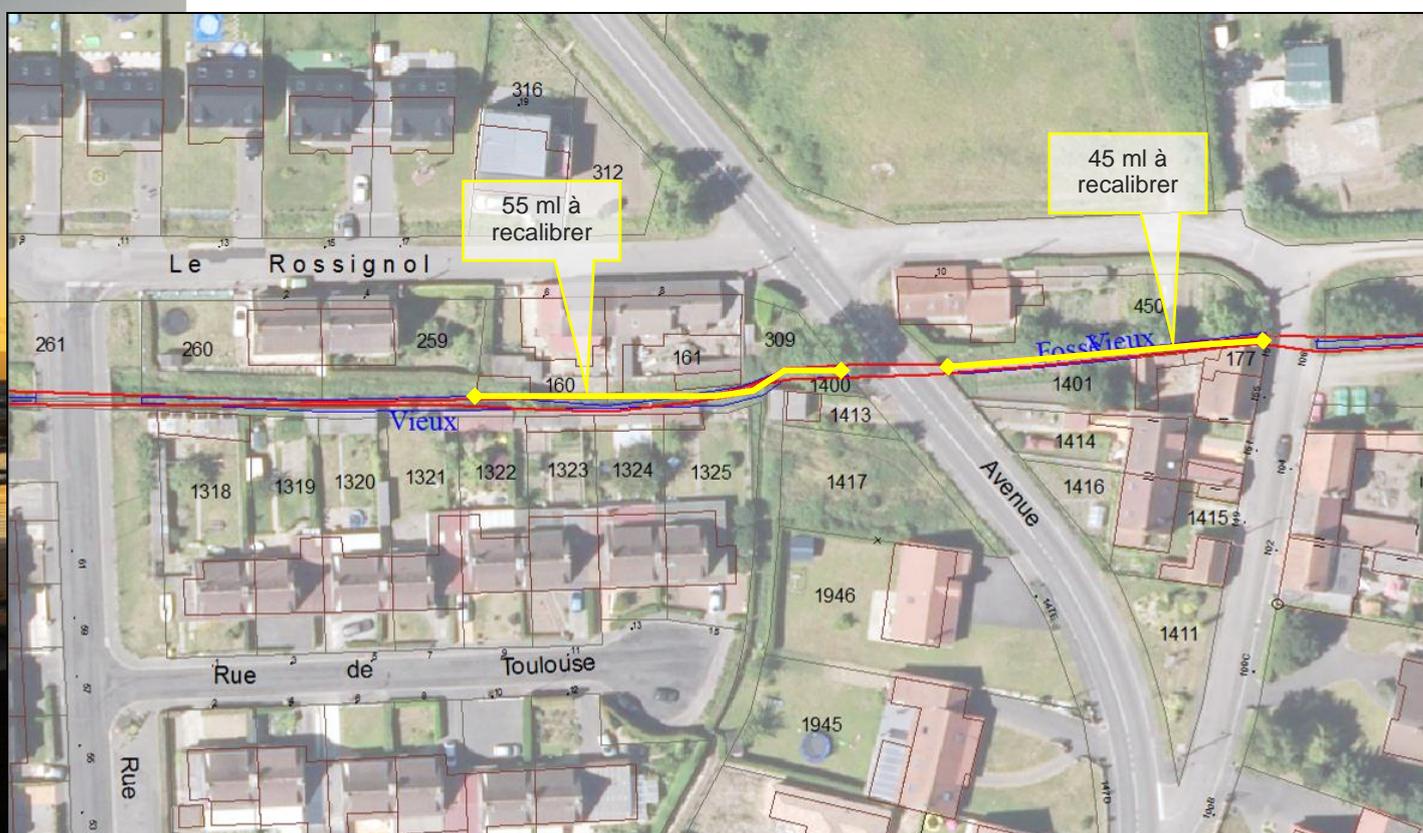
La section type proposée est la suivante :

Largeur du fond $\geq 1\text{m}50$

Berges pentées à 1/1 (sauf contrainte foncière avec présence de mur en rive gauche ou droite)

Profondeur $\geq 1\text{m}50$

Le profil en long est également remanié pour supprimer les contre-pentes.



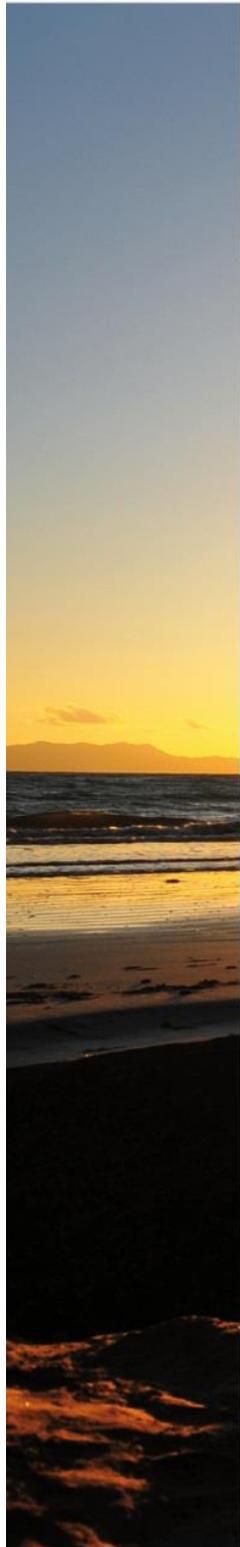
Document n° 61 : Localisation des tronçons du Vieux-Fossé à recalibrer

Tronçon de 45 ml amont à la RD210 :



Recalibrage
Largeur en fond
minimum = 1m50
Profondeur minimum =
1m50
Berges à 1/1

