



*Liberté • Égalité • Fraternité*

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Direction Départementale des Territoires  
du Territoire de Belfort

---

ETUDES HYDRAULIQUES ET  
HYDROGÉOMORPHOLOGIQUES ET  
COMPLÉMENTS D'ÉTUDES  
HISTORIQUES DU BASSIN VERSANT  
DE LA BOURBEUSE

**Enveloppes des zones inondables**

01628660 | Mai 2022 | v8





Immeuble Le Crystallin  
191/193 Cours Lafayette  
CS 20087 - 69458 Lyon Cedex 06

Email :  
[hydratec\\_lyon@hydra.setec.fr](mailto:hydratec_lyon@hydra.setec.fr)

T : 04 27 85 48 80  
F : 04 27 85 48 81

Directeur d'affaire : WWP

Responsable d'affaire : DUC

N° affaire : 016 28660

Fichier : 28660\_Rapport\_TF\_V7.docx

Version	Date	Etabli par	Vérfié par	Nb pages	Observations / Visa
0	Mai 2017	DUC	MEG		
1	Aout 2017	DUC	MEG		Compléments suites aux remarques du 24/07/2017
2	Septembre 2018	DUC	MEG		
3	Décembre 2018	DUC	MEG		Prise en compte des remarques du 06/11/2018
4	Janvier 2019	DUC	MEG		Prise en compte des remarques du 06/11/2018
5	Mars 2019	DUC	MEG		Corrections DDT90 08/03/2019
6	Juillet 2019	DUC	MEG		Prise en compte remarques post-consultation communes et collectivités
7	Octobre 2019	DUC	MEG		Prise en compte remarques complémentaires post-consultation communes et collectivités
8	Mai 2022	DUC	MEG		Modification de l'annexe 7 – Secteur B : Cotes calculées par modélisation

## TABLE DES MATIERES

1	INTRODUCTION.....	6
1.1	Contexte et méthodologie générale .....	6
1.2	Organisation de la mission.....	8
2	METHODOLOGIE DE DEFINITION DES ALEAS PAR SECTEURS .....	9
2.1	Secteur A : définition de l'aléa par reconstitution de l'emprise des crues de février 1990 et de la crue centennale sur la base d'une analyse hydrogéomorphologique.....	9
2.2	Secteur B : définition de l'aléa par modélisation hydraulique .....	11
2.3	Secteur C : définition de l'aléa par méthode hydrogéomorphologique et analyse topographique .....	12
2.4	Secteur D : définition de l'aléa par méthode hydrogéomorphologique .....	12
2.5	Synthèse .....	13
3	METHODOLOGIE RETENUE POUR LES ANALYSES HYDROGÉOMORPHOLOGIQUES	15
3.1	Les unités morphologiques .....	16
3.1.1	Le lit mineur .....	16
3.1.2	Le lit majeur .....	16
3.1.3	Les zones critiques .....	17
3.2	Analyse géologique.....	18
3.3	Analyse morphologique.....	20
3.3.1	Analyse des points levés et des courbes de niveau du levé photogrammétrique (équidistance de 2 m entre les courbes) : mise en évidence du relief général.....	20
3.3.2	Établissement d'une carte corrigée des pentes .....	21
3.3.3	Établissement de profils en travers de la vallée .....	21
4	ANALYSE HYDROLOGIQUE.....	24
4.1	Introduction .....	24
4.2	Présentation du réseau hydrographique .....	25
4.3	Contexte climatique.....	26
4.4	Données hydrométriques disponibles .....	28
4.5	Analyse fréquentielle des débits de crue.....	29
4.5.1	Méthodologie .....	29
4.5.2	Durées caractéristiques des crues.....	31
4.5.3	Analyse pluviométrique, détermination des GRADEX .....	31
4.5.4	Synthèse des résultats.....	33
4.6	Analyse régionale des débits de crues.....	33
4.6.1	Saint-Nicolas, Madeleine et Bourbeuse amont .....	33
4.6.2	Autruche et autres affluents aval rive droite de la Bourbeuse.....	35
4.6.3	Affluents rive gauche de la Bourbeuse .....	35
4.6.4	Comparaison avec les différentes formules disponibles dans la bibliographie .....	37

4.6.5	Formulations locales retenues pour l'estimation des débits instantanés décennaux et centennaux .....	37
4.7	Répartition des débits dans le modèle hydraulique secteur B.....	38
4.7.1	Crues décennale, centennale et supra-centennale.....	38
4.7.2	Crues historiques.....	39
4.8	Reconstitution des débits de la crue de 1990 sur le secteur A.....	42
5	CARTOGRAPHIE DES ZONES INONDABLES .....	43
5.1	Secteur A .....	43
5.1.1	Introduction .....	43
5.1.2	Reconstitution de l'Enveloppe de la Crue de 1990 .....	44
5.1.3	Calcul de l'enveloppe de la crue centennale.....	45
5.1.4	Analyse hydrogéomorphologique .....	45
5.1.5	Réalisation de l'atlas des zones inondables .....	46
5.3	Secteur B .....	56
5.3.1	Introduction .....	56
5.3.2	Présentation du logiciel.....	56
5.3.3	Construction du modèle .....	56
5.3.4	Calage du modèle.....	60
5.3.5	Cartographie des zones inondables .....	66
5.4	Secteur C .....	68
5.4.1	Introduction .....	68
5.4.2	Analyse hydrogéomorphologique .....	68
5.4.3	Reconstitution de l'enveloppe des zones inondables.....	71
5.5	secteur D : bassin versant de la Suarcine .....	71
5.5.1	Collecte de données .....	71
5.5.2	Méthodologie proposée pour la définition de l'aléa .....	72
5.5.3	Photo-interprétation, analyse hydrogéomorphologique.....	72
5.5.4	Mission de terrain.....	73
5.5.5	Reconstitution de l'enveloppe des zones inondables.....	74
ANNEXES .....		76
ANNEXE 1 : CALCUL DU GRADEX DES PLUIES DE BASSIN .....		77
ANNEXE 2 : CORRELATIONS LINEAIRES ENTRE QIX ET QJX .....		78
ANNEXE 3 : AJUSTEMENTS DE GUMBEL ET EXTRAPOLATION PAR LA METHODE DU GRADEX .....		80
ANNEXE 4 : LAISSES DE CRUE.....		84
ANNEXE 5 : PROFILS EN LONG DES AFFLUENTS DE LA BOURBEUSE, SECTEUR A .....		86
ANNEXE 6 : SECTEUR A - DETAILS DES CALCULS AUX PROFILS EN TRAVERS DES LIGNES D'EAU ET DES VITESSES POUR LA CRUE DE 1990 ET POUR LA CRUE CENTENNALE .....		90



ANNEXE 7 : SECTEUR B – COTES D’EAU CALCULEES PAR MODELISATION SUR L’AXE BOURBEUSE (HORS BRAS SECONDAIRES ET AFFLUENTS).....	93
ANNEXE 8 : SECTEUR C – ESTIMATION DES COTES D’EAU ETABLIES A PARTIR DE L’ANALYSE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE AU DROIT DE PROFILS EN TRAVERS CARACTERISTIQUES DES COURS D’EAU .....	94
ANNEXE 9 : PRESENTATION DU LOGICIEL HYDRARIV .....	95
1 PRESENTATION DU LOGICIEL .....	96
1.1 Architecture du logiciel .....	96
1.2 Principes de modélisation .....	97
1.3 Traçabilité .....	98
2 PRESENTATION DES SCHEMAS DE MODELISATION.....	99
2.1 Schématisation filaire .....	99
2.2 Schématisation casiers .....	101
2.3 Schématisation bi-dimensionnelle (2D).....	102
2.4 Les liaisons latérales.....	104
2.5 Couplage 1D-2D .....	105
2.5.1 Maillage 2D appuyé sur les limites du domaine 1D .....	105
2.5.2 Bief 1D immergé dans le maillage 2D.....	106
3 MODELISATION DES OUVRAGES HYDRAULIQUES.....	107
3.1 Ouvrages de franchissement .....	107
3.2 Seuils et vannages.....	107
ANNEXE 10 : COMPTE RENDUS DES ENTRETIENS AVEC LES COMMUNES DU BASSIN DE LA SUARCINE .....	109

# 1 INTRODUCTION

## 1.1 CONTEXTE ET METHODOLOGIE GENERALE

Le Plan de Prévention du Risque Inondation (PPRI) du bassin de la Bourbeuse a été approuvé par arrêté préfectoral n°1870 en date du 13 septembre 2002. Ce PPRI, en secteur rural, a été réalisé sur la base d'une crue historique, à savoir la crue du 14 au 16 février 1990. Cette crue est considérée comme la plus forte connue, et aucune étude hydraulique n'a été réalisée pour l'élaboration de ce PPRI. Il couvre l'ensemble du bassin versant de la Bourbeuse, à l'exception de la partie amont des affluents.

La DDT du Territoire de Belfort a décidé de procéder à la révision du PPRI du bassin versant de la Bourbeuse, ainsi qu'à son extension aux communes amont et à la Suarcine, afin de compléter la couverture du bassin versant sur sa partie amont, de réévaluer précisément les niveaux de référence, et de s'inscrire dans un objectif de préservation des zones d'expansion de crue.

Cette révision et extension du plan de prévention des risques inondation du bassin versant de la Bourbeuse a été prescrit par l'arrêté n°2012355-0001 du 20 décembre 2012.

Les communes de Reppe, Lagrange et Morvillars sont incluses dans cet arrêté, mais les analyses techniques ont démontré qu'elles ne sont pas concernées par les inondations des cours d'eau objet de la présente mission. Elles ne sont donc pas mentionnées dans la suite de ce rapport.

La présente étude fait suite à une étude des crues historiques et de caractérisation du bassin de la Bourbeuse, réalisée par le bureau d'étude Ginger Environnement et Infrastructure (GEI) en 2008. Cette étude a relevé de nombreuses laisses et repères de crues. Dans la présente étude, l'ensemble des laisses de crues utilisées provient de l'étude GEI de 2008.

Lors de cette précédente étude, 3 secteurs ont été définis, sur lesquels différentes méthodologies de définition de l'aléa ont été proposées :

- Secteur A : Affluents provenant des Vosges – Madeleine, Saint-Nicolas, Autruche, Ermite et Magrabant ;
- Secteur B : Bourbeuse et aval de la Saint-Nicolas ;
- Secteur C : Petits affluents : Clavelière, ruisseau de la Prelle, de l'Étang et de l'Écrevisse ;

La présente étude met en œuvre ces préconisations méthodologiques en conservant le découpage par sous-secteur, et couvre également la Suarcine, qui constitue le secteur D.

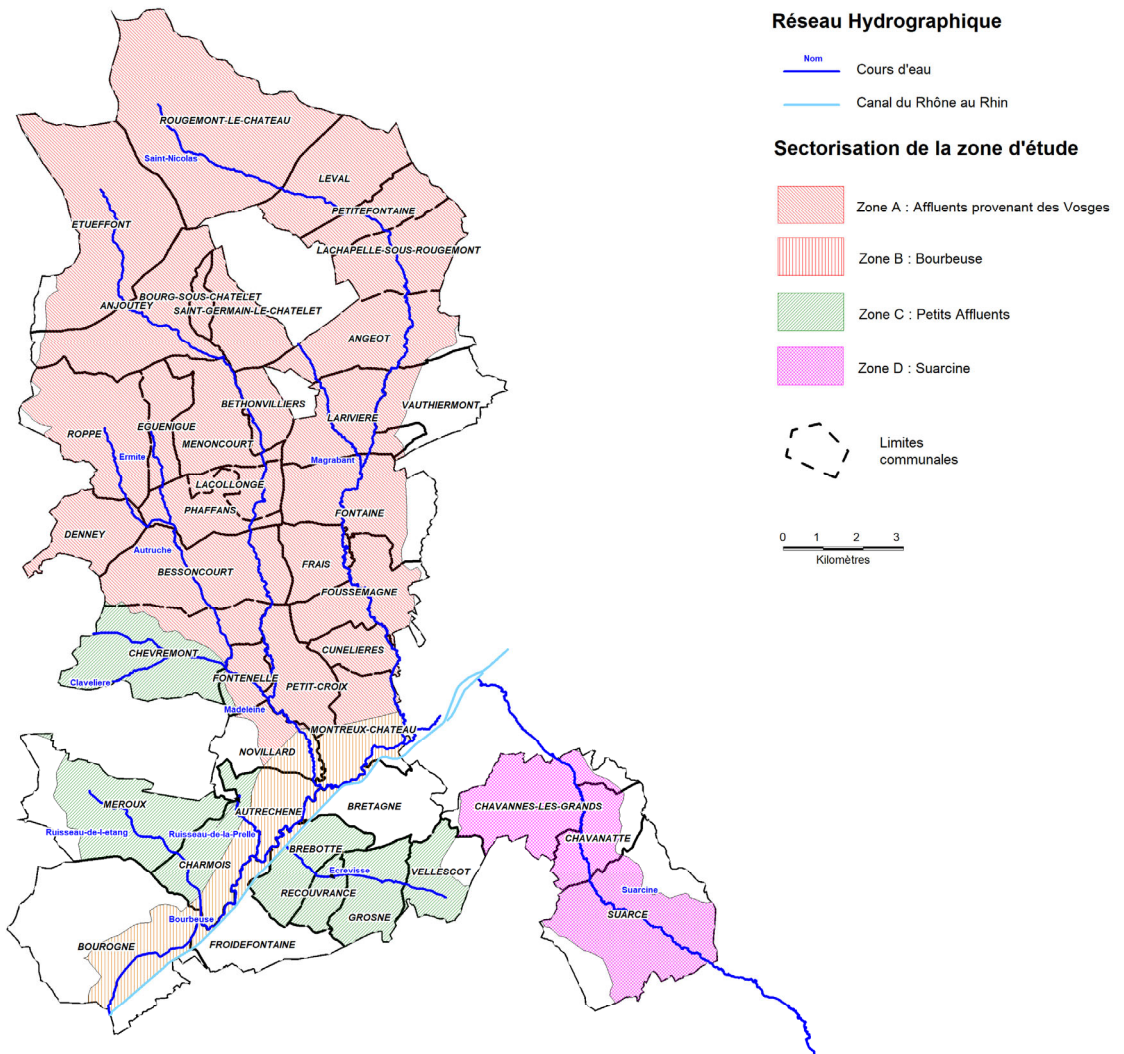


Figure 1 : sectorisation des méthodologies de caractérisation de l'aléa

## 1.2 ORGANISATION DE LA MISSION

La mission est décomposée en trois phases :

- Phase 1 : analyses préalables, topographie et réalisation des enveloppes des zones inondables,
- Phase 2 : détermination et quantification des caractéristiques des écoulements, élaboration des cartes d'aléas
- Phase 3 : analyse des enjeux et élaboration des cartes réglementaires

Le présent rapport correspond à la phase 1 ; il est accompagné d'une série **d'atlas cartographiques par commune** :

- **Secteur A** : définition de l'aléa par reconstitution de l'emprise de la crue de 1990 et de la crue centennale sur la base d'une analyse hydrogéomorphologique
  - Analyse hydrogéomorphologique et historique
  - Emprise de la zone inondable pour la crue de 1990
  - Emprise de la zone inondable pour une crue centennale
- **Secteur B** : définition de l'aléa par modélisation hydraulique
  - Emprise de la zone inondable pour la crue de 1990
  - Emprise de la zone inondable pour la crue de validation de mars 2006
  - Emprise de la zone inondable pour une crue décennale
  - Emprise de la zone inondable pour une crue centennale
  - Emprise de la zone inondable pour une crue supra-centennale
- **Secteur C** : Définition de l'aléa par méthode hydrogéomorphologique et analyse topographique
  - Analyse hydrogéomorphologique et historique
  - Emprise de la zone inondable
- **Secteur D** : définition de l'aléa par méthode hydrogéomorphologique
  - Analyse hydrogéomorphologique
  - Emprise de la zone inondable

## 2 METHODOLOGIE DE DEFINITION DES ALEAS PAR SECTEURS

Pour chacun des 4 secteurs, une méthodologie spécifique de définition de l'aléa a été mise en œuvre. Ce choix est notamment justifié par l'intensité de la crue de février 1990 sur chacun de ces secteurs et le niveau de connaissance disponible sur cette crue.

Le présent chapitre rappelle les communes et cours d'eau concernés par chacun des secteurs, et présente une synthèse des méthodologies mises en œuvre. Ce chapitre fait référence à des approches techniques qui sont détaillées dans la suite du document :

- La méthodologie relative à l'**approche hydrogéomorphologique** réalisée pour les secteurs A, C et D est détaillée dans le chapitre 3,
- La méthodologie relative à l'**étude hydrologique** nécessaire à la caractérisation des débits des crues historiques et de la crue centennale pour les secteurs A et B est détaillée dans le chapitre 4,
- La **modélisation hydraulique** mise en œuvre sur le secteur B est présentée dans le chapitre 5.3.

### 2.1 SECTEUR A : DEFINITION DE L'ALEA PAR RECONSTITUTION DE L'EMPRISE DES CRUES DE FEVRIER 1990 ET DE LA CRUE CENTENNALE SUR LA BASE D'UNE ANALYSE HYDROGÉOMORPHOLOGIQUE

Les communes et cours d'eau situés sur le secteur A sont les suivants :

Commune	Cours d'eau
ANGEOT	Magrabant
	Saint-Nicolas
ANJOUTEY	Madeleine
BESSONCOURT	Madeleine
	Autruche
BETHONVILLIERS	Madeleine
BOURG-SOUS-CHATELET	Madeleine
CHEVREMONT	Madeleine
	Autruche
CUNELIERES	Saint-Nicolas
DENNEY	Autruche
EGUENIGUE	Ermite
ETUEFFONT	Madeleine
FONTAINE	Magrabant
	Saint-Nicolas
FONTENELLE	Madeleine
	Autruche
FOUSSEMAGNE	Saint-Nicolas
FRAIS	Saint-Nicolas
LACHAPELLE-SOUS-ROUGEMONT	Saint-Nicolas

Commune	Cours d'eau
LACOLLONGE	Madeleine
LARIVIERE	Magrabant
	Saint-Nicolas
LEVAL	Saint-Nicolas
MENONCOURT	Madeleine
MONTREUX-CHATEAU	Saint-Nicolas
NOVILLARD	Madeleine
PETIT-CROIX	Madeleine
PETITEFONTAINE	Saint-Nicolas
PHAFFANS	Autruche
	Madeleine
	Ermite
ROPPE	Ermite
ROUGEMONT-LE-CHATEAU	Saint-Nicolas
SAINT-GERMAIN-LE-CHATELET	Madeleine
VAUTHIERMONT	Saint-Nicolas

La crue historique de février 1990 est considérée comme au moins centennale sur les têtes de bassins versants du secteur A, correspondant aux linéaires amont des affluents provenant des Vosges (Madeleine, Saint-Nicolas, Autruche, Ermite et Magrabant). Cette crue se doit donc d'être prise comme référence pour l'élaboration du PPRI là où sa période de retour est effectivement supra-centennale. Sur les secteurs aval de ces cours d'eau, la crue de 1990 présente une période de retour inférieure à 100 ans ; l'aléa devra alors être établi sur la base d'une crue centennale reconstituée.

Une analyse hydrologique détaillée est réalisée dans un premier temps afin de déterminer les débits de la crue de période de retour 100 ans, afin de les comparer à ceux de la crue historique de 1990 (cf. 3).

La reconstitution fine de l'enveloppe de la crue de 1990 se base sur l'exploitation des enveloppes et laisses de crues disponibles. Ces données sont analysées puis croisées avec les données topographiques.

Des calculs hydrauliques ponctuels permettent d'interpoler la ligne d'eau entre les repères de crue disponibles. Les ouvrages faisant obstacles à l'écoulement (routes ou voies ferrées en remblais, digues, etc.) sont analysés et les pertes de charges qu'ils provoquent sont prises en compte (cf. 5.1.2).

Des calculs hydrauliques similaires, s'appuyant sur la définition des débits correspondant issus de l'analyse hydrologique et sur les données topographiques permettent de reconstituer la ligne d'eau de la crue centennale et l'enveloppe des zones inondables correspondant.

La crue de référence retenue pour l'élaboration de l'aléa correspondra alors à une synthèse de ces deux scénarios, en reconstituant l'enveloppe maximale de ces deux crues.

Une approche hydrogéomorphologique a été menée en parallèle de ces analyses hydrauliques. Elle a permis :

- dans un premier temps de préciser la localisation des sections nécessaires pour la réalisation des calculs hydrauliques pré-cités,
- dans un second temps de déterminer d'éventuelles « zones critiques », non inondées par la crue de 1990 mais potentiellement inondables pour une crue de débit légèrement supérieure. Ces zones sont présentées dans la suite du document.

Notons que la Madeleine se prête assez mal à l'exercice de l'analyse topographique. La partie aval du cours d'eau, entre Lacollonge et Petit-Croix traverse une forêt assez dense où la photogrammétrie est de mauvaise qualité. Dans ce secteur, l'analyse hydrogéomorphologique est également difficile, les forêts masquant les marques géomorphologiques. Des visites de terrain réalisées en novembre 2012 ont permis de préciser l'extension de la plaine alluviale, notamment sur la rive gauche de la Madeleine en amont en et aval de la RD419.

## 2.2 SECTEUR B : DEFINITION DE L'ALEA PAR MODELISATION HYDRAULIQUE

Les communes et cours d'eau situés sur le secteur B sont les suivants :

Commune	Cours d'eau	Commentaire
AUTRECHENE	Madeleine	Secteur aval, confluence avec la Bourbeuse
	Bourbeuse	
	Ruisseau-de-la-Prelle	Secteur aval, confluence avec la Bourbeuse
BOUROGNE	Bourbeuse	
	Ruisseau-de-l-Étang	Secteur aval, confluence avec la Bourbeuse
BREBOTTE	Bourbeuse	
	Écrevisse	Secteur aval, dans le remous de la Bourbeuse à l'arrière du canal
BRETAGNE	Bourbeuse	
CHARMOIS	Bourbeuse	
	Ruisseau-de-la-Prelle	Secteur aval, confluence avec la Bourbeuse
	Ruisseau-de-l-Étang	Secteur aval, confluence avec la Bourbeuse
FROIDEFONTAINE	Bourbeuse	
MONTREUX-CHATEAU	Bourbeuse	
	Saint-Nicolas	Secteur aval, confluence avec la Bourbeuse
	Madeleine	Secteur aval, confluence avec la Bourbeuse
NOVILLARD	Madeleine	Secteur aval, confluence avec la Bourbeuse
PETIT-CROIX	Madeleine	Secteur aval, confluence avec la Bourbeuse (en limite de zone inondable)

Sur le secteur B (tronçon aval correspondant à l'aval de la Saint-Nicolas et à la Bourbeuse), la crue de 1990 est de période de retour nettement inférieure à 100 ans.

La crue de référence retenue est donc une crue statistique centennale. Les débits correspondants ont été calculés dans l'étude hydrologique et hydraulique de la Savoureuse ; les apports intermédiaires ont été reconstitués à l'issue de l'étude hydrologique complémentaire réalisée dans le cadre de la présente mission (cf. 3).

Une modélisation hydraulique utilisant un modèle de calcul des écoulements mixte mono/bi-dimensionnel en régime permanent est réalisée à l'aide du logiciel HYDRARIV.

Ce modèle prend en compte les effets de stockage, ainsi que les ouvrages faisant obstacle à l'écoulement.

## 2.3 SECTEUR C : DEFINITION DE L'ALEA PAR METHODE HYDROGÉOMORPHOLOGIQUE ET ANALYSE TOPOGRAPHIQUE

Les communes et cours d'eau situés sur le secteur C sont les suivants :

Commune	Cours d'eau	Commentaire
AUTRECHENE	Ruisseau-de-la-Prelle	
BREBOTTE	Écrevisse	
CHARMOIS	Ruisseau-de-la-Prelle	
	Ruisseau-de-l-Étang	
CHEVREMONT	Claveliere	
FONTENELLE	Claveliere	Confluence avec l'Autruche
GROSNE	Écrevisse	
MEROUX	Ruisseau-de-l-Étang	
RECOUVRANCE	Écrevisse	
VELLESCOT	Écrevisse	

Sur le secteur C (petits affluents : Clavelière, ruisseaux de la Prelle, de l'Étang et de l'Écrevisse), la crue de 1990 est peu renseignée, ou n'a pas été ressentie comme une inondation importante.

L'établissement de la zone inondable se base sur la méthodologie hydrogéomorphologique, décrite au chapitre suivant. Les données photogrammétriques ainsi que les repères de crues historiques disponibles permettent de préciser la définition de l'emprise de la zone inondable.

## 2.4 SECTEUR D : DEFINITION DE L'ALEA PAR METHODE HYDROGÉOMORPHOLOGIQUE

Les communes et cours d'eau situés sur le secteur D sont les suivants :

Commune	Cours d'eau
CHAVANATTE	Suarcine
CHAVANNES-LES-GRANDS	Suarcine
SUARCE	Suarcine

Sur le secteur D, secteur de la Suarcine, les investigations de terrain n'ont pas fourni d'éléments permettant de reconstituer une crue de référence. La méthode mise en œuvre pour l'élaboration des cartes d'inondation et des cartes d'aléa repose sur une approche hydrogéomorphologique décomposée en une première phase de photo interprétation, puis une phase de terrain.

Aucune donnée topographique n'est disponible sur ce secteur.



## 2.5 SYNTHÈSE

Le tableau ci-dessous synthétise pour chaque commune la méthodologie retenue (associée aux secteurs A, B, C ou D) pour l'élaboration de l'enveloppe des zones inondables.

Commune	Cours d'eau	Secteur	Commentaire
ANGEOT	Magrabant	Secteur A : hydrogéomorphologie, crues 1990 et centennale	
	Saint-Nicolas	Secteur A : hydrogéomorphologie, crues 1990 et centennale	
ANJOUTEY	Madeleine	Secteur A : hydrogéomorphologie, crues 1990 et centennale	
AUTRECHENE	Madeleine	Secteur B : modélisation	
	Bourbeuse	Secteur B : modélisation	
	Ruisseau-de-la-Prelle	Secteur C : hydrogéomorphologie et analyse topographique	
BESSONCOURT	Ruisseau-de-la-Prelle	Secteur B : modélisation	Secteur aval, confluence avec la Bourbeuse
	Madeleine	Secteur A : hydrogéomorphologie, crues 1990 et centennale	
BETHONVILLIERS	Autruche	Secteur A : hydrogéomorphologie, crues 1990 et centennale	
BETHONVILLIERS	Madeleine	Secteur A : hydrogéomorphologie, crues 1990 et centennale	
BOURG-SOUS-CHATELET	Madeleine	Secteur A : hydrogéomorphologie, crues 1990 et centennale	
BOUROGNE	Ruisseau-de-l-Étang	Secteur B : modélisation	Secteur aval, confluence avec la Bourbeuse
	Bourbeuse	Secteur B : modélisation	
BREBOTTE	Écrevisse	Secteur C : hydrogéomorphologie et analyse topographique	
	Écrevisse	Secteur B : modélisation	Secteur aval, dans le remous de la Bourbeuse à l'arrière du canal
	Bourbeuse	Secteur B : modélisation	
BRETAGNE	Bourbeuse	Secteur B : modélisation	
	Bourbeuse	Secteur B : modélisation	
CHARMOIS	Bourbeuse	Secteur B : modélisation	
	Ruisseau-de-la-Prelle	Secteur C : hydrogéomorphologie et analyse topographique	
	Ruisseau-de-la-Prelle	Secteur B : modélisation	Secteur aval, confluence avec la Bourbeuse
	Ruisseau-de-l-Étang	Secteur C : hydrogéomorphologie et analyse topographique	
	Ruisseau-de-l-Étang	Secteur B : modélisation	Secteur aval, confluence avec la Bourbeuse
CHAVANATTE	Suarcine	Secteur D : hydrogéomorphologie	
CHAVANNES-LES-GRANDS	Suarcine	Secteur D : hydrogéomorphologie	
CHEVREMONT	Madeleine	Secteur A : hydrogéomorphologie, crues 1990 et centennale	
	Autruche	Secteur A : hydrogéomorphologie, crues 1990 et centennale	
	Claveliere	Secteur C : hydrogéomorphologie et analyse topographique	
CUNELIERES	Saint-Nicolas	Secteur A : hydrogéomorphologie, crues 1990 et centennale	
DENNEY	Autruche	Secteur A : hydrogéomorphologie, crues 1990 et centennale	
EGUENIGUE	Ermite	Secteur A : hydrogéomorphologie, crues 1990 et centennale	
ETUEFFONT	Madeleine	Secteur A : hydrogéomorphologie, crues 1990 et centennale	
FONTAINE	Magrabant	Secteur A : hydrogéomorphologie, crues 1990 et centennale	
	Saint-Nicolas	Secteur A : hydrogéomorphologie, crues 1990 et centennale	
FONTENELLE	Madeleine	Secteur A : hydrogéomorphologie, crues 1990 et centennale	
	Autruche	Secteur A : hydrogéomorphologie, crues 1990 et centennale	
FOUSSEMAGNE	Saint-Nicolas	Secteur A : hydrogéomorphologie, crues 1990 et centennale	
FRAIS	Saint-Nicolas	Secteur A : hydrogéomorphologie, crues 1990 et centennale	
FROIDEFONTAINE	Bourbeuse	Secteur B : modélisation	
GROSNE	Écrevisse	Secteur C : hydrogéomorphologie et analyse topographique	
LACHAPELLE-SOUS-ROUGEMONT	Saint-Nicolas	Secteur A : hydrogéomorphologie, crues 1990 et centennale	
LACOLLONGE	Madeleine	Secteur A : hydrogéomorphologie, crues 1990 et centennale	
LARIVIERE	Magrabant	Secteur A : hydrogéomorphologie, crues 1990 et centennale	
	Saint-Nicolas	Secteur A : hydrogéomorphologie, crues 1990 et centennale	
LEVAL	Saint-Nicolas	Secteur A : hydrogéomorphologie, crues 1990 et centennale	
MENONCOURT	Madeleine	Secteur A : hydrogéomorphologie, crues 1990 et centennale	
MEROUX	Ruisseau-de-l-Étang	Secteur C : hydrogéomorphologie et analyse topographique	
MONTREUX-CHATEAU	Bourbeuse	Secteur B : modélisation	
	Saint-Nicolas	Secteur A : hydrogéomorphologie, crues 1990 et centennale	
	Saint-Nicolas	Secteur B : modélisation	Secteur aval, confluence avec la Bourbeuse
	Madeleine	Secteur B : modélisation	Secteur aval, confluence avec la Bourbeuse
NOVILLARD	Madeleine	Secteur A : hydrogéomorphologie, crues 1990 et centennale	
	Madeleine	Secteur B : modélisation	Secteur aval, confluence avec la Bourbeuse
PETIT-CROIX	Madeleine	Secteur A : hydrogéomorphologie, crues 1990 et centennale	
PETITEFONTAINE	Saint-Nicolas	Secteur A : hydrogéomorphologie, crues 1990 et centennale	
PHAFFANS	Madeleine	Secteur A : hydrogéomorphologie, crues 1990 et centennale	
	Autruche	Secteur A : hydrogéomorphologie, crues 1990 et centennale	
	Ermite	Secteur A : hydrogéomorphologie, crues 1990 et centennale	
RECOUVRANCE	Écrevisse	Secteur C : hydrogéomorphologie et analyse topographique	
ROPPE	Autruche	Secteur A : hydrogéomorphologie, crues 1990 et centennale	
ROUGEMONT-LE-CHATEAU	Saint-Nicolas	Secteur A : hydrogéomorphologie, crues 1990 et centennale	
SAINTEFONTAINE	Madeleine	Secteur A : hydrogéomorphologie, crues 1990 et centennale	
SAINTEFONTAINE	Madeleine	Secteur A : hydrogéomorphologie, crues 1990 et centennale	
SUARCE	Suarcine	Secteur D : hydrogéomorphologie	
VAUTHIERMONT	Saint-Nicolas	Secteur A : hydrogéomorphologie, crues 1990 et centennale	
VELLESCOT	Écrevisse	Secteur C : hydrogéomorphologie et analyse topographique	



### 3 METHODOLOGIE RETENUE POUR LES ANALYSES HYDROGEOMORPHOLOGIQUES

Ce chapitre présente la méthodologie générale et commune des analyses hydrogéomorphologiques mises en œuvre sur les secteurs A, C et D.