Document n° 62 : Exemple de recalibrage du tronçon amont du Vieux-Fossé



Tronçon de 55 ml aval à la RD210 :

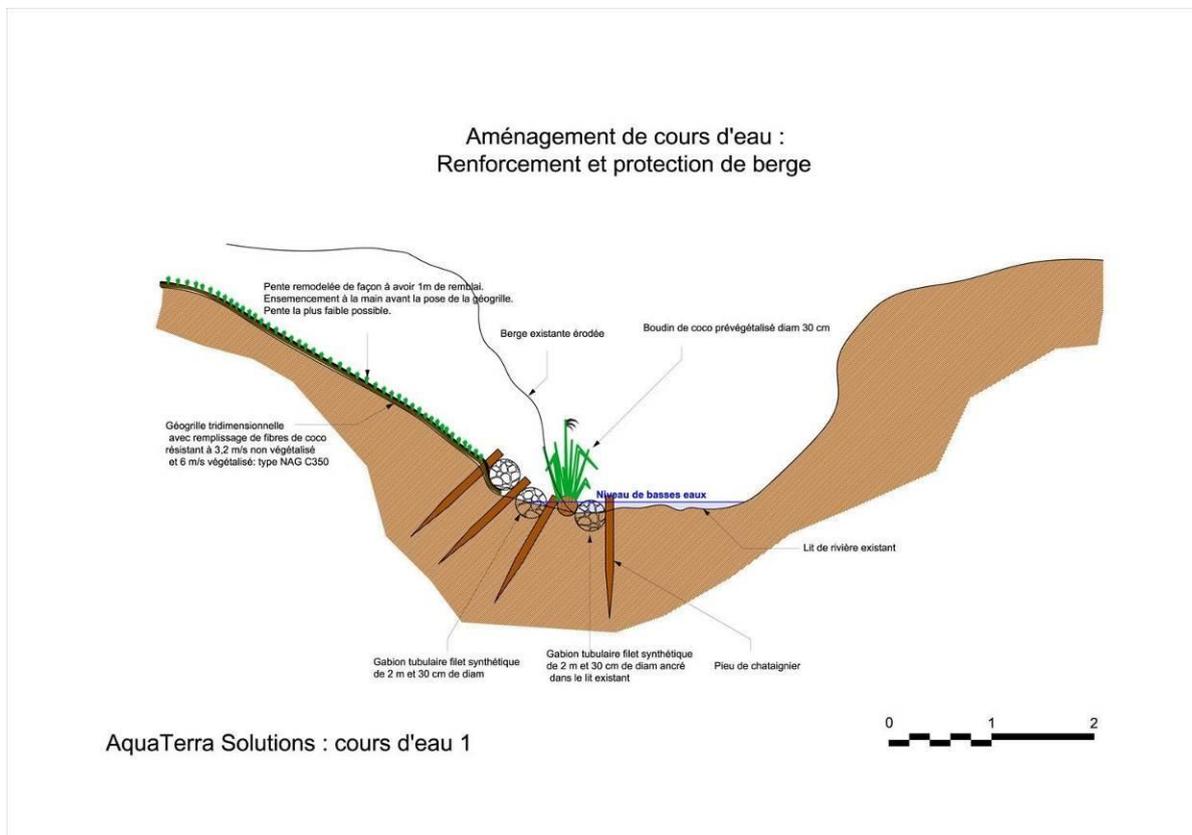


Document n° 63 : Exemple de recalibrage du tronçon aval du Vieux-Fossé

Exemples types de renforcement de berges par génie végétal :

Source :