Les points caractéristiques propres à chaque cours d'eau et chaque secteur sont détaillés dans le chapitre 5.

L'analyse hydrogéomorphologique est basée sur l'identification d'unités morphologiques homogènes modelées par les différents types de crue et différenciables sur le terrain par la présence de séparations morphologiques (talus).

Elle résulte en la réalisation de cartes hydrogéomorphologiques au 1/10 000 identifiant les unités hydrogéomorphologiques actives (lit mineur et lit majeur), les unités secondaires (zones critiques) et les unités sans rôle hydrodynamique (l'encaissant).

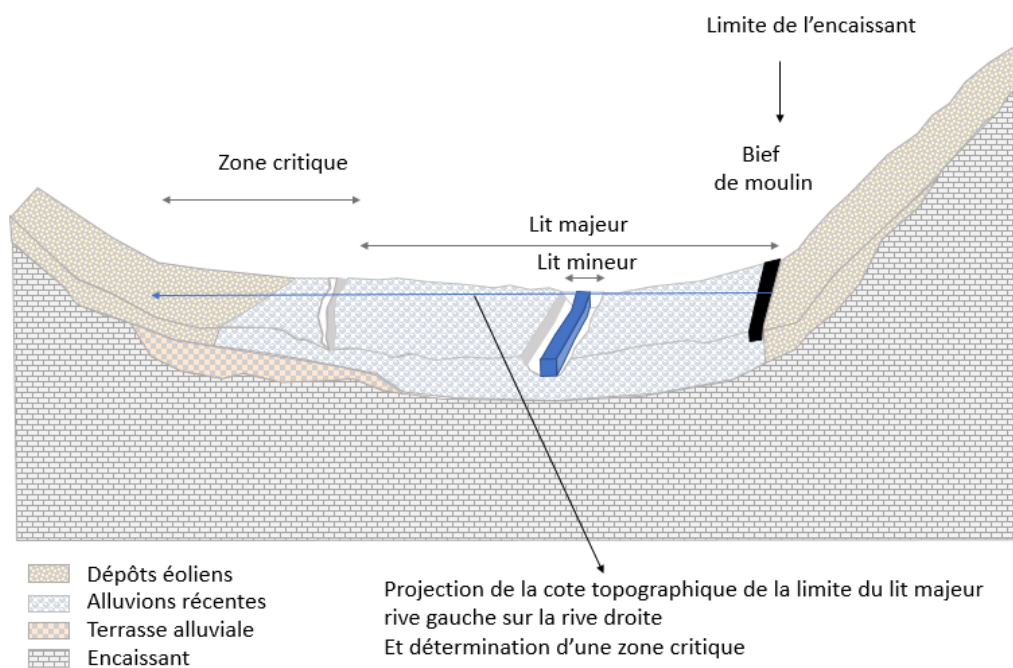


Figure 2 : Fonctionnement hydrogéomorphologique de la vallée

Les définitions des unités hydrogéomorphologiques sont présentées dans le chapitre ci-après, qui sera suivi par la description géologique du bassin versant et la méthode d'analyse de la topographie mettant en évidence les séparations morphologiques.

## 3.1 LES UNITES MORPHOLOGIQUES

Les unités morphologiques rencontrées sur les affluents de la Bourbeuse sont :

### 3.1.1 Le lit mineur

Le lit mineur constitue le lit des crues fréquentes (période de retour biennales).

Sur les vallées des affluents de la Bourbeuse, le lit mineur des cours d'eau principaux est matérialisé par un chenal relativement encaissé, incluant le lit d'étiage. Il est généralement bordé d'une ripisylve bien développée. Son identification est réalisée sur l'orthophotographie de 2007.

Sur les affluents de la Bourbeuse, le lit mineur fait environ 5 m de largeur. A l'échelle de rendu des cartes (1/10 000), il est représenté par un trait bleu ciel.



*Figure 3 : Lit mineur de la Madeleine sur sa partie aval, octobre 2011*

Les affluents de la Bourbeuse ont été largement aménagés avec la création de nombreux biefs usiniers perchés pour l'alimentation de moulins. Ces biefs usiniers et les ouvrages associés (seuils, vannages) sont pour la plupart à l'abandon ou n'ont plus d'usage économique. Ces biefs ont été implantés en pied de coteau et marquent la limite de la plaine alluviale.

### 3.1.2 Le lit majeur

Le lit majeur constitue l'extension maximale de la plaine inondable pour des crues rares à exceptionnelles. Il s'apparente très souvent aux zones de développement des alluvions modernes.

La limite du lit majeur s'appuie sur les limites de l'encaissant lorsque celles-ci sont bien visibles sur l'analyse topographique, figurées par des traits continus roses sur l'atlas des zones inondables. Lorsque les talus sont peu nets, ils n'ont pas été représentés comme limite de l'encaissant, leur définition étant trop incertaine. La limite du lit majeur est tracée

sur la base de l'analyse topographique (cohérence des altimétries des limites rive gauche et rive droite) et des visites de terrain. Elle est alors représentée par un trait bleu (limite extérieure de la zone hachurée bleue).

La limite des zones inondables pour la crue de référence est théoriquement incluse dans cette délimitation hydrogéomorphologique du lit majeur. Elle peut localement s'en écarter, compte tenu de la différence de précision entre les cartes géologiques définissant l'emprise des alluvions (1/50 000) et la photogrammétrie.

### 3.1.3 Les zones critiques

Les zones critiques, pouvant s'apparenter à des lits majeurs exceptionnels, correspondent à des surfaces pouvant être inondées lors de dépassements de cotes critiques, suffisamment hautes pour être exclues du lit majeur. Elles prennent place sur des terrasses alluviales situées en continuité avec les alluvions modernes. L'exemple ci-dessous présente la définition d'une zone critique dans la vaste plaine de Leval sur la Saint-Nicolas. En général, ces zones ne sont pas ou peu inondées par la crue centennale (ou crue de 1990), mais une crue légèrement plus forte pourrait les inonder plus largement.

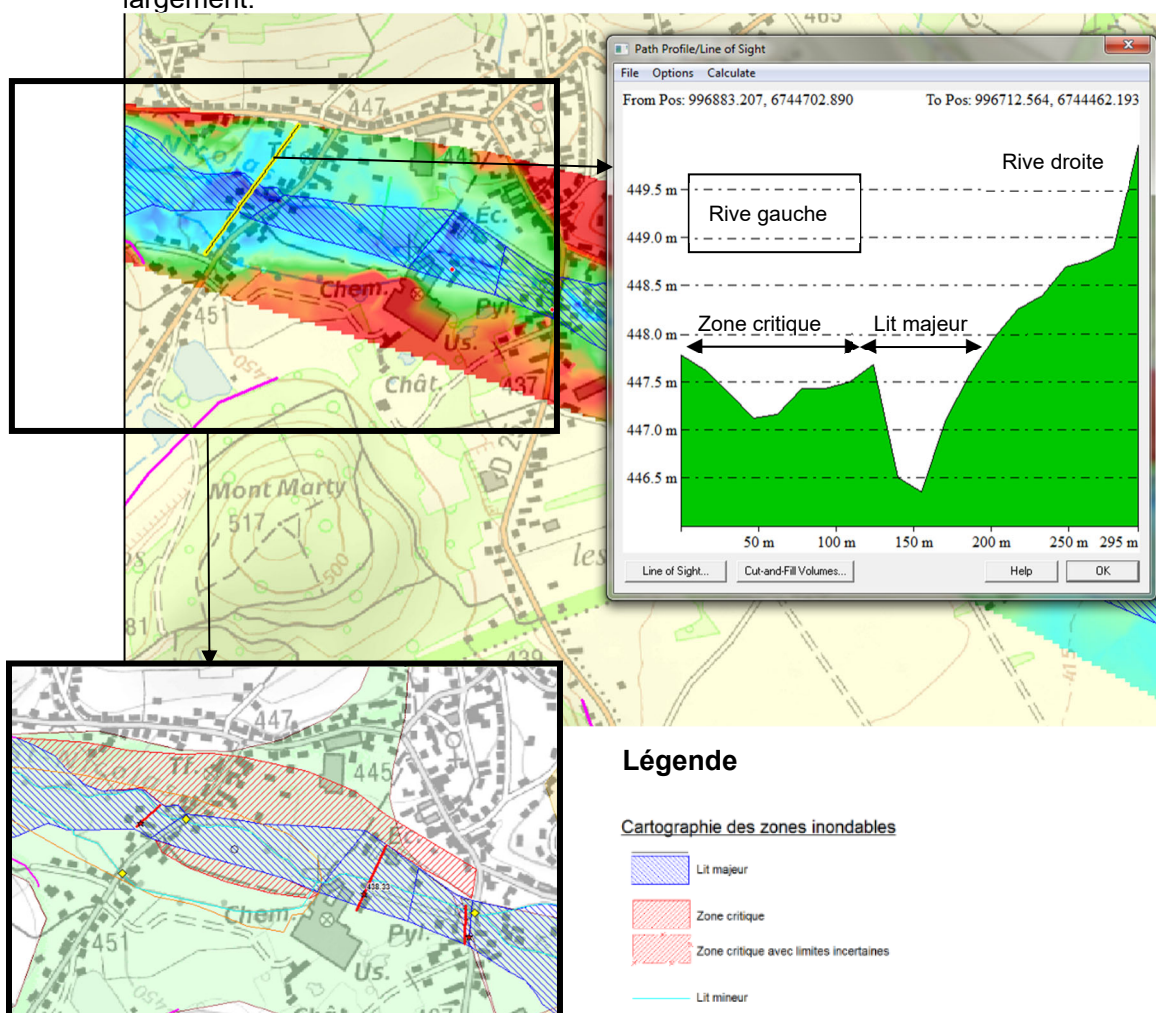


Figure 4 : Définition d'une zone critique

Situées sur le secteur A, ces zones critiques sont définies à partir de la définition du lit majeur hydrogéomorphologique, qui a pu être inondé lors de la crue de 1990, ou qui pourrait l'être par la crue centennale. Dans ce cas, elles dépassent la zone inondable reconstituée.

Ces zones critiques ne sont pas intégrées à la zone inondable de référence.

## 3.2 ANALYSE GEOLOGIQUE

L'analyse géologique permet de déterminer la nature de l'encaissant, le rôle des terrasses alluviales, le rôle des colluvions et les zones éventuelles de ruissellement latéral permettant de confirmer les limites du lit majeur.

Les cartes des zones inondables présentent par une trame verte les limites d'affleurement des alluvions modernes telles qu'elles sont définies sur les cartes géologiques au 1/50 000 du BRGM. Les terrasses alluviales sont également représentées par une trame marron.

Le réseau d'affluents rive droite de la Bourbeuse prend naissance sur les assises volcaniques et volcano-sédimentaires du Viséen (Carbonifère) du sud du massif des Vosges. Ces terrains ont été érodés par les cours d'eau et ont donné naissance à des vallées encaissées dont les limites morphologiques sont bien marquées.

En allant vers l'aval des cours d'eau, les terrains du Permien et du Jurassique sont franchis, exceptés sur la Saint-Nicolas. Ce sont des terrains à dominante gréseuse pour les premiers et calcaire ou marneuse pour les seconds, donnant des vallées encaissées.

Sur la partie médiane des affluents, le sous-sol est formé de marnes, schistes ou sables de l'Oligocène et à l'exception de la St Nicolas, recouverts des alluvions du Sundgau (Pliocène) puis par des lehms et des loëss.

Ces dépôts éoliens de 15 m d'épaisseur environ ont recouvert les terrains pliocènes et oligocènes (conglomérats côtiers, calcaires marneux ...). Notons que les épaisseurs de loëss et loehms sont plus importants sur les versants orientés au Nord-Est et à l'Est. Les poussières apportées par des vents du Sud-Ouest se sont déposées à l'abri des courants d'air. La présence de ces formations de couverture masque l'encaissant et les marques morphologiques de ce dernier. On remarque notamment cette asymétrie sur la Saint-Nicolas, par des limites de l'encaissant moins nombreuses en rive droite qu'en rive gauche.

Les vallées sont occupées par des alluvions modernes et des colluvions de bas de pente.

La carte présentée ci-après permet de localiser les différentes formations citées précédemment. Elle est extraite de la carte géologique de la France au 1/1 000 000 et vectorisée.



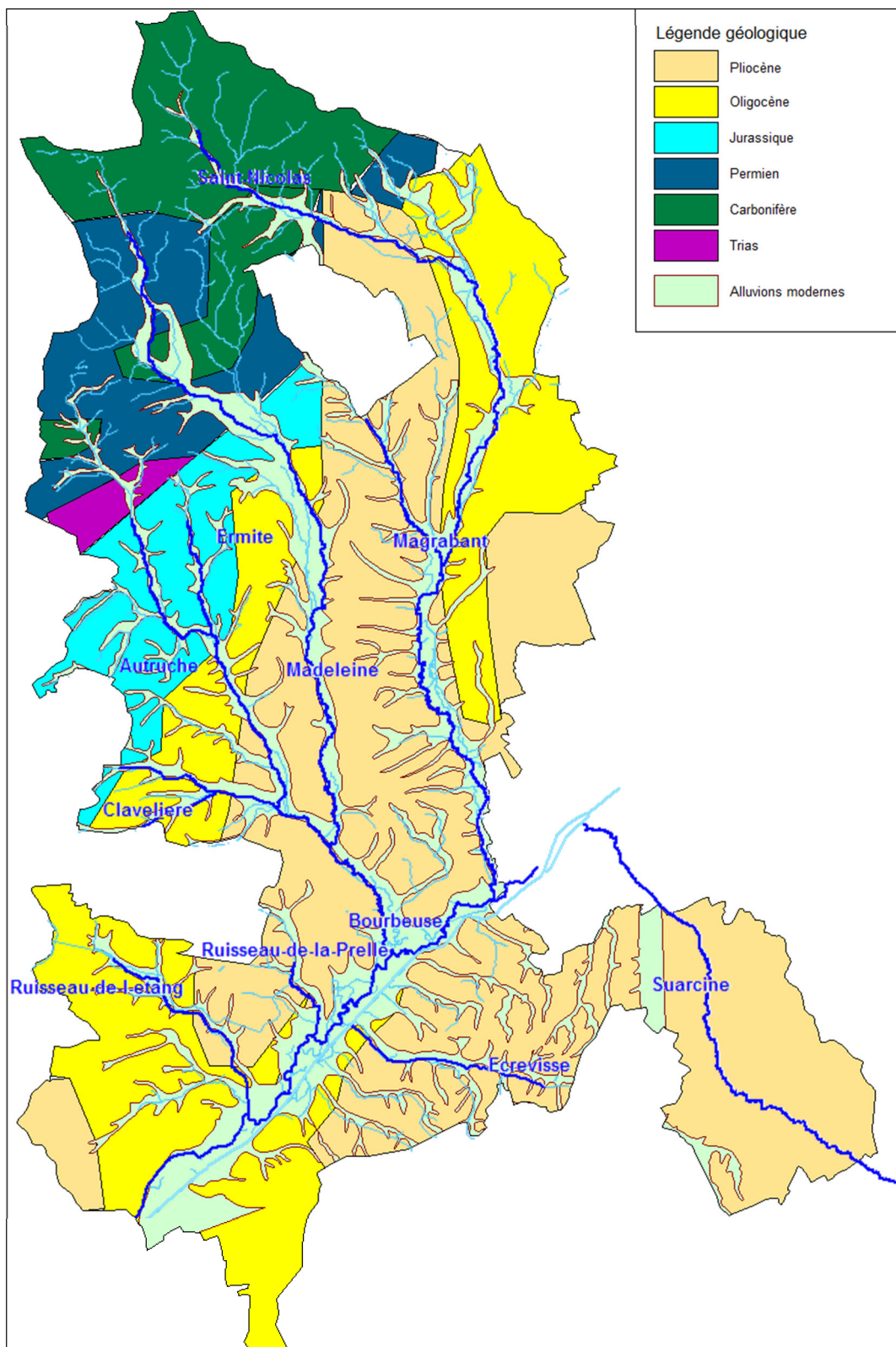


Figure 5 : Extrait de la carte géologique au 1/1 000 000 vectorisée

### 3.3 ANALYSE MORPHOLOGIQUE

La méthode classique d'analyse morphologique utilise une approche stéréoscopique des photographies aériennes. Elle est mise en œuvre sur le **secteur D** pour identifier les marqueurs morphologiques que sont les talus, les encaissants et les différentes ruptures de pentes.

Sur les **secteurs A et C**, nous disposons de levés topographiques des vallées issues d'une campagne photogrammétrique. Sur ces deux secteurs, ces levés sont utilisés afin d'analyser les structures topographiques de façon plus fine que le permet l'analyse stéréoscopique classique.

La photogrammétrie disponible est établie à l'échelle 1/2 000. Un premier travail a consisté en une critique de la photogrammétrie et un nettoyage de celle-ci, notamment dans les secteurs forestiers où des erreurs ont été mises en évidence.

Cette photogrammétrie est ensuite exploitée en plusieurs temps :

#### 3.3.1 Analyse des points levés et des courbes de niveau du levé photogrammétrique (équidistance de 2 m entre les courbes) : mise en évidence du relief général

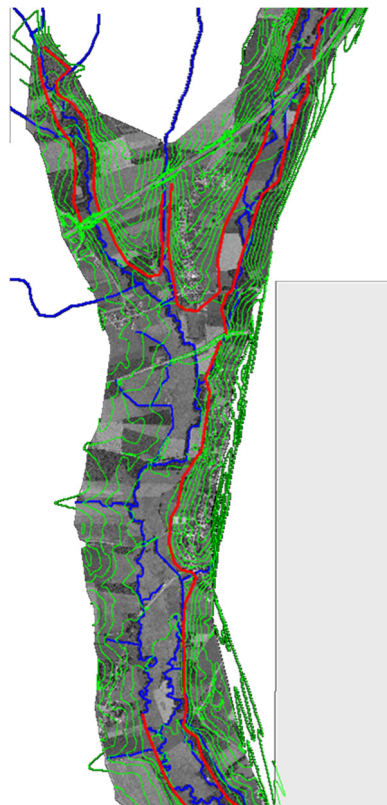


Figure 6 : exemple d'analyse sur les courbes de niveau



### 3.3.2 Établissement d'une carte corrigée des pentes

Un modèle numérique de terrain (MNT) est constitué à partir des levés photogrammétriques. Ce MNT est ramené à un plan 0 sur l'axe de chaque thalweg, permettant d'analyser finement la topographie locale à l'aide d'une analyse thématique sous SIG unique pour l'ensemble du territoire étudié (analyse thématique concentrée sur une gamme altimétrique limitée autour du plan 0 constitué par le fond de vallée).

Un extrait de la carte résultante est présenté ci-après. Les variations rapides de couleur mettent en évidence les variations topographiques brusques, donc la présence d'un encaissant marquant le lit majeur du cours d'eau.

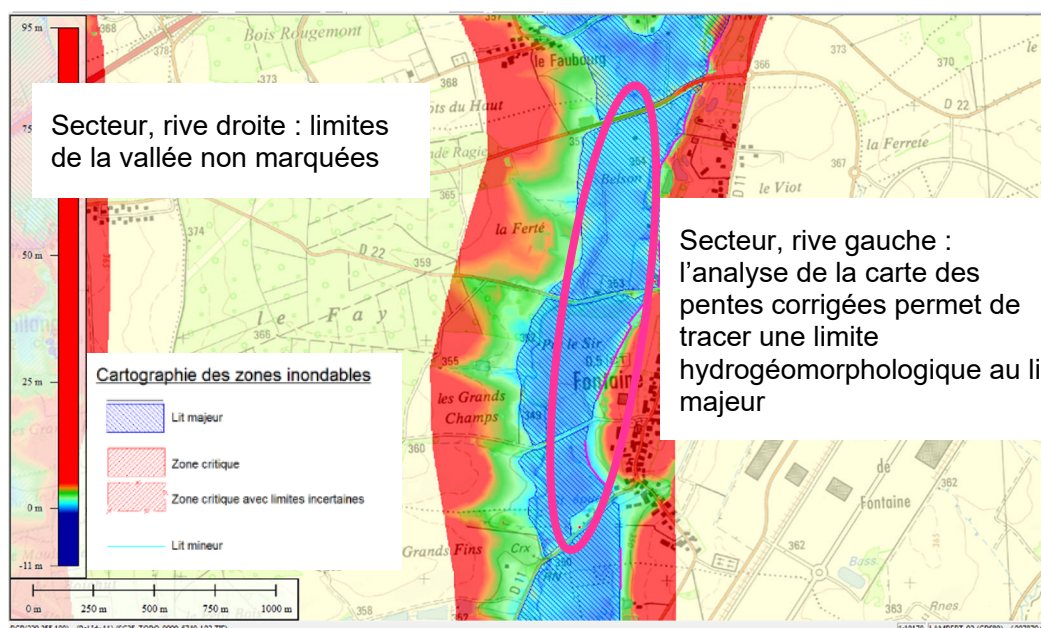


Figure 7 : exemple d'analyse sur les pentes

### 3.3.3 Établissement de profils en travers de la vallée

Des profils en travers de vallée sont réalisés sur les points clés du territoire afin de :

- confirmer le tracé des unités morphologiques à partir de l'analyse de la carte des pentes
- identifier les zones critiques
- affiner le tracé des unités morphologiques

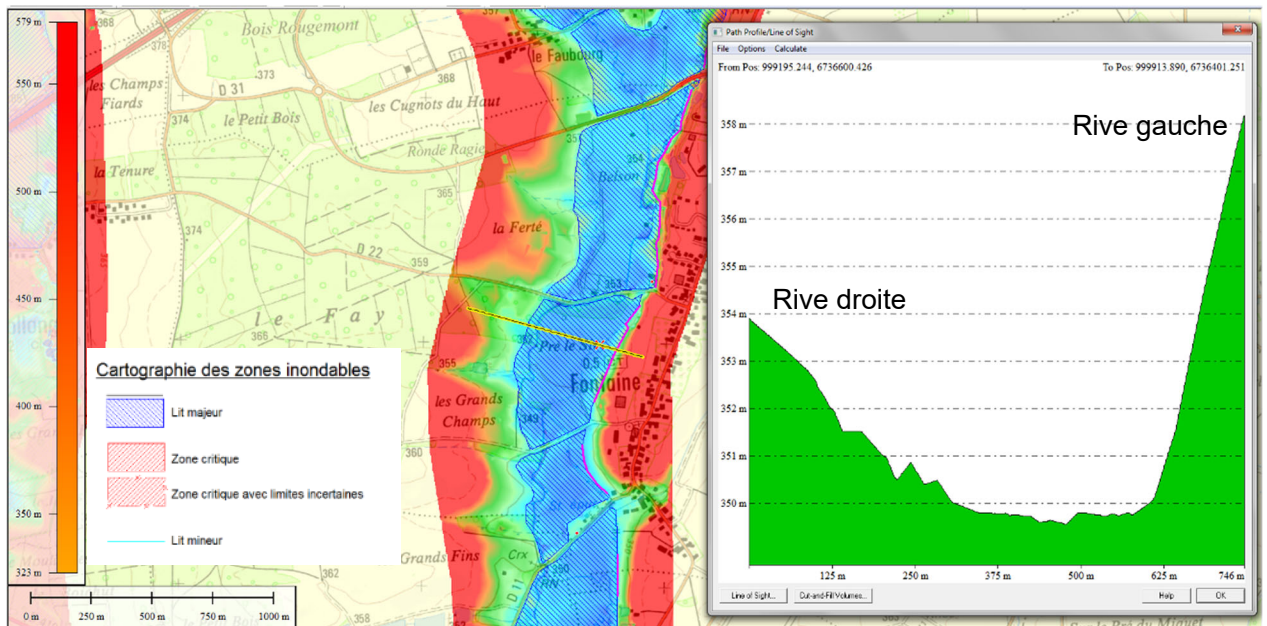


Figure 8 : Profil en travers de la vallée permettant de confirmer la limite en rive gauche et de positionner une limite en rive droite, moins marquée que la précédente

Cette analyse de la topographie permet notamment de confirmer les limites de l'encaissant dans la vallée, identifiées au préalable par analyse de la carte topographique projetée sur le plan 0 des fonds de vallée, et figurée en rose sur les cartes de zones inondables.

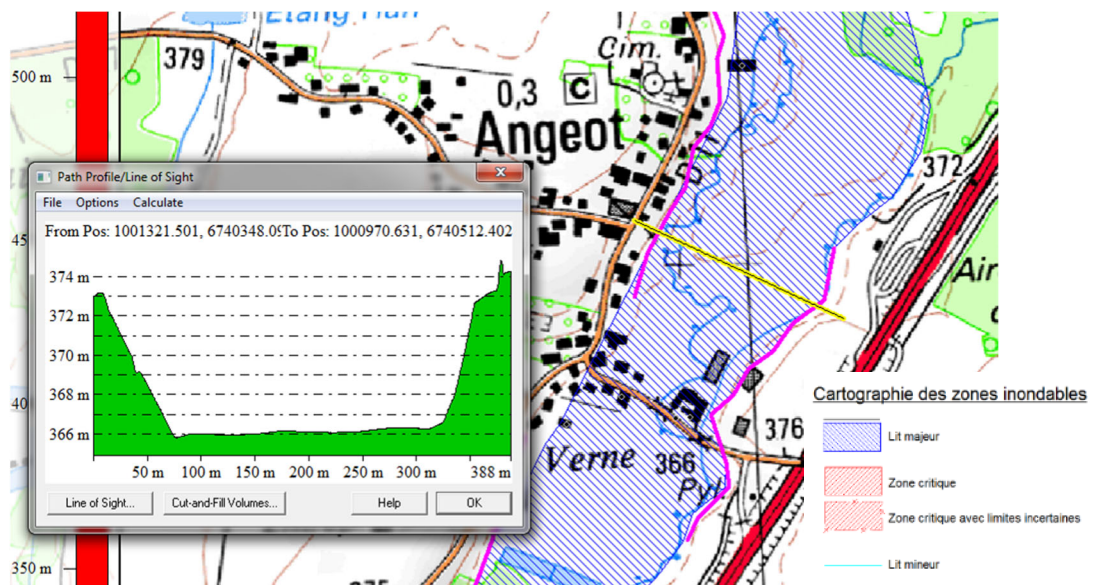


Figure 9 : Exemple de profil en travers de la vallée montrant un rôle morphologique de l'encaissant sur la définition de la zone inondable : rivière la Saint-Nicolas à Angéot

Certains secteurs de la vallée ne montrent pas de limites morphologiques par cette approche topographique, soit du fait de la mauvaise qualité de la photogrammétrie

(notamment en secteurs végétalisés) ou des limites de son emprise, soit du fait d'un relief moins marqué.

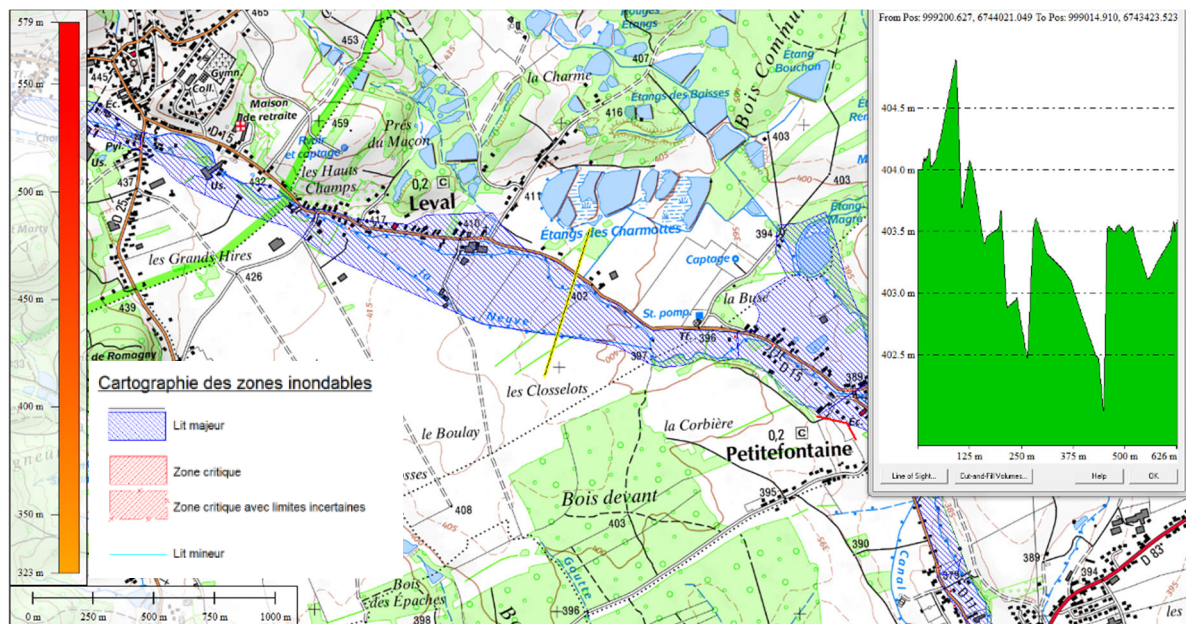


Figure 10 : Exemple de profil en travers sur lequel l'approche hydrogéomorphologique ne permet pas de définir un lit majeur

Ces secteurs sont traités par une approche soit géologique, soit historique. Ce sera le cas :

- sur la Saint-Nicolas au niveau de la commune de Leval,
- sur la Madeleine au niveau d'Etueffont et dans la zone boisée à l'aval de Lacollonge
- sur le ruisseau de la Prelle
- sur le ruisseau de l'Étang

## 4 ANALYSE HYDROLOGIQUE

### 4.1 INTRODUCTION

Ce paragraphe a pour objet d'estimer les débits de référence retenus pour l'élaboration des cartes d'aléa sur les différents cours d'eau considérés. La circulaire du 24 janvier 1994 précise que l'événement de référence à retenir est « *la plus forte crue connue et, dans le cas où celle-ci serait plus faible qu'une crue de référence centennale, cette dernière* ».