<http://www.genie-vegetal.eu/technique/croquis/8/coupes-de-rivieres.htm>

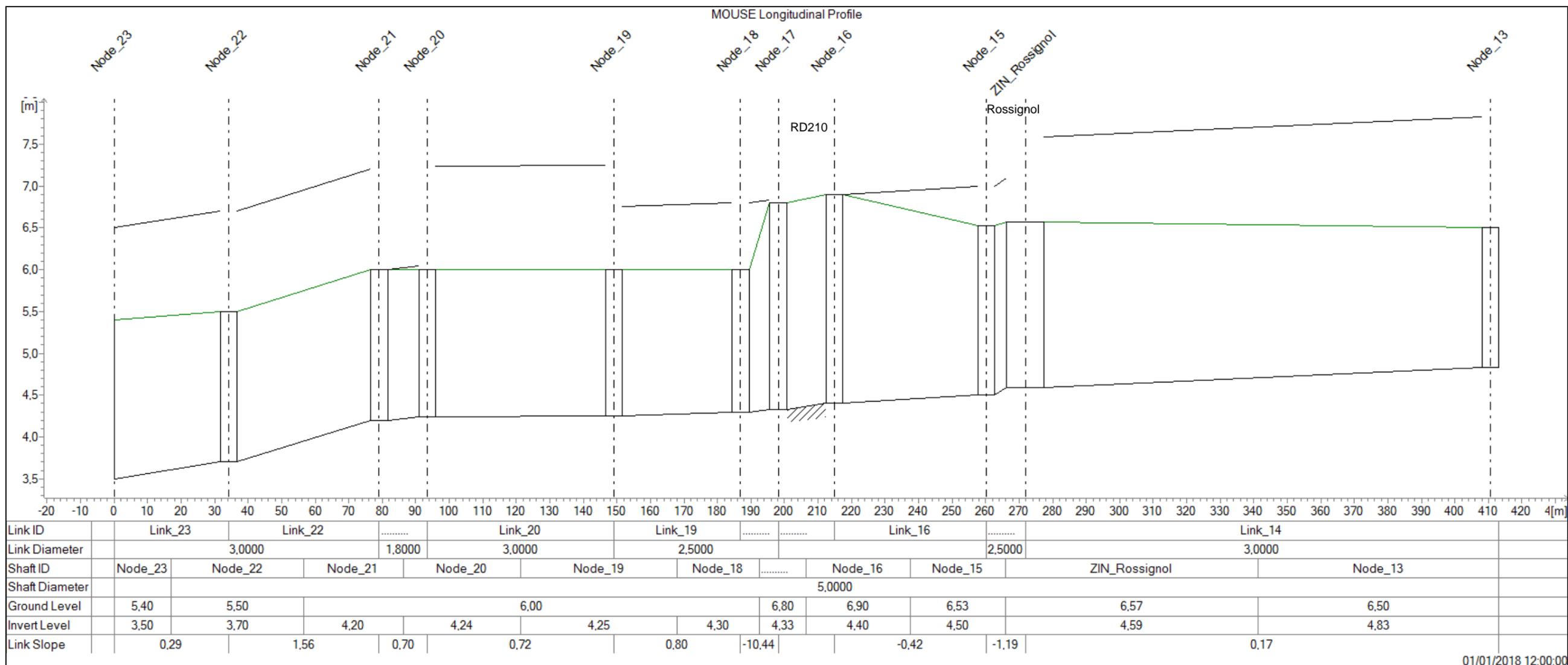


Document n° 64 : Exemple de berge renforcée par génie végétal (source : AquaTerra)

Efficacité attendue sur la lutte contre les inondations au secteur du Rossignol :

Selon la modélisation, il n'y a plus de débordement sur le secteur actuellement inondable jusqu'à la crue de période de retour 10 ans suite aux aménagements de recalibrages proposés. Le niveau d'eau déborde de 20cm au niveau du Rossignol pour la crue de période de retour 100 ans.

L'aménagement de recalibrage n'est donc pas suffisant pour garantir la mise hors d'eau du secteur du Rossignol pour les fortes crues.

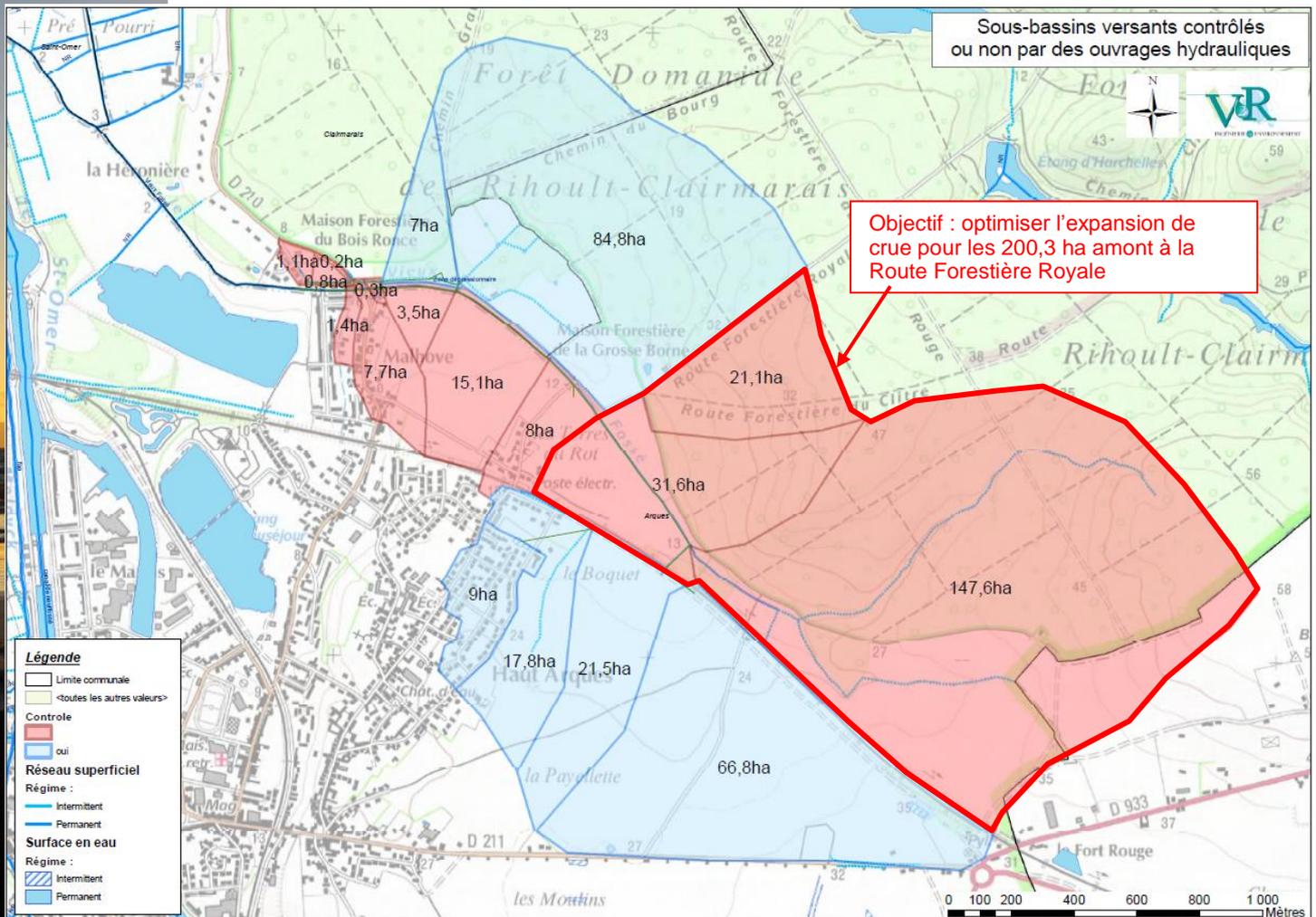


Document n° 65 : Profil en long au maximum de la crue au niveau du secteur inondable du Rossignol

9.2 Autre aménagement proposé en complément : rétention en amont

Pour rappel il est indispensable de maintenir les ouvrages hydrauliques jouant actuellement un rôle clé dans la régulation des débits de crue sur le bassin versant et mobilisant des zones d'expansion de crue naturelles ou un surstockage dans le lit du Vieux-Fossé.