Pour les affluents provenant des Vosges, la crue principale ayant marqué la mémoire collective est celle de 1990, dont la période de retour estimée est centennale, voir supra-centennale sur certains secteurs. Sur le reste du bassin versant, cette crue est de période de retour nettement inférieure à 100 ans ; des débits centennaux doivent être reconstitués.

L'analyse hydrologique s'appuie sur les données hydrométriques disponibles et sur les conclusions de *l'étude hydrologique et hydraulique du bassin versant de la Savoureuse et étude des aléas pour la révision du PPRI, Volet B – Analyse hydrologique*, Pöyri, Cemagref, DHI (2012).

Cette étude définit notamment les débits centennaux sur la Bourbeuse aval (Froidefontaine) et sur l'Allan et l'Allaine respectivement en amont et en aval de la confluence avec la Bourbeuse :

Cours d'eau	Localisation	Débit pour la crue décennale	Débit pour la crue centennale
Bourbeuse	Froidefontaine	153 m <sup>3</sup> /s	220 m <sup>3</sup> /s
Allaine	Joncherey	86 m <sup>3</sup> /s	120 m <sup>3</sup> /s
Allan	Fesches-le-Châtel	217 m <sup>3</sup> /s	350 m <sup>3</sup> /s

Tableau 1 : Débits de référence centennaux définis par l'étude sur la Savoureuse

Les débits caractéristiques issus de cette analyse sont exploités dans le cadre de cette mission pour :

- Établir les calculs hydrauliques simplifiés sur le secteur A (lignes d'eau de la crue de 1990 et de la crue centennale),
- Définir les débits injectés dans le modèle hydraulique du secteur B (cf. 5.3).



## 4.2 PRESENTATION DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Un plan du réseau hydrographique et des sous bassins versants du secteur d'étude est donné ci-après.

La superficie totale du bassin versant de la Bourbeuse au niveau de sa confluence avec l'Allaine, pour former l'Allan, est de 326 km<sup>2</sup>. Située dans la partie orientale du territoire de Belfort, la Bourbeuse est constituée de la confluence des rivières de la Saint-Nicolas et de la Madeleine. Son bassin versant s'étend du sommet du Baerenkopf, culminant à 1075 m, jusqu'à la confluence avec l'Allaine, située à 328 m d'altitude.

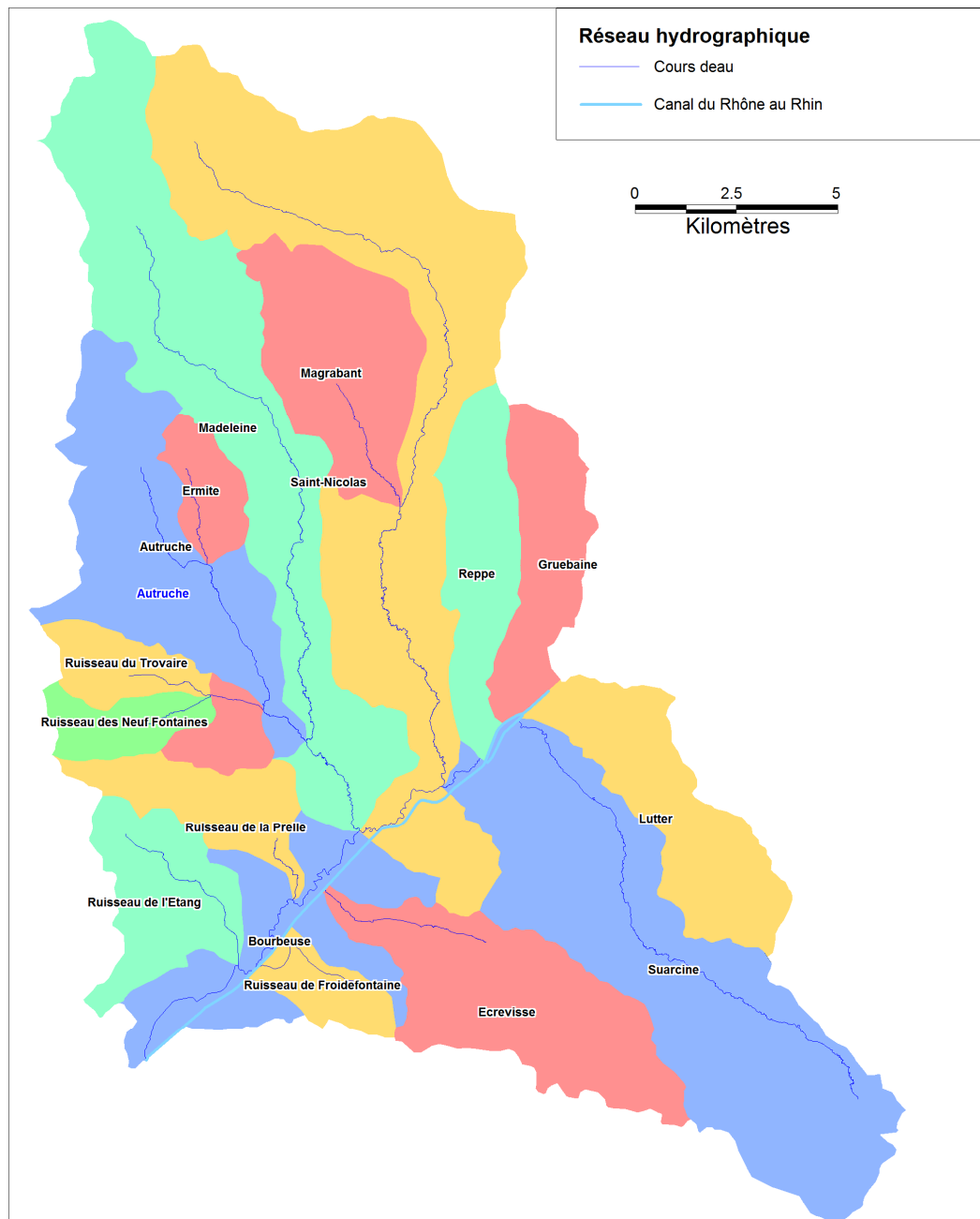


Figure 11 : Principaux sous bassins versants de la Bourbeuse

La rivière de la Bourbeuse constitue un axe de drainage orienté NE-SO, présentant une pente peu marquée de 0.12%. Cette ligne constitue la limite entre les affluents provenant de la partie nord du bassin versant et les affluents provenant de la partie sud.

Les affluents provenant de la partie nord constituent environ les deux tiers de la superficie du bassin versant. Orientés N-S, ils descendent du flanc sud des Vosges, et présentent globalement une pente marquée. Les principaux cours d'eau sont la Saint-Nicolas, la Madeleine et l'Autruche, et les affluents secondaires sont le Magrabant, l'Ermite, la Clavelière, la Prella, le ruisseau de la Praie ou de l'Étang ; ainsi que les ruisseaux de la Reppe et de la Gruebaine, situés en Alsace.

Les affluents provenant de la partie sud présentent quant à eux une pente plus faible. Les principaux cours d'eau sont la Suarcine et l'Écrevisse. La Lutter, située en Alsace, est aussi un affluent de la Bourbeuse.

Le canal du Rhône au Rhin, situé en parallèle de la Bourbeuse, constitue une séparation physique entre le lit majeur de la Bourbeuse et les affluents provenant de la partie sud du bassin versant. Plusieurs ouvrages ponctuels permettent à l'eau de transiter, soit sous le canal, soit via le canal.

### 4.3 CONTEXTE CLIMATIQUE

Le territoire de Belfort est soumis à un climat semi-continentale influencé par le couloir entre Vosges et Jura que constitue la trouée de Belfort, présentant une forte hétérogénéité. Le bassin versant de la Bourbeuse peut être décomposé en trois secteurs soumis à des régimes pluviométrique distincts :

- Le massif des Vosges, orienté sud-ouest / nord est sur lequel les affluents amont rive droite de la Bourbeuse (Saint-Nicolas, Madeleine) prennent leur source. Il présente une altitude comprise entre 900 et 1100 m, leurs sommets étant soumis aux précipitations intenses liées aux perturbations océaniques, avec une période nivale s'étendant de novembre à avril. Les précipitations moyennes annuelles atteignent 2000mm sur les sommets puis décroissent rapidement avec l'altitude.
- Le piedmont du massif des Vosges, abrité des perturbations océaniques par les sommets occidentaux créant un effet de Foehn ; les cumuls moyens annuels n'atteignent plus que 1000mm dans la basse vallée de la Bourbeuse. Les affluents rive droite aval de la Bourbeuse tels que l'Autruche naissent sur ce piedmont.
- Le Sundgau, constitue une transition entre la plaine d'Alsace et le Jura Suisse, avec un relief de collines culminant à 500 m. Les affluents rive gauche de la Bourbeuse (Lutter, Suarcine, Écrevisse) prennent leur source sur ce territoire, soumis à un climat relativement complexe sous influence continentale en hiver et sous influence océanique plus marquée en été.

La carte ci-après illustre ces disparités de relief et de précipitations sur les bassins versants de la Bourbeuse et de ses affluents, ainsi que sur les cours d'eau voisins du Territoire de Belfort (Savoireuse) ou Alsaciens (Largue notamment).

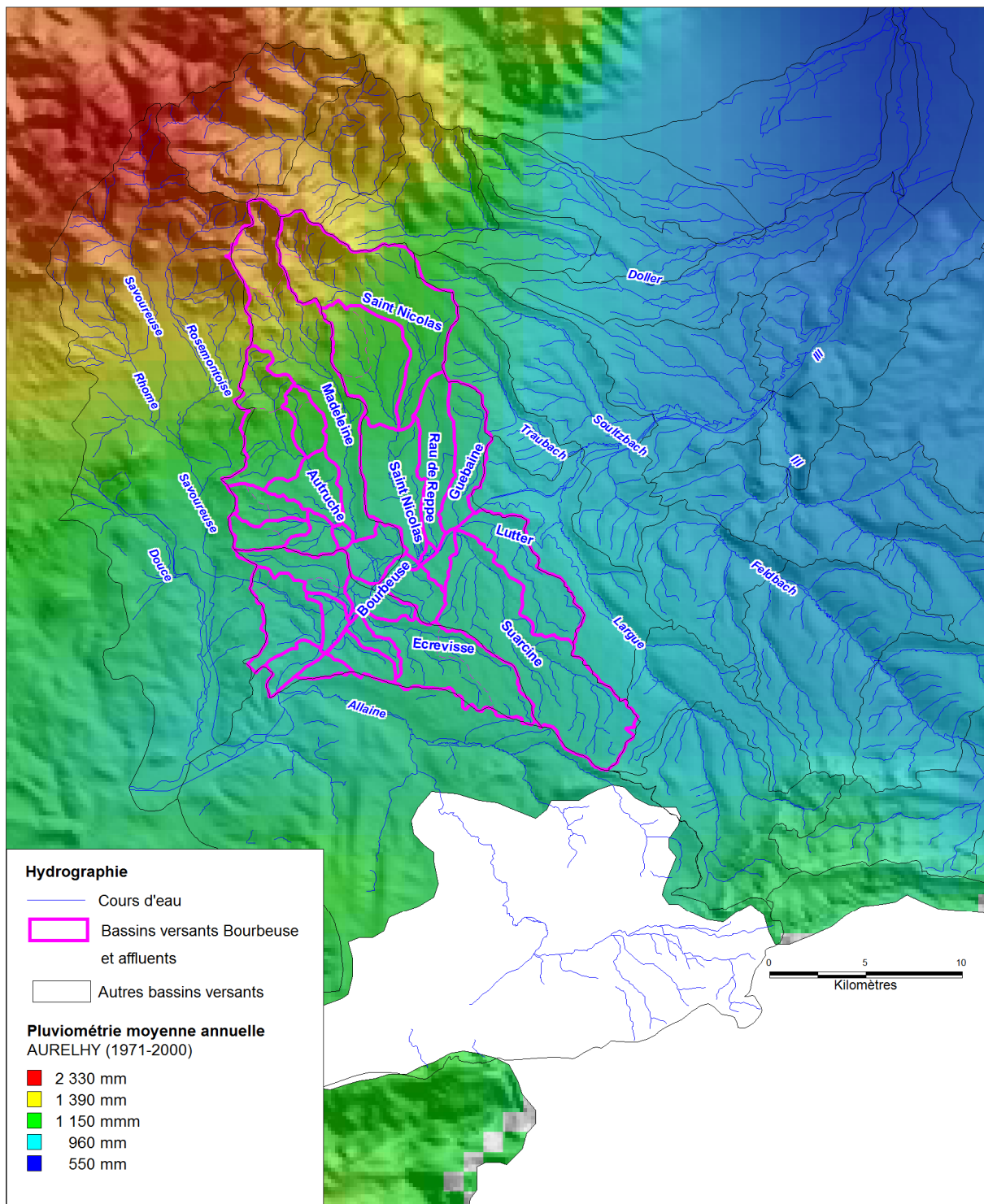


Figure 12 : Réseau hydrographique et pluviométrie moyenne sur le bassin de la Bourbeuse

## 4.4 DONNEES HYDROMETRIQUES DISPONIBLES

Le tableau ci-après rappelle les stations hydrométriques, actuellement ouvertes ou fermées, permettant de préciser la connaissance des débits de la Bourbeuse et de ses affluents. Les données sont disponibles sur la Banque HYDRO.

ID	Nom	Surface du bassin versant ( km <sup>2</sup> )	Date d'ouverture	Date de fermeture
U2305210	LE SAINT-NICOLAS à ROUGEMONT-LE-CHATEAU	9	26/07/1974	
U2305220	LE SAINT-NICOLAS à FONTAINE [LES GRANDS CHAMPS]	59	01/01/1975	31/12/1997
U2305230	LE SAINT-NICOLAS à MONTREUX-CHATEAU [LA PETITE FIN]	164	01/01/1992	31/12/1997
U2305240	LE SAINT-NICOLAS à FOUSSEMAGNE		14/05/2008	
U2315010	LA MADELEINE à ÉTUEFFONT	10	01/10/1974	01/01/1981
U2315210	L'AUTRUCHE à FONTENELLE [PUITS]	44	03/11/1967	10/09/1971
U2315220	L'AUTRUCHE à FONTENELLE [2]	44	10/09/1971	20/05/1980
U2315230	L'AUTRUCHE à ROPPE	7.6	03/04/1975	24/01/1990
U2324210	LA BOURBEUSE à FROIDEFONTAINE	316	01/01/1996	
A1122020	LA LARGUE à FRIESEN	91	01/01/1969	

Tableau 2 : Données hydrométriques disponibles sur la banque HYDRO

Nous disposons ainsi de 4 stations exploitables :

- Une située en dehors du bassin versant, dans le département du Haut Rhin, La **Largue**, affluent de l'Ill en Alsace ; elle permet par analogie de préciser le fonctionnement hydrologique des affluents rive gauche de la Bourbeuse, s'écoulant dans le Sundgau.
- 3 situées sur le territoire d'étude, exploitables compte tenu du nombre de données disponibles :
  - La Saint-Nicolas à Rougemont-le- Château,
  - L'Autruche à Roppe,
  - L'Autruche à Fontenelle.

Ces stations sont représentatives de bassins versants hétérogènes, et permettent de caractériser les débits des différents affluents rive droite de la Bourbeuse :

- La Saint-Nicolas à Rougemont-le- Château concerne un bassin versant de 9 km<sup>2</sup>, dont les altitudes sont comprises entre 1010m et 485 m.
- L'Autruche à Roppe représente un bassin versant de 7.6 km<sup>2</sup>, pour des altitudes comprises entre 440 et 360 m.
- L'Autruche à Fontenelle a un bassin versant de 44 km<sup>2</sup> compris entre les altitudes 440 et 340 m.