En plus de ces ouvrages existants, la capacité d'expansion de crue peut également être davantage mobilisée sur d'autres secteurs, il s'agit en particulier d'optimiser la capacité d'expansion de crue en amont de la route forestière Royale : Cette ZEC (zone d'expansion de crue) est nécessaire pour la lutte contre les inondations au Rossignol pour les crues plus rares que les décennales.



Document n° 66 : Sous-bassins versants concernés par la proposition d'optimisation de l'expansion de crue

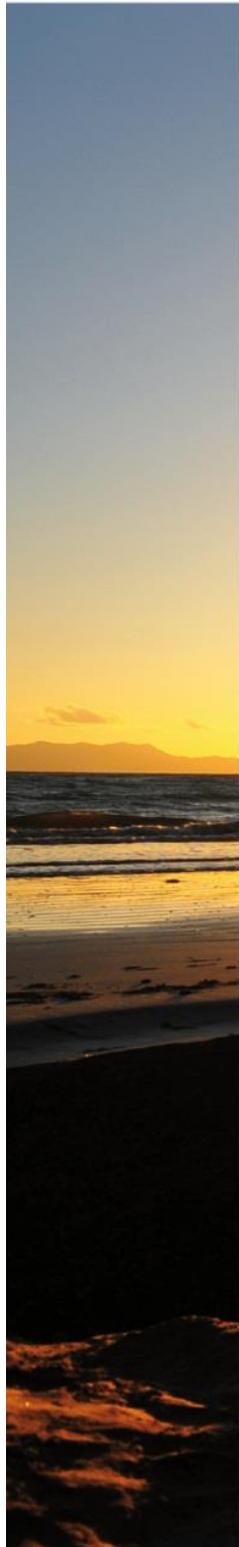
Le site potentiel pour accueillir cette zone d'expansion de crue existe déjà et nécessiterait à priori peu de terrassement :



Vieux-Fossé au centre.
Zone récemment boisée en rive droite
(à gauche sur la photo)
Zone agricole en rive gauche (à droite
sur la photo)



Vieux-Fossé en bas.
Zone récemment boisée en rive droite
(à droite sur la photo)
Route Forestière Royale en haut à
gauche de la photo.



Emplacement du site potentiel pour l'aménagement de la ZEC :

La surface de cette parcelle n°76 sur Arques fait environ 28 000 m².

Elle a fait l'objet d'un boisement récent.

Le volume disponible à l'expansion de crue est donc potentiellement très élevé, supérieur à 20000 m³ (le volume de terrassement serait à confirmer avec un levé topographique).

L'ouvrage de régulation serait le busage d'accès au champ situé juste en face du virage de la route forestière (dalot maçonné de 1m10x1m40). Sa section réduite de moitié forcerait l'expansion de crue en amont : 1m10x0m70).

Le fait de réduire la section sur la hauteur permet d'avoir un impact nul à faible sur les écoulements courants et les faibles crues annuelles/bisannuelles.



Document n° 67 : Proposition de ZEC conditionnelle en amont de la Route Forestière Royale

Efficacité attendue sur la lutte contre les inondations au secteur du Rossignol :

Le gain sur le débit de crue transitant au Rossignol est important :

Débit (CRUE Q=5 ANS) Volume ZEC = 5 000 m ³	Avant aménagement	Après aménagement	Gain en m ³ /s
Amont à la ZEC	3,07	3,07	-
En sortie de ZEC	3,07	0,91	- 2,16
Au niveau du Rossignol	4,34	1,50	- 2,84

Débit (CRUE Q=10 ANS) Volume ZEC = 5 000 m ³	Avant aménagement	Après aménagement	Gain en m ³ /s
Amont à la ZEC	3,62	3,62	-
En sortie de ZEC	3,62	1,16	- 2,46
Au niveau du Rossignol	4,92	1,74	- 3,18

Débit (CRUE Q=50 ANS) Volume ZEC = 10 000 m ³	Avant aménagement	Après aménagement	Gain en m ³ /s
Amont à la ZEC	5,15	5,15	-
En sortie de ZEC	5,15	1,70	- 3,45
Au niveau du Rossignol	6,11	2,31	- 3,80

Débit (CRUE Q=100 ANS) Volume ZEC = 10 000 m ³	Avant aménagement	Après aménagement	Gain en m ³ /s
Amont à la ZEC	5,77	5,77	-
En sortie de ZEC	5,77	2,00	- 3,77
Au niveau du Rossignol	6,50	2,50	- 4,00

On remarque un fort abaissement du débit de crue à la sortie de cette zone d'expansion de crue, d'un niveau tel qu'il pourrait à lui seul (c'est-à-dire hors opérations de recalibrage en aval), mettre hors d'eau le secteur du Rossignol pour une crue centennale (Q100 = 2,5 m³/s au Rossignol au lieu de 6,50 m³/s). La ZEC peut en outre présenter l'avantage d'une amélioration écologique du site (zone humide,...)