## 4.5 ANALYSE FREQUENTIELLE DES DEBITS DE CRUE

Un ajustement statistique est réalisé sur les débits maxima annuels enregistrés sur ces stations. Nous retenons un ajustement de Gumbel, complété par la méthode d'extrapolation du GRADEX, sur la base des hypothèses retenues dans le cadre de l'étude hydrologique sur la Savoureuse<sup>1</sup>.

### 4.5.1 Méthodologie

L'objectif de l'analyse fréquentielle d'une longue série de valeurs historiques est d'estimer le temps de retour d'une valeur extrême. Cette analyse repose sur la mise en œuvre d'un modèle fréquentiel qui est une équation représentative du comportement statistique d'un cours d'eau à une station hydrométrique donnée. Ce modèle permet de décrire la probabilité d'apparition d'un événement de valeur donnée.

Le modèle fréquentiel généralement employé en France et retenu dans le cadre de cette étude pour l'analyse des séries annuelles est la distribution statistique de Gumbel.

Cette méthode a été appliquée au niveau de chaque station hydrométrique considérée sur les échantillons des QJX, c'est-à-dire les débits journaliers maximaux annuels, ainsi que sur les Qix, c'est-à-dire sur les débits instantanés maximaux annuels, pour définir les débits caractéristiques des crues fréquentes à moyenne (d'occurrence inférieure à la décennale).

Les données disponibles aux stations hydrométriques ne sont pas suffisantes pour déterminer des débits de crue de fréquence rare, comme la crue centennale. La méthode communément utilisée en France pour l'évaluation des débits de période de retour supérieure à 10 ans, depuis les travaux de Guillot et Duband, EDF-DTG en 1967 est la méthode du GRADEX.

Le principe de cette méthode est fondé sur l'analyse statistique de la pluviométrie. Elle stipule qu'au-delà d'une certaine valeur de précipitation, la valeur moyenne de la capacité de rétention du bassin versant tend à devenir constante pour les très fortes averses, et que la totalité de la pluie supplémentaire ruisselle sur le bassin versant.

La fonction de répartition des volumes écoulés sur la durée caractéristique des crues au droit de la station considérée a donc le même comportement asymptotique que celui de la fonction de répartition des précipitations maximales annuelles considérées sur une durée identique. Cette méthode nécessite ainsi la détermination de deux paramètres détaillés dans les chapitres suivants :

- les durées caractéristiques des crues,
- le GRADEX des pluies par sous bassin versant.

---

<sup>1</sup> Etude hydrologique et hydraulique du bassin versant de la Savoureuse, et étude des aléas pour la révision du PPRI – Groupement DHI PÖYRY

Les ajustements statistiques et extrapolations établies par la méthode du GRADEX sont présentés en annexes 1 à 3.

#### 4.5.2 Durées caractéristiques des crues

Les stations pluviométriques représentatives des précipitations en amont des stations hydrométriques concernées mesurent les pluies au pas de temps journalier. Il n'est donc pas possible de travailler à des pas de temps plus fins.

La méthode du GRADEX est donc appliquée pour les 4 stations étudiées sur les pluies 24 heures et les débits moyens journaliers.

#### 4.5.3 Analyse pluviométrique, détermination des GRADEX

La méthode mise en œuvre par DHI dans le cadre de l'étude hydrologique de la Savoureuse est reprise. Elle repose sur la reconstitution de pluies de bassins en amont de chacune des stations hydrométriques étudiées à partir d'une analyse régionale de la répartition des pluies, puis sur une analyse statistique de la pluviométrie maximale annuelle obtenue. Cette analyse aboutit à la détermination de GRADEX de pluie à chaque station pour plusieurs durées de pluie.

##### a) Détermination des GRADEX de pluies aux stations

Un ajustement de Gumbel a été effectué par DHI sur les séries des pluies maximales annuelles de durée 1, 2, 3, 4, ..... 10 jours à chaque poste pluviométrique considéré.

##### b) Détermination des GRADEX de pluies de bassins

Nous déterminons les GRADEX de bassins versants à l'amont de chacune des stations hydrométriques étudiées par combinaison linéaire des séries ponctuelles définies au droit des postes pluviométriques, en conservant la méthode employée dans l'étude hydrologique de la Savoureuse.

Les aires d'influence des postes pluviométriques ont été définies par tranche d'altitude.

Secteur Nord Ouest				Secteur Sud Est			
Code	Station	Altitude (m)	Limite des zones d'influence	Code	Station	Altitude (m)	Limite des zones d'influence
90065003	Lepuix – Ballon	1153	700	68190001	Lucelle – Petit Kohlberg	678	500
90052002 et 90052001	Giromagny	472		25388002	Montbéliard – Pied-d'Egouttes	318	
90010001	Belfort – Hautes Perches	422	422				
25388002	Montbéliard – Pied-d'Egouttes	318	350				

Tableau 3 : Découpage en zone d'altitude avec poste pluviométrique associé

On donne ci-après les pourcentages de pondération appliqués pour chaque station étudiée.

Stations hydrométriques ou site d'intérêt hydrologique	Postes pluviométriques concernés	Surface concernée (%)
Saint-Nicolas à Rougemont-le- Château	Lepuix	47
	Giromagny	53
Autruche à Roppe	Giromagny	35
	Belfort	65
Autruche à Fontenelle	Giromagny	6
	Belfort	57
	Montbéliard	37
La Largue à Friesen	Lucelle – Petit Kohlberg	22
	Montbéliard	78

Tableau 4 : système de pondération de surface pour le calcul des pluies de bassins

Les GRADEX de bassins versants sont calculés à partir d'ajustement de Gumbel, présentés en annexe 3, pour les différentes pluies de bassin. Ils sont synthétisés ci-dessous.

Pour chaque station hydrométrique, la pluviométrie de bassin associée à une période de retour donnée est construite par moyenne pondérée des pluies caractéristiques des différents postes pluviométriques identifiés ci-dessus (pondération sur la surface d'influence) ; le GRADEX correspond à la pente de ces valeurs sur un graphique de Gumbel.

Stations hydrométriques ou site d'intérêt hydrologique	Surface drainée (km <sup>2</sup> )	GRADEX 1 j
Saint-Nicolas à Rougemont-le- Château	9	20
Autruche à Roppe	7.6	13.6
Autruche à Fontenelle	44	6.2
La Largue à Friesen	91	11.2

Tableau 5 : GRADEX de bassins obtenus aux stations hydrométriques ou sites d'intérêts hydrologiques (mm/j)

#### 4.5.4 Synthèse des résultats

Le tableau ci-après synthétise les débits caractéristiques établis au droit des 4 stations hydrométriques étudiées. Le détail des ajustements est présenté en annexes 1 à 3.

Station	Cours d'eau	Surface BV (km <sup>2</sup> )	Q10 (m <sup>3</sup> /s)	Q100 (m <sup>3</sup> /s)
Rougemont-le- Château	Saint-Nicolas	9	11.4	18.8
Roppe	Autruche	7.6	3.3	5.7
Fontenelle	Autruche	44	18.8	29.4
Friesen	Largue	91	43.1	86.7

Tableau 6 : Synthèse des débits caractéristiques au droit des stations hydrométriques

Le débit de la crue de février 1990 sur la Saint-Nicolas à Rougemont-le- Château est estimé à 21.5 m<sup>3</sup>/s, confirmant une période de retour supérieure à 100 ans.

## 4.6 ANALYSE REGIONALE DES DEBITS DE CRUES

L'analyse fréquentielle permet d'estimer les débits de crues fortes et rares et en particulier les débits de période de retour 10 ans et 100 ans au droit des stations hydrométriques. Il s'agit ici d'extrapoler ces valeurs à l'ensemble des cours d'eau étudiés.

Les études antérieures ont permis d'établir des formulations régionales reliant les débits de pointe à la surface de bassin versant et la pluviométrie journalière décennale. Les relations introduisant la pluviométrie permettent d'affiner les estimations, mais celles n'exploitant que les surfaces de bassins versants s'avèrent globalement très satisfaisantes.

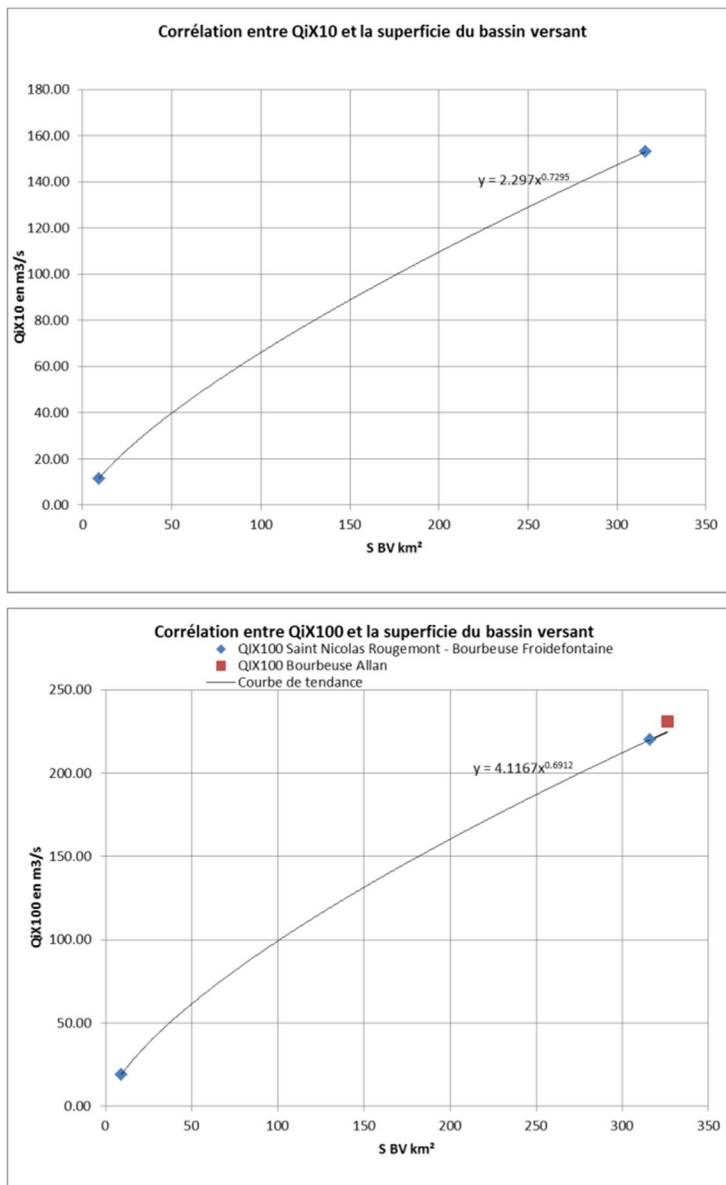
Nous chercherons donc ici à définir des lois reliant les débits de pointe décennaux et centennaux aux surfaces de bassins versants drainés. Compte tenu du contexte hydrologique général fortement contrasté rappelé en introduction, il est pertinent de considérer 3 types de cours d'eau distincts :

- Les cours d'eau en provenance des sommets des Vosges, Madeleine et Saint-Nicolas en rive droite de la Bourbeuse
- Les cours d'eau présentant des bassins versants moins élevés développés sur le piedmont des Vosges, l'Autruche, le ruisseau de l'Étang et la Clavelière en rive droite de la Bourbeuse
- Les affluents de la rive gauche, Suarcine et ruisseau de l'Écrevisse entre autres.

### 4.6.1 Saint-Nicolas, Madeleine et Bourbeuse amont

Nous cherchons à corréler les débits calculés sur la Saint-Nicolas à Rougemont-le- Château et les débits calculés sur la Bourbeuse à Froidefontaine. Cette approche a pour

intérêt d'intégrer la variation d'altitude et donc de la répartition de la pluie sur le bassin versant.



Avec  $x$  : surface de bassin versant en km<sup>2</sup>

$y$  : respectivement débits décennal (QIX10) et centennal (QIX100) en m<sup>3</sup>/s

Figure 13 : Corrélation entre les débits instantanés et les superficies de bassin versant sur la Saint-Nicolas et la Bourbeuse

Nous obtenons alors 2 lois, intégratrices de la diversité de l'ensemble du bassin versant :

$$\mathbf{QIX10 = 2.297S^{0.7295}}$$

$$\mathbf{QIX100 = 4.1167S^{0.6912}}$$

Notons que le débit centennal de la Bourbeuse estimé à sa confluence avec l'Allan est proche de la valeur obtenue par la formulation régionale proposée.

#### 4.6.2 Autruche et autres affluents aval rive droite de la Bourbeuse

La corrélation entre les débits décennaux et la surface s'établit sur les valeurs disponibles au droit des deux stations hydrométriques de Roppe et de Fontenelle :

$$QIX10 = 0.43*S$$

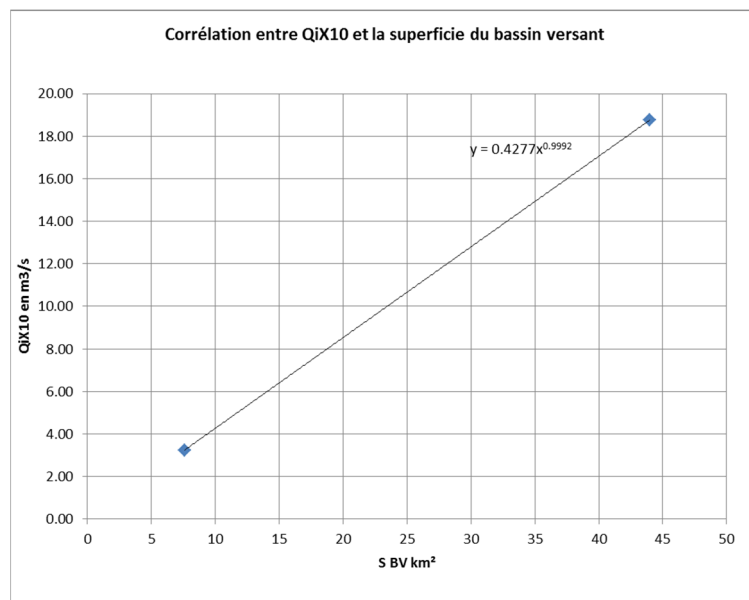


Figure 14 : Corrélation entre les débits instantanés et les superficies de bassin versant sur l'Autruche

Le rapport  $QIX100/QIX10$  est respectivement de 1.76 et 1.57 sur les deux stations (valeurs proches de celles calculées sur les différentes stations étudiées dans le cadre de l'étude hydrologique de la Savoureuse).

Nous retenons alors la loi :  $QIX100 = 1.67*(0.43S)$ , permettant de définir les débits centennaux en tout point du bassin versant de l'Autruche et affluents de rive droite prenant naissance sur des bassins versant de moyenne altitude.

#### 4.6.3 Affluents rive gauche de la Bourbeuse

Pour les affluents de la rive gauche de la Bourbeuse, sur lesquels aucune donnée hydrométrique n'est disponible, les débits décennaux peuvent être estimés avec la formulation obtenue pour l'Autruche. Le débit décennal estimé sur la Largue à Friesen est en effet proche de la valeur obtenue par la formulation régionale proposée.

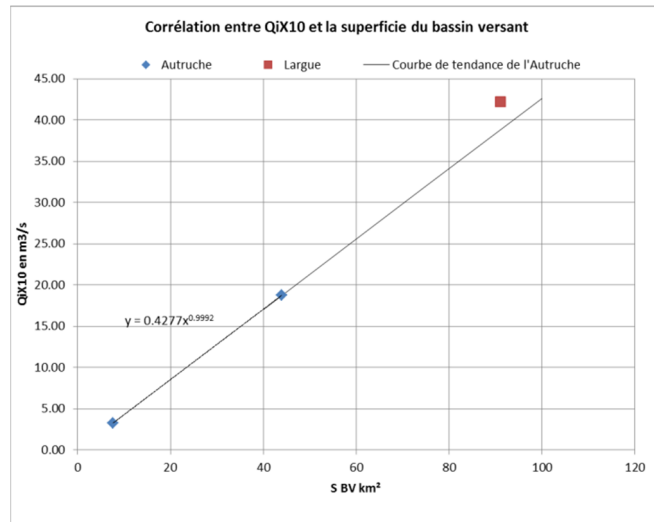


Figure 15 : Corrélation entre Qix10 et la superficie du bassin versant de l'Autruche et de la Largue

Le rapport QIX100/QIX10 est cependant nettement plus fort sur la Largue que sur l'Autruche, avec des valeurs respectives de 2.06 et 1.67.