9.3 Estimation du coût des aménagements proposés et efficacité associée

Comme vu précédemment, on aboutit à deux scénarios d'aménagements ayant un complément d'efficacité au niveau de la mise hors d'eau du secteur du Rossignol, jusqu'à la crue centennale :

- **AMENAGEMENT 1** : recalibrage du lit du Vieux-Fossé à sa traversée urbaine
- **AMENAGEMENT 2** : aménagement d'une zone d'expansion de crue en amont de la Route Forestière Royale, en lisière de Forêt.

Tableau de synthèse des aménagements étudiés :

Action	Objet	Coût estimé € H.T. (hors foncier)	Intérêt	CONTRAINTES
1.1 – Suppression du pont du Rossignol, passerelle piéton/cycle	Améliorer la capacité de débitance avant débordement du cours d'eau en aval	20 000.00	- Efficace jusqu'à Q100 ans	- Faibles - Rapide à mettre en œuvre
1.2 – Remplacement du Pont de la RD210 par un cadre de 1m60x1m40	Améliorer la capacité de débitance avant débordement du cours d'eau en aval	200 000.00	- Efficace jusqu'à Q100 ans	- Faibles - Rapide à mettre en œuvre
1.3 – Recalibrage du lit du Vieux-Fossé sur 100 ml	Améliorer la capacité de débitance avant débordement du cours d'eau en aval	18 000.00	- Efficace jusqu'à Q100 ans	- Moyennes (foncières, propriétés privées) - Assez rapide à mettre en œuvre
TOTAL AMENAGEMENT 1 :		238 000.00	-	-
2 – Aménagement d'une zone d'expansion de crue en amont de la Grosse Borne	Optimiser l'expansion de crue en amont du bassin versant	200 000.00	- Efficace jusqu'à Q100 ans - Complément et/ou alternative aux aménagements 1/2/3	- Environnementale potentiellement forte (lisière de Forêt Domaniale) - Foncière - Long à mettre en œuvre
TOTAL AMENAGEMENT 2 :		200 000.00	-	-

10. SYNTHÈSE ET CONCLUSION

✓ Problématique étudiée :

Le secteur dit du « Rossignol » est vulnérable aux débordements du cours d'eau nommé « Vieux-Fossé » traversant la zone. La commune a notamment signalé les inondations s'étant produites à 2 reprises, les 17 et 22/23 juin 2016. Plusieurs habitations ont été touchées par les eaux au cours de la soirée du 17 juin, avec l'évacuation d'une personne. Ce phénomène s'est répété les 22/23 juin 2016.

Il s'agit des derniers cas d'inondation en date mais le phénomène s'était déjà produit à plusieurs reprises par le passé.

A ce jour, une pluviométrie intense de quelques heures suffit à provoquer une montée des eaux rendant la circulation dangereuse et impraticable et provoquant des désordres aux conséquences traumatisantes et pécuniaires pour les riverains.

✓ Etat des lieux :

Le bassin versant topographique du Vieux-Fossé (cours d'eau en cause pour les inondations objet de l'étude) s'étend sur 436 ha d'ouest en est, sur la Forêt Domaniale de Rihoult-Clairmarais au nord et sur les champs cultivés au sud.

Les pentes sont faibles à moyennes sur le bassin versant, plus fortes en forêt (entre 2 et 5%). Des levés topographiques ont été réalisés sur l'aval du bassin versant, le long du cours d'eau et montrent une contre-pente d'écoulement à la traversée du secteur du Rossignol (50cm de contre-pente).

Le bassin versant repose sur des formations géologiques globalement imperméables (argile de Roubaix, limons argileux). Les perméabilités sont donc faibles à très faibles, favorisant le ruissellement.

Des sources existent en Forêt Domaniale lorsqu'il y a des bancs de sables fins reposant sur les formations argileuses de Roubaix, c'est ce qui explique les nombreux écoulements provenant de la forêt.

Le Vieux-Fossé est classé administrativement comme « cours d'eau ».

Le réseau d'assainissement collectif est séparatif eaux usées / eaux pluviales sur le secteur d'études. Deux sous-bassins versants urbains de 1,4 ha et 8 ha ont leur rejet d'eaux pluviales dans le Vieux-Fossé, en aval de la zone inondable.

✓ Occupation des sols passée et actuelle :

L'occupation des sols a globalement très peu changé sur le bassin versant étudié entre 1990 et 2012 :

- le couvert forestier est resté le même ;
- les surfaces cultivées ont diminué de 11 ha environ au profit de l'extension de l'urbanisation du Haut-Arques (l'urbanisation a augmenté de 2,5 à 5% de la surface totale du bassin versant du Vieux-Fossé sur la période 2000-2012).

L'exploitation de photographies aériennes de 1947, 2005 et 2015 montre que :

- le couvert forestier est resté quasiment le même depuis 1947, sa surface a même très légèrement augmenté depuis ;

- l'urbanisation sur le bassin versant est restée de faible ampleur, avec une douzaine d'hectares en plus par rapport à 1947 ;
- la plus forte modification concernant l'occupation des sols entre 1947 et aujourd'hui concerne le fractionnement du parcellaire agricole, les parcelles sont aujourd'hui beaucoup plus grandes qu'avant.

En conclusion, s'il y avait une augmentation de l'importance et de la fréquence des inondations au niveau du Rossignol depuis plusieurs années voire décennies (ce qui est supposé par les interlocuteurs locaux mais pas démontré), l'urbanisation partielle du bassin versant ne pourrait pas être mise en cause, d'autant plus que les eaux pluviales du lotissement du Haut-Arques sont gérées dans un bassin de rétention à débit de fuite régulé. S'il y avait effectivement plus de ruissellement « qu'avant », cela ne pourrait provenir que du mode d'exploitation des terres agricoles (compactage, drainage, sens des cultures, assolements,...).