La loi de corrélation établie pour le débit centennal de l'Autruche ne s'applique donc pas au débit centennal de la Largue.

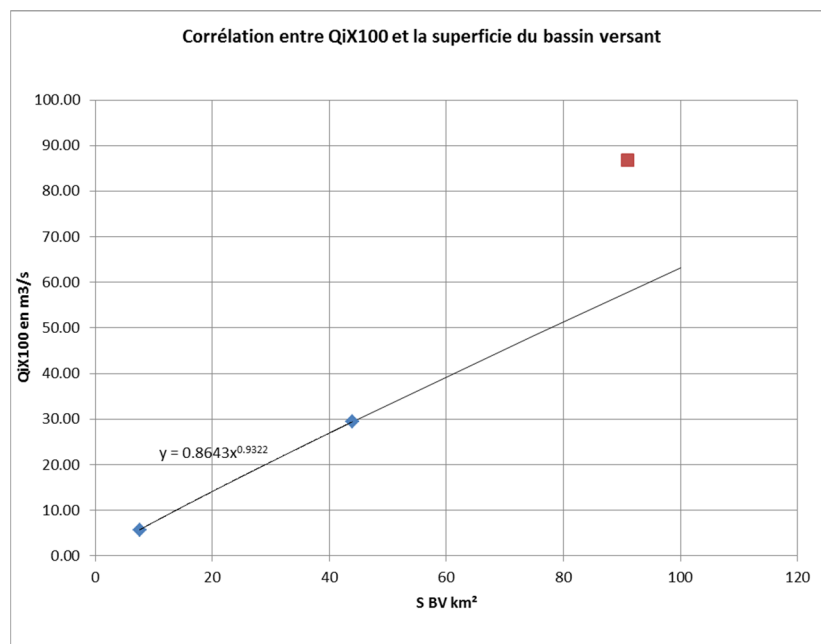


Figure 16 : Corrélation entre QIX100 et la superficie du bassin versant pour l'Autruche et la Largue

Il est donc proposé d'estimer les débits centennaux des affluents rive gauche de la Bourbeuse par la formulation régionale suivante :

$$QIX100 = 2.06 \cdot (0.43S)$$



#### 4.6.4 Comparaison avec les différentes formules disponibles dans la bibliographie

CALCULS HAUTEUR D'EAU		QIXA10 = 3.51*S <sup>0.64</sup>	QIXA10=2.1236S <sup>0.813</sup>	ST Nic - Madeleine : QIXA10=2.297S <sup>0.7295</sup> Autres QIXA10=0.43*S
Cours d'eau	S_BV km <sup>2</sup>	QIXA10-formule DHI m <sup>3</sup> /s	QIXA10-formule safege m <sup>3</sup> /s	QIXA10-formule hydratec1 m <sup>3</sup> /s
Saint-Nicolas	74.1	55.2	70.3	53.1
Madeleine sans Autruche	42.4	38.6	44.7	35.4
Autruche	44.6	39.9	46.6	19.2
Suarcine	86.2	60.8	79.5	37.1
Ruisseau de la Prelle	8.8	14.1	12.4	3.8
Ecrevisse	25.6	27.9	29.6	11.0
Grand déversoir	7.9	13.2	11.5	3.4
Ruisseau de Froidefontaine	7.5	12.8	10.9	3.2
Ruisseau de l'Etang	11.9	17.1	15.9	5.1

Tableau 7 : Comparaison des lois QIX10=f(S) disponibles dans la bibliographie

La formulation d'HYDRATEC utilisée sur la Saint-Nicolas et la Madeleine donne des résultats proches de la loi générale proposée par DHI dans l'étude hydrologique de la Savoureuse.

Sur les autres affluents, la loi appliquée donne des résultats nettement inférieurs. Il semble que les fonctions intégratrices proposées sur l'ensemble du bassin versant de la Savoureuse surévaluent les débits transités sur les affluents dont les bassins versants sont moins élevés et soumis à une pluviométrie moyenne moins soutenue.

Ces écarts sont dus à l'échelle d'analyse, beaucoup plus large pour l'étude de la Savoureuse que pour celle menée dans le cadre de la présente étude, qui s'appuie sur des données à une échelle plus fine.

#### 4.6.5 Formulations locales retenues pour l'estimation des débits instantanés décennaux et centennaux

Nous retenons donc les formulations suivantes, définies dans les chapitres précédents :

	QIX10 (m <sup>3</sup> /s)	QIX100 (m <sup>3</sup> /s)
Saint-Nicolas - Madeleine-Bourbeuse	2.297*S <sup>0.7295</sup>	4.1167*S <sup>0.6912</sup>
Autres affluents rive droite	0.4277*S	1.67*(0.4277*S)
Autres affluents rive gauche	0.4277*S	2.06*(0.4277*S)

Tableau 8 : synthèse des corrélations utilisées par la suite de l'étude (avec S surface de bassin versant en km<sup>2</sup>)

Ces formulations seront exploitées pour reconstituer les lignes d'eau des événements de référence sur l'ensemble des cours d'eau.

Sur l'amont de la Saint-Nicolas et la Madeleine, secteurs pour lesquels la cartographie de l'aléa est établie sur la base de la crue de février 1990, nous considérons que les débits de pointe sont supérieurs de 15% à ceux estimés pour la crue centennale (ratio calculé à la station de Rougemont le Château, seule station où le débit de la crue de février 1990 est connu ; cf. §4.5.4 : 18,8 m<sup>3</sup>/s pour Q100 et 21.5 m<sup>3</sup>/s pour 1990).

## 4.7 REPARTITION DES DEBITS DANS LE MODELE HYDRAULIQUE SECTEUR B

### 4.7.1 Crues décennale, centennale et supra-centennale

Les débits décennaux et centennaux de la Bourbeuse étant connus à la station de Froidefontaine et à la confluence avec l'Allan, l'objet du présent chapitre est de déterminer la répartition des débits intermédiaires à injecter dans le modèle, en régime permanent.

Les trois principaux affluents de la Bourbeuse sont la Madeleine, la Saint-Nicolas, et la Suarcine, dont les bassins versants sont respectivement de 87, 74 et 86 km<sup>2</sup>. Ces trois rivières constituent environ 75% de la surface totale du bassin versant de la Bourbeuse.

Les bassins versants de la Saint-Nicolas et de la Madeleine présentant un fonctionnement hydrologique proche, nous faisons l'hypothèse de la concomitance de leurs pointes de crue, conduisant à injecter les débits de pointe décennaux et centennaux estimés par les formulations régionales. Les deux bassins versants présentent en effet des caractéristiques morphologiques proches (superficie, forme, pente, géologie, occupation du sol...), et les pluies susceptibles de générer des crues généralisées de ces cours d'eau touchent, comme ce fut le cas en 1990, les deux bassins versants avec la même intensité.

Les débits des autres affluents intermédiaires sont définis de manière à obtenir le débit décennal ou centennal de la Bourbeuse estimé par les formulations régionales Saint-Nicolas - Bourbeuse (intégrant l'ensemble du bassin versant) en aval du point de confluence.

$$Q = a S^b \quad \text{où} \quad Q : \text{débit (m}^3/\text{s)},$$

$$S : \text{surface du sous bassin versant (km}^2\text{)},$$

	QIX10 (m <sup>3</sup> /s)	QIX100 (m <sup>3</sup> /s)
a	2.297	4.1167
b	0.7295	0.6912

Le tableau ci-après synthétise les apports injectés dans le modèle :

Affluent	QIX100 (m <sup>3</sup> /s)	QIX10 (m <sup>3</sup> /s)
Saint-Nicolas	80.7	53.1
Suarcine	22.5	20.8
Madeleine	90.2	59.7
Écrevisse	13.8	10.1

Ruisseau de la Prelle	12.7	9.3
Ruisseau de l'étang	4.8	3.5
BV aval	6.3	0

Tableau 9 : Débits maximums instantanés de période de retour 10 ans et 100 ans sur les affluents de la Bourbeuse.

Le débit d'alimentation du bief de partage du canal du Rhône au Rhin depuis le bassin du Champagney via la rigole de Belfort (prise d'eau sur le canal de Montbéliard à la Haute Saône à Bavilliers) est inférieur à 1m<sup>3</sup>/s. Ces apports, négligeables à l'échelle des crues étudiées, sont injectés dans le modèle.

La **crue supra-centennale** est définie en multipliant les débits de pointe centennaux de l'ensemble des points d'injection par un coefficient de 1.25. Ce ratio correspond au ratio moyen Q100/Q1000 retenu pour l'élaboration des cartographies des surfaces inondables sur le Territoire à Risque Important de Belfort – Montbéliard (DREAL Franche Comté, décembre 2013).

#### 4.7.2 Crues historiques

Sur le bassin versant de la Bourbeuse, peu de données historiques sont disponibles.

Du fait de la forte disparité du bassin versant, les événements marquants ou de référence ne sont pas les mêmes.

Pour les affluents provenant des Vosges, la crue principale ayant marqué la mémoire collective est celle de 1990. Néanmoins, cette crue n'a touché que la partie amont des bassins versant, et on retrouve peu de traces d'elle sur la partie aval.

Sur l'axe de la Bourbeuse (aval du bassin versant), notons que la crue récente de mars 2006, relativement importante (période de retour de l'ordre de 10 ans à la station de Froidefontaine), est bien documentée et son hydrologie est validée.

Les données de débit disponibles pour ces deux crues sont les suivantes :

Stations	Surface du bassin versant (km <sup>2</sup> )	Débits pour la crue de 1990 (m <sup>3</sup> /s)	Débits pour la crue de 2006 (m <sup>3</sup> /s)
La Saint-Nicolas à Rougemont-le-Château	9.0	21.5	4.07
La Bourbeuse à Froidefontaine	316.0	-	152
L'Allan à Fesches-le-Châtel	725.0	211	231
L'Allaine à Joncherey	319.0	-	71.3
La Savoureuse à Giromagny	30.5	80	23.8
La Savoureuse à Belfort	141.0	209	76.3
La Savoureuse à Vieux-Charmont	235.0	146	104

L'Allan à Courcelles-lès-Montbéliard	1109.0	414	377
--------------------------------------	--------	-----	-----

Tableau 10 : Données de débit disponibles pour les crues de 1990 et 2006

### a) Crue de 1990

La seule donnée de débit validée disponible sur le bassin versant pour la crue de 1990 est celle de la station de Rougemont-le-Château sur la Saint-Nicolas. Cette station est située très en amont, et couvre un bassin versant de seulement 9 km<sup>2</sup>.

Néanmoins, les débits aux stations de la Savoureuse (dont le bassin versant présente des similitudes importantes avec celui des affluents rive droite de la Bourbeuse) et ceux de l'Allan sont disponibles.

La reconstitution des débits sur le bassin versant est basée sur les débits spécifiques des bassins versants voisins, en prenant comme hypothèses :

- Les affluents rive droite de la Bourbeuse (Saint-Nicolas, Madeleine, Autruche) présentent le même débit spécifique que la Savoureuse à Vieux-Charmont ;
- La partie aval du bassin versant de la Bourbeuse (Bourbeuse, affluents rive gauche et petits affluents rive droite) et l'Allaine ont un débit spécifique identique.

Le débit spécifique de la Savoureuse à Vieux-Charmont est de 0.62 m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>.

$$Q_{sp} = \frac{Q_{Fesches-le-châtel} - Q_{affluents\ amont}}{S_{BV_{Fesches-le-châtel}} - S_{BV_{affluents\ amont}}}$$

Le débit spécifique de la partie aval et de l'Allan est calculé de la façon suivante :

- où :  $Q_{\text{affluents amont}}$  : débits de la Saint-Nicolas, de la Madeleine et de l'Autruche  
 $S_{BV_{\text{affluents amont}}}$  : surface de bassin versant de la Saint-Nicolas, de la Madeleine et de l'Autruche

Les débits retenus pour la crue de 1990 en entrée du modèle hydraulique sont les suivants :

Station	Surface du bassin versant (km <sup>2</sup> )	Débit Spécifique (m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )	Débits pour la crue de 1990 (m <sup>3</sup> /s)
Saint-Nicolas	74.1	0.62	46.04
Madeleine sans Autruche	42.4	0.62	26.34
Autruche	44.6	0.62	27.71
Suarcine	86.2	0.20	16.95
Ruisseau de la Prelle	8.8	0.20	2.66
Écrevisse	25.6	0.20	5.96
Grand Déversoir	7.9	0.20	2.48
Ruisseau de Froidefontaine	7.5	0.20	2.40

Ruisseau de l'Étang	11.9	0.20	2.34
---------------------	------	------	------

*Tableau 11 : Débits maximums instantanés lors de la crue de 1990 sur les affluents de la Bourbeuse*

## **b) Crue de 2006**

Pour la crue de 2006, le débit de crue à la station de Froidefontaine est connu et validé. L'objet de ce chapitre est de déterminer la répartition des débits intermédiaires à injecter dans le modèle, en régime permanent.

Comme vu précédemment, les trois principaux affluents de la Bourbeuse sont la Madeleine, la Saint-Nicolas, et la Suarcine. Pour la crue de 2006, nous avons considéré que ces trois affluents ont présenté un fonctionnement hydrologique proche, et nous avons fait l'hypothèse que les débits spécifiques de ces cours d'eau en entrée de modèle étaient identiques à celui de la Bourbeuse à Froidefontaine.

Les débits des autres affluents intermédiaires sont définis de manière à obtenir le débit relevé à la station de Froidefontaine sur la Bourbeuse

<b>Station</b>	<b>Surface du bassin versant (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Débits pour la crue de 2006 (m<sup>3</sup>/s)</b>
Saint-Nicolas	74.1	35.64
Madeleine sans Autruche	42.4	20.39
Autruche	44.6	21.45
Suarcine	86.2	41.46
Ruisseau de la Prelle	8.8	6.51
Écrevisse	25.6	14.59
Grand Déversoir	7.9	6.07
Ruisseau de Froidefontaine	7.5	5.88
Ruisseau de l'Étang	11.9	5.72

*Tableau 12 : Débits maximums instantanés lors de la crue de 2006 sur les affluents de la Bourbeuse*

## 4.8 RECONSTITUTION DES DEBITS DE LA CRUE DE 1990 SUR LE SECTEUR A

Sur le secteur A (Saint-Nicolas, Autruche, Madeleine, Magrabant), les données de débit disponibles sont :

- Le débit à la station de Rougemont-le-Château sur la Saint-Nicolas ;
- Les débits estimés au chapitre précédent en entrée du modèle hydraulique du secteur B.

Le débit de la crue de 1990 en tout point de ces cours d'eau est déduit par interpolation de ces deux débits connus.

Cette interpolation se base sur l'hypothèse que le débit varie linéairement en fonction de la surface du bassin versant, elle-même estimée par interpolation linéaire avec le PK le long du cours d'eau.

## 5 CARTOGRAPHIE DES ZONES INONDABLES

### 5.1 SECTEUR A

#### 5.1.1 Introduction

Sur le secteur A, correspondant aux affluents provenant des Vosges (Madeleine, Saint-Nicolas, Atruche, Ermite et Magrabant), la crue historique de février 1990 est considérée comme au moins centennale.