✓ Occupation des sols future :

On recense trois projets d'urbanisation à court / moyen terme sur le bassin versant :

1/ Projet des « Serres des Hauts-de-France » :

- Impact sur 12,65 ha de terrains partiellement imperméabilisés (9 ha de serres) et collecte des eaux de ruissellement de 6,9 ha de bassin versant non aménagé en amont (stockage dans une noue de 204 m³ de volume utile à 13,8 l/s de débit de fuite).
- Eaux de toitures gérées en circuit « fermé » dans un bassin de rétention étanche de 50000 m³ utilisé pour l'arrosage des plants de tomates – trop-plein vers le bassin de rétention de 823,5 m³ en aval (voir ci-dessous) ;
- Eaux du reste du projet (voiries / espaces verts) gérées dans un ouvrage de rétention de 823,5 m³ à débit de fuite régulé à 2 l/s/ha (4,6 l/s).

2/ Projet de viabilisation de la partie Nord de la Porte Multimodale de l'Aa :

- impact sur 12,6 ha de terrains partiellement imperméabilisés ;
- collecte des eaux de ruissellement et gestion dans un bassin de rétention de 4 420 m³ de capacité à 2 l/s/ha de débit de fuite.

3/ Projet de viabilisation de l'est de la rue Montgolfier (à confirmer au PLU intercommunal en cours d'élaboration) :

- impact sur 5,4 ha de terrains partiellement imperméabilisés ;
- collecte des eaux de ruissellement et gestion dans un bassin de rétention de 1 900 m³ de capacité à 2 l/s/ha de débit de fuite.

L'impact hydraulique sur l'augmentation des volumes et débits ruisselés de ces trois aménagements est compensé par des rétentions à débit de fuite régulé à hauteur au minimum de la pluie critique de période de retour 50 ans (objectif même encore plus élevé pour les Serres des Hauts-de-France).

✓ Pluviométrie :

L'épisode pluvieux du 17 juin 2016 ayant engendré les dernières fortes inondations sur le secteur d'étude était constitué d'une succession de plusieurs averses orageuses, parfois grêligènes. Le cumul de pluie sur le secteur étudié était de près de 40mm en 12 heures, soit un événement de période de retour 5 ans.

Les observations des cumuls de pluies mensuels, des pluies journalières et du nombre de jours de pluies modérés à fortes depuis 20 ans sur la station de Lille-Lesquin montrent une augmentation notable d'un type de pluie en particulier : les averses cumulant entre 30 et 40mm en 24 heures (période de retour 2 à 5 ans).

A contrario, les épisodes pluvieux les plus intenses (période de retour > 5 ans) ne sont pas plus nombreux récemment qu'il y a 20 ans. En outre, l'évolution depuis 20 ans va à la baisse concernant les cumuls de pluies mensuels et annuels.

En conclusion, les projections climatiques à long terme montrent une légère augmentation des pluies hivernales et de leur intensité, mais de manière peu importante, et la tendance s'inverserait à l'horizon 2080 avec une diminution des quantités précipitées.

✓ Modélisation hydraulique :

Les temps de concentrations actuels (2 heures pour l'ensemble du bassin versant) varieront peu entre la situation actuelle et la situation future, ce malgré les évolutions d'occupation du sol sur le territoire.

Concrètement, une forte pluie critique de 2h00 de durée va mobiliser pleinement la capacité de concentration des débits sur le bassin versant du Vieux-Fossé. C'est pour ça que les inondations se produisent essentiellement lors de pluies intenses, orageuses, et sont rapides.

Les modélisations montrent un débordement au niveau du Rossignol dès la pluie de période de retour 5 ans, avec 40 à 60cm de lame d'eau. Le débordement est limité au niveau de la RD à T=5ans, et se produit pour des crues plus rares.

On constate notamment que l'essentiel des débits provient de l'amont et de la forêt domaniale. Le débit de crue est déjà formé à la traversée de la Grosse Borne, il augmentera peu jusqu'à la traversée du Rossignol en aval, voire même diminuera pour les crues les plus fortes (> Q50ans) grâce à l'écrêtement dans son parcours dans le lit du Vieux-Fossé et aux expansions de crues dans les champs.

Plusieurs ponts et busages jouent un rôle essentiel d'écrêteur de crue sur l'amont du bassin versant :

- le franchissement sous la voie ferrée en amont pour les plus fortes crues (la voie ferrée ne peut être submergée et constitue un « barrage » dans le fond de vallée) ;
- l'expansion naturelle de la crue dans les champs en amont de la Grosse Borne ;
- un busage $\varnothing 1000$ dans le Vieux-Fossé même au niveau de la Grosse Borne ;
- une zone dépressionnaire en forêt (ancienne retenue d'eau aujourd'hui disparue).

Les surfaces « contrôlées » par ces ouvrages ou sites s'étendent sur plus de 200 ha (près de la moitié du bassin versant étudié).

Ces ouvrages ou sites sont absolument à conserver pour la gestion des crues du secteur.

Le profil en long et en travers du cours d'eau et deux ponts présentent une capacité de débitance insuffisante au Rossignol :

Pour rappel, le profil en long de l'écoulement du Vieux Fossé montre une contre-pente d'écoulement entre le Rossignol et la route départementale de l'ordre de 50cm.

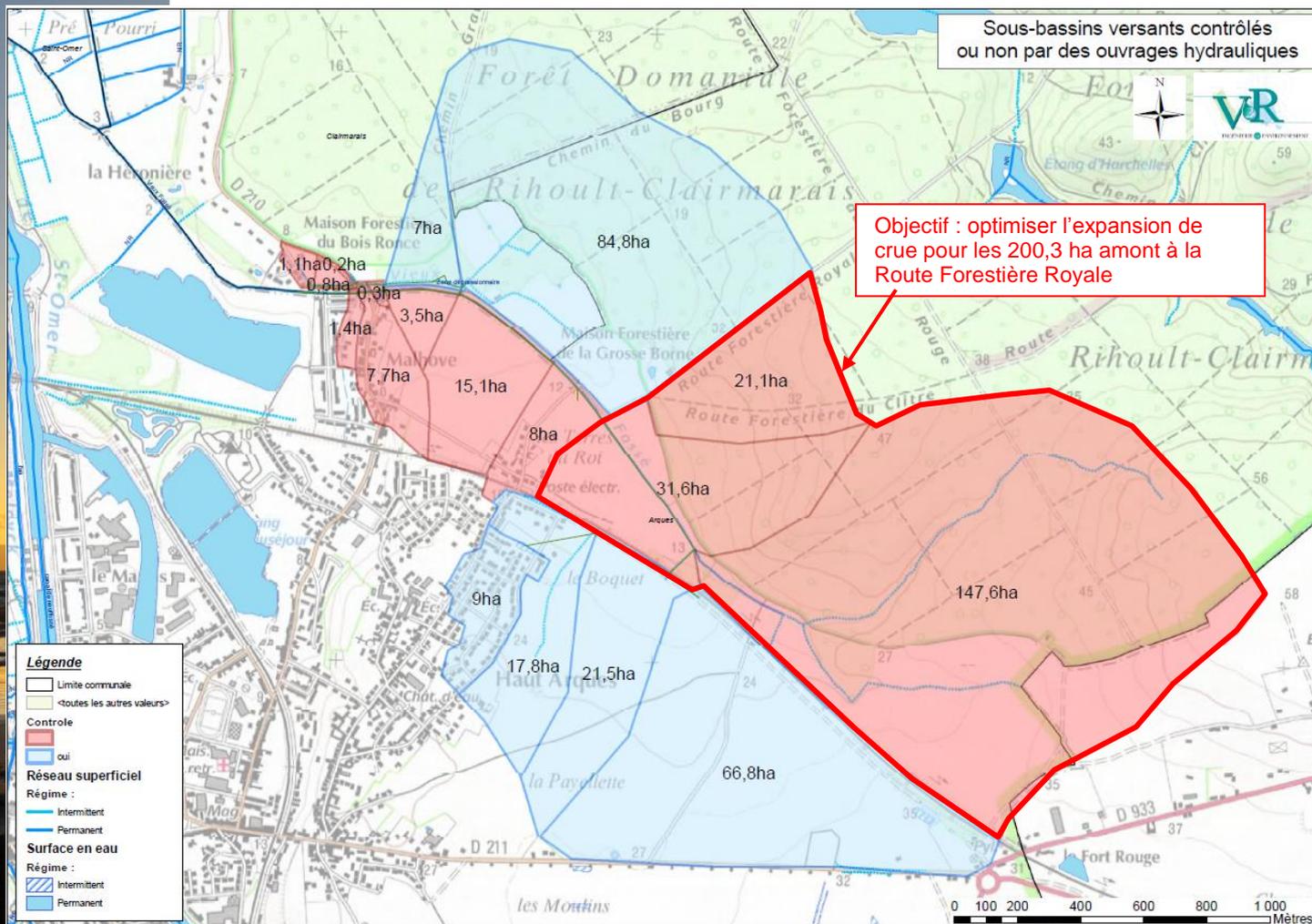
Le pont du Rossignol a une capacité hydraulique de l'ordre de $2,8 \text{ m}^3/\text{s}$ avant débordement. Ce débit est nettement inférieur au débit de pointe de période de retour 5 ans simulé sur le secteur qui est de $4,66 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le pont de la RD210 a une capacité hydraulique de l'ordre de $4 \text{ m}^3/\text{s}$ avant débordement. Ce débit est légèrement inférieur au débit de pointe de période de retour 5 ans simulé sur le secteur ($4,66 \text{ m}^3/\text{s}$).

Concernant l'urbanisation future en amont du bassin versant, elle n'aggraver pas la situation actuelle en termes de risque d'inondation jusqu'à la crue de période de retour 100 ans au moins. Elle l'améliorera même pour les périodes de retour inférieures ou égales à 10 ans.

✓ **Modélisation hydraulique – aménagements proposés :**

Les actions de régulation des écoulements seront à porter prioritairement sur les 236 ha de sous-bassins versants non contrôlés actuellement. On remarque notamment un gros sous-bassin versant forestier en amont de la Route Forestière Royale de 148 ha producteur de près de 50% du débit de crue transitant par le Rossignol.



Les aménagements proposés suivent deux orientations :

- Améliorer la capacité d'écoulement en aval en intervenant sur le lit du cours d'eau et les ponts de capacités insuffisantes.
- Favoriser l'expansion de crue en amont dans les zones non contrôlées actuellement par des ouvrages hydrauliques.

Objectif : gérer sans débordement le transit d'un débit de crue de 6,5 m³/s pour la période de retour 100 ans et à minima 5 m³/s pour la période de retour 10 ans.

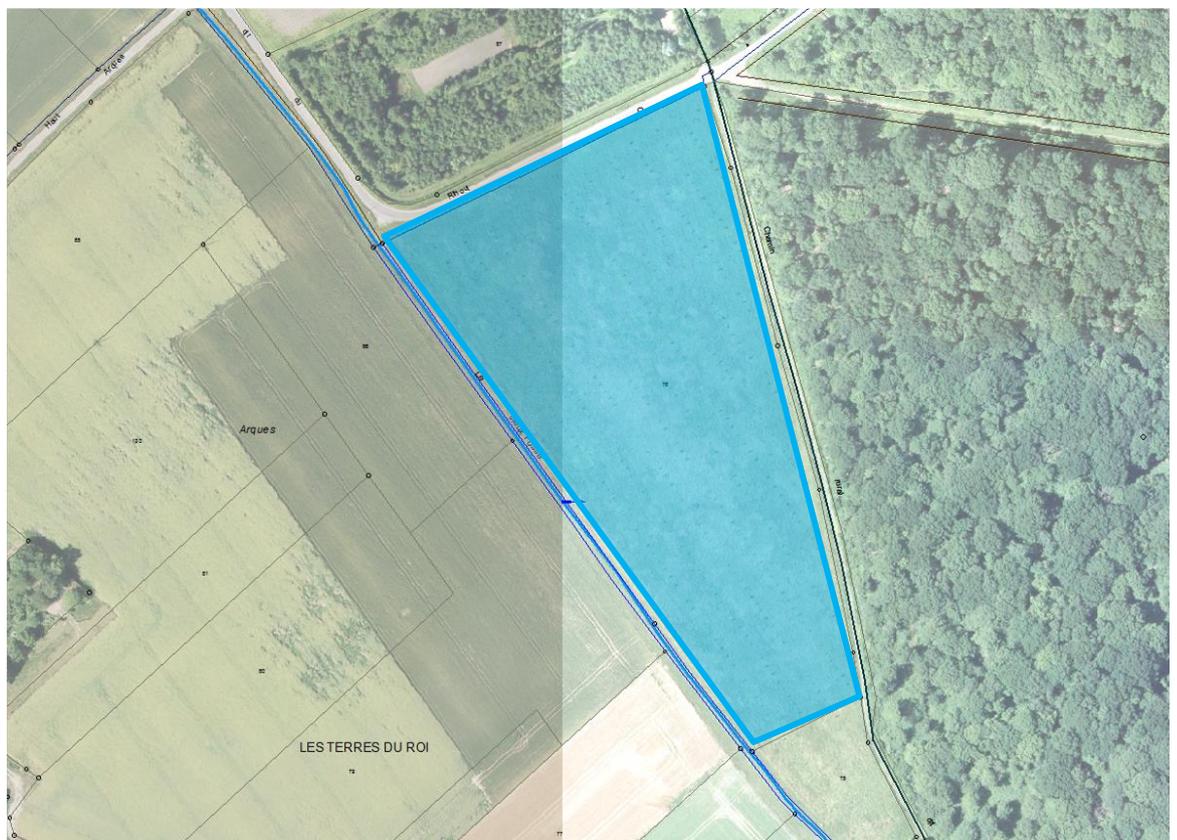
Efficacité attendue sur la lutte contre les inondations au secteur du Rossignol :

Selon la modélisation, il n'y a plus de débordement sur le secteur actuellement inondable jusqu'à la crue de période de retour 10 ans suite aux aménagements de recalibrages proposés. Le niveau d'eau déborde de 20cm au niveau du Rossignol pour la crue de période de retour 100 ans.

L'aménagement de recalibrage n'est donc pas suffisant pour garantir la mise hors d'eau du secteur du Rossignol pour les fortes crues.

En plus de ces ouvrages existants, la capacité d'expansion de crue peut également être davantage mobilisée sur d'autres secteurs, il s'agit en particulier d'optimiser la capacité d'expansion de crue en amont de la route forestière Royale : cette ZEC d'environ 2 ha de surface (zone d'expansion de crue) est nécessaire pour la lutte contre les inondations au Rossignol pour les crues plus rares que les décennales.

Emplacement de la ZEC proposée :



On remarque un fort abaissement du débit de crue à la sortie de cette zone d'expansion de crue, d'un niveau tel qu'il pourrait à lui seul (c'est-à-dire hors opérations de recalibrage en aval), mettre hors d'eau le secteur du Rossignol pour une crue centennale ($Q_{100} = 2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ au Rossignol au lieu de $6,50 \text{ m}^3/\text{s}$).

La ZEC peut en outre présenter l'avantage d'une amélioration écologique du site (zone humide,...).

Tableau de synthèse des aménagements étudiés :

Action	Objet	Coût estimé € H.T. (hors foncier)	Intérêt	CONTRAINTES
1.1 – Suppression du pont du Rossignol, passerelle piéton/cycle	Améliorer la capacité de débitance avant débordement du cours d'eau en aval	20 000.00	- Efficace jusqu'à Q100 ans	- Faibles - Rapide à mettre en œuvre
1.2 – Remplacement du Pont de la RD210 par un cadre de 1m60x1m40	Améliorer la capacité de débitance avant débordement du cours d'eau en aval	200 000.00	- Efficace jusqu'à Q100 ans	- Faibles - Rapide à mettre en œuvre
1.3 – Recalibrage du lit du Vieux-Fossé sur 100 ml	Améliorer la capacité de débitance avant débordement du cours d'eau en aval	18 000.00	- Efficace jusqu'à Q100 ans	- Moyennes (foncières, propriétés privées) - Assez rapide à mettre en œuvre
TOTAL AMENAGEMENT 1 :		238 000.00	-	-
2 – Aménagement d'une zone d'expansion de crue en amont de la Grosse Borne	Optimiser l'expansion de crue en amont du bassin versant	200 000.00	- Efficace jusqu'à Q100 ans - Complément et/ou alternative aux aménagements 1/2/3	- Environnementale potentiellement forte (lisière de Forêt Domaniale) - Foncière - Long à mettre en œuvre
TOTAL AMENAGEMENT 2 :		200 000.00	-	-