La reconstitution fine de cet évènement se base sur l'exploitation des enveloppes et laisses de crues disponibles. Ces données sont analysées puis croisées avec les données topographiques afin de reconstituer l'enveloppe de la crue de 1990.

Les ouvrages faisant obstacles à l'écoulement (routes ou voies ferrées en remblais, digues, etc.) sont analysés et les pertes de charges qu'ils provoquent sont prises en compte.

De plus, l'analyse hydrologique a permis de déterminer les débits de la crue de période de retour 100 ans, afin de les comparer à ceux de la crue historique de 1990. La crue de 1990 est ainsi centennale voire supra centennale sur les têtes de bassin versant mais présente une période de retour inférieur à cent ans sur les parties aval.

La crue de référence à prendre en compte pour l'élaboration des cartes d'aléa du PPRI correspond alors à une synthèse de ces deux scénarios, en reconstituant l'enveloppe maximale de ces deux crues.

La délimitation de l'enveloppe inondable pour la crue de 1990 est ainsi complétée par celle de la crue centennale sur l'ensemble du secteur A, à partir de calculs hydrauliques simplifiés ; la méthodologie mise en œuvre est calée et validée au droit des repères de la crue de 1990.

Les profils en long obtenus par cette méthode sont présentés en annexe 5. Les calculs réalisés au niveau des profils en travers, présentés sur les cartes de localisation de l'atlas, sont présentés en annexe 6.

Une approche hydrogéomorphologique permet ensuite de déterminer d'éventuelles « zones critiques », non inondées par la crue de 1990 mais potentiellement inondables pour une crue de débit légèrement supérieure.

Notons que la Madeleine se prête assez mal à l'exercice de l'analyse topographique. La partie aval du cours d'eau, entre Lacollonge et Petit-Croix traverse une forêt assez dense où la photogrammétrie est de mauvaise qualité. Dans ce secteur, l'analyse hydrogéomorphologique est également difficile, les forêts masquant les marques géomorphologiques.

## 5.1.2 Reconstitution de l'Enveloppe de la Crue de 1990

### a) Exploitation des repères de crue et observations disponibles

Les rivières du secteur A ont subi en 1990 des inondations importantes. Les analyses hydrologiques de la crue ont permis de définir sa période de retour à 100 ans sur les parties amont des bassins versants.

Nous disposons des levés de laisses de crues et de repères de crue issus de l'étude des crues historiques en vue de la révision et de l'extension du PPRI du bassin de la Bourbeuse.

Au droit de chacun de ces laisses et repères de crue, un profil en travers de la vallée a été réalisé sur la base de la photogrammétrie disponible.

Les cotes observées ont été reportées sur ces profils en travers afin de définir ponctuellement l'extension latérale de la crue de 1990.

L'atlas hydrogéomorphologique présente ces largeurs inondées par un trait rouge au niveau des laisses et repères de crue.

Notons que la qualité de cette analyse dépend :

- De l'orientation du profil en travers de la vallée, théoriquement perpendiculaire à l'axe général d'écoulement ; cette orientation peut sur certains secteurs s'avérer difficile à définir,
- De la densité et de la qualité de la donnée photogrammétrique (dégradée en zone de végétation dense).

La ligne d'eau de la crue de 1990 a ensuite été reconstituée entre ces repères de crue à l'échelle des vallées considérées, sur la base des calculs hydrauliques présentés ci-après. Cette seconde analyse permet **d'affiner l'interpolation de la ligne d'eau** entre les repères de crue, en tenant compte de la morphologie de la vallée : pente, largeur de la plaine inondable, ...

Les éléments ainsi obtenus sont recoupés avec les conclusions de l'analyse hydrogéomorphologique.

### b) Calculs hydrauliques localisés

Comme indiqué au chapitre 4, les débits de la crue de 1990 ont été reconstitués en tout point du bassin versant.

A partir de ceux-ci, les hauteurs d'inondation ont été calculées au droit de différents profils en travers de la vallée afin d'affiner la ligne d'eau reconstituée de la crue de 1990. Ces calculs ont été établis à l'aide du logiciel de modélisation numérique HYDRARIV présenté au §5.3.2.

Les lignes d'eau tiennent compte des pertes de charge créées par les ouvrages de franchissement, définis par les cotes de radier et de sous-poutre et la section totale. Les pertes de charge sont calculées par une loi de seuil tant que l'ouvrage n'est pas en charge, et par une loi d'orifice dans le cas contraire ; les calculs intègrent les surverses sur le remblai le cas échéant.

Cette approche, validée au droit des repères de crue disponibles, permet de disposer de cotes d'eau intermédiaires pour compléter l'approche historique.



Remarque : Sur l'Autruche, les laisses de crue 31 et 59 en amont et en aval de l'autoroute semblent peu fiables. La cote aval est en effet supérieure à la cote amont du remblai autoroutier.

Les lignes d'eau reconstituées sont présentées en annexe 5, et le détail des calculs effectués au droit de chacun des profils (reportés sur les atlas joints au présent rapport) en annexe 6.

### 5.1.3 Calcul de l'enveloppe de la crue centennale

Comme indiqué au chapitre 4.6, les débits de la crue centennale sont disponibles en tout point du secteur d'étude, selon les lois suivantes :

	QIX10 (m <sup>3</sup> /s)	QIX100 (m <sup>3</sup> /s)
Saint-Nicolas - Madeleine-Bourbeuse	$2.297*S^{0.7295}$	$4.1167*S^{0.6912}$
Autres affluents rive droite	$0.4277*S$	$1.67*(0.4277*S)$
Autres affluents rive gauche	$0.4277*S$	$2.06*(0.4277*S)$

Tableau 13 : synthèse des corrélations utilisées dans l'étude (avec S surface de bassin versant en km<sup>2</sup>)

Ces débits permettent alors de calculer les hauteurs d'inondation au droit des profils en travers exploités pour la reconstitution de la ligne d'eau de 1990 à l'aide d'une loi de Strickler, en conservant les coefficients de rugosité établis et validés pour la crue de 1990.

### 5.1.4 Analyse hydrogéomorphologique

La méthodologie mise en œuvre pour l'analyse hydrogéomorphologique est présentée au chapitre 3.

Cette analyse vise sur le secteur A à vérifier la cohérence des approches précédentes et à définir d'éventuelles **zones critiques** en limite submersion pour la crue de référence (1990 ou centennale suivant les secteurs).

La synthèse de cette analyse est présentée au chapitre suivant.

### 5.1.5 Réalisation de l'atlas des zones inondables

L'atlas des zones inondables est présenté à l'échelle 1/10 000 dans un rapport séparé. Il présente la synthèse des 3 méthodes précédemment présentées (approche historique, statistique et hydrogéomorphologique). Les paragraphes ci-après décrivent les principaux apports de ces approches pour chacun des cours d'eau, ainsi que les résultats obtenus sur les secteurs à enjeux du territoire et les secteurs où ces approches ont montré leurs limites.

Deux atlas A3 à l'échelle 1/10 000 présentent respectivement les enveloppes de la crue de 1990 et de la crue centennale.

- **Secteur A** : définition de l'aléa par reconstitution de l'emprise des crues de février 1990 et de la crue centennale sur la base d'une analyse hydrogéomorphologique
  - Emprise de la zone inondable pour la crue de 1990
  - Emprise de la zone inondable pour une crue centennale

Ces atlas sont complétés par un atlas A3 à l'échelle 1/10 000

- Analyse hydrogéomorphologique et historique

#### a) La Saint-Nicolas

Sur la partie amont de la rivière (secteur 1 de la carte), des colluvions, formations de bas de pente de versant recouvrent le fond de vallée, masquant les ruptures entre les unités morphologiques.

En rive gauche, l'encaissant volcanique se distingue et limite clairement l'unité morphologique du lit majeur.

En rive droite, la topographie en pente douce ne permet pas d'arrêter les unités morphologiques.

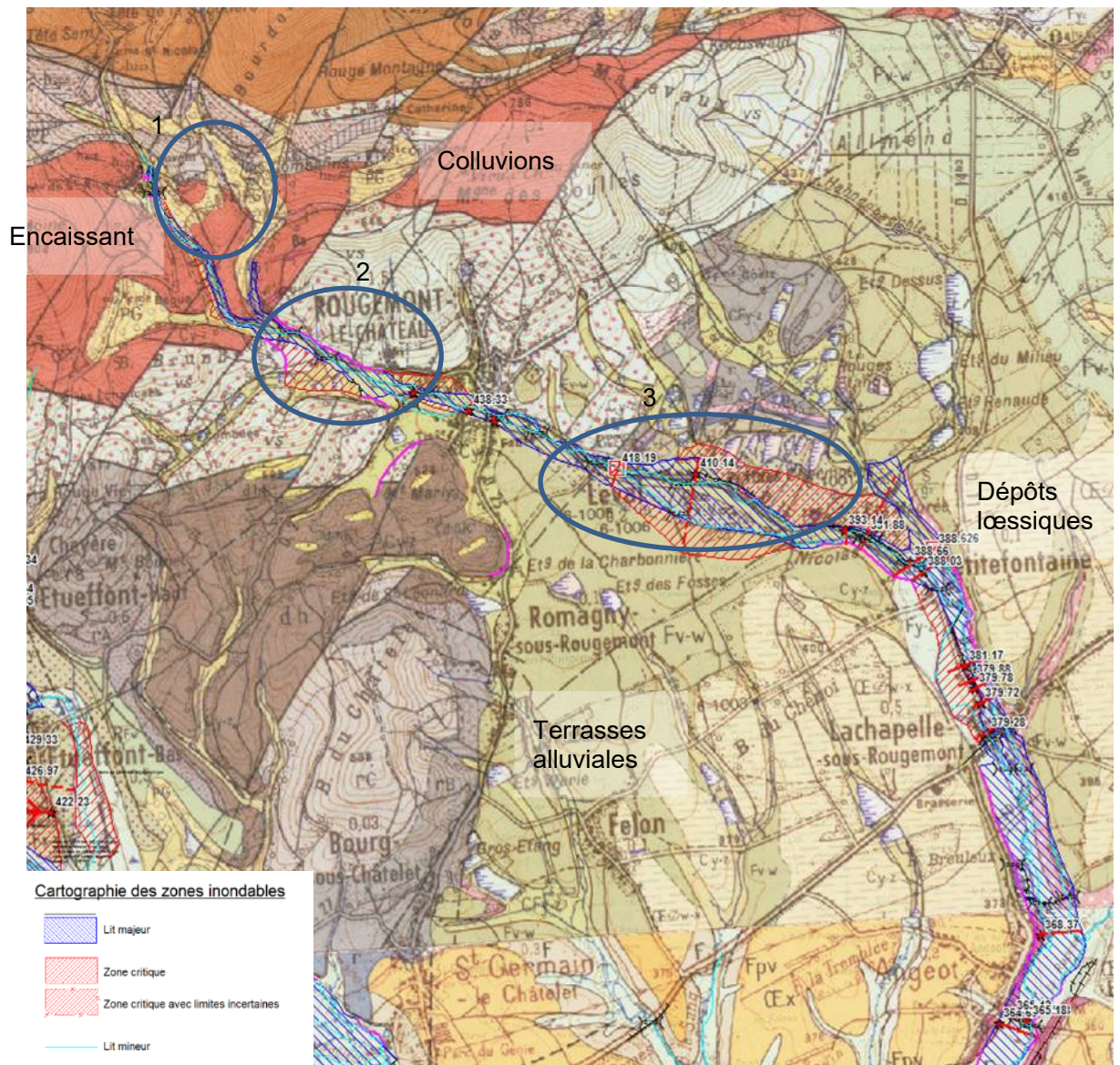


Figure 17 Carte géologique (source BRGM, 1/50 000), Saint-Nicolas amont

Une zone critique est définie en amont du bourg de Rougemont-le-Château sur la rive droite de la Saint-Nicolas au lieu-dit les Étangs des soldats, non inondée lors de la crue de 1990. Il s'agit d'une zone située dans les alluvions communes de la Saint-Nicolas et de son petit affluent rive droite, partiellement remaniée par les étangs artificiels.

Au niveau de Rougemont-le-Château (secteur 2), le lit majeur hydrogéomorphologique est cohérent avec l'emprise reconstituée de la crue de 1990, restreint à une bande de 60 m. Une zone critique est définie sur le rive gauche, qui présente un point bas topographique.



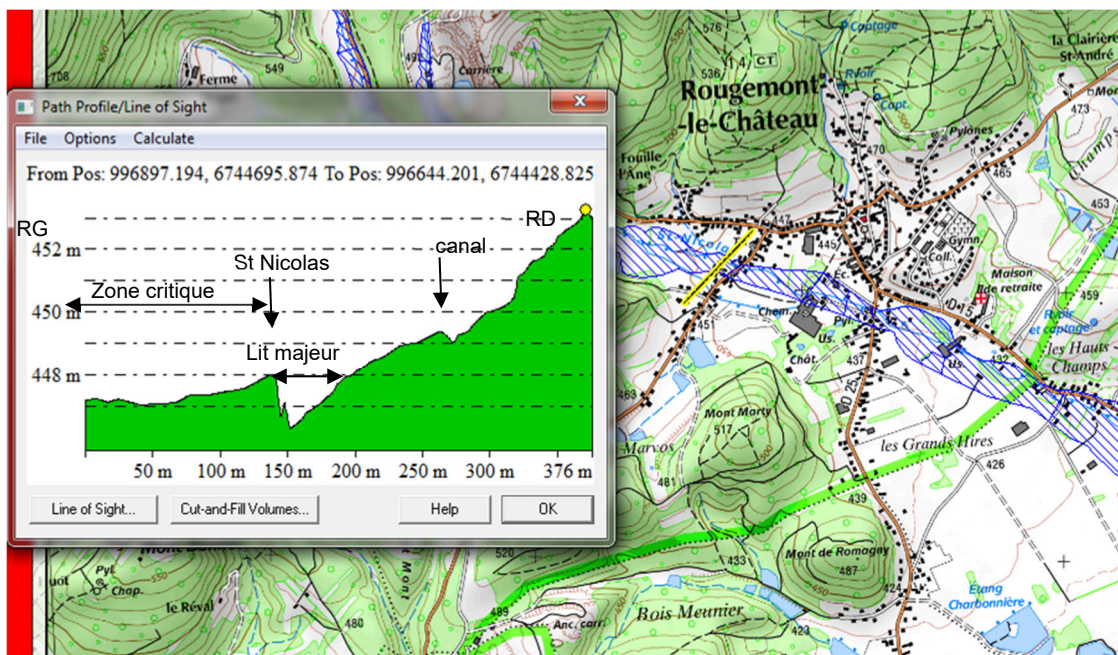


Figure 18 : Définition d'une zone critique en rive gauche de la Saint-Nicolas, à l'amont de Rougemont-le-Château

A l'aval de Rougemont-le-Château, la carte géologique montre l'individualisation des alluvions avec les terrasses alluviales. L'analyse morphologique ne permet pas de distinguer ces terrasses alluviales. Le lit majeur est défini sur la base des données topographiques.

A Leval (secteur 3), la reconstitution de crue de 1990 montre une zone inondable très large. Les terrasses alluviales sont en continuité avec les alluvions modernes

Le canal en rive droite marque une première limite hydrogéomorphologique anthropique, utilisée comme limite du lit majeur. Une zone critique morphologique est définie sur le secteur de point bas topographique en rive droite du canal, cf. schéma 1, figure suivante. Cette zone critique est partiellement inondée par la crue de 1990 reconstituée.

De même le secteur situé entre l'Étang des Charmottes et la Saint-Nicolas, en rive gauche de cette dernière, est défini en zone critique, largement inondée par la crue de 1990. Notons cependant que cette zone rive gauche est plus haute topographiquement que la zone critique de la rive droite. Cf. schéma 2 de la figure suivante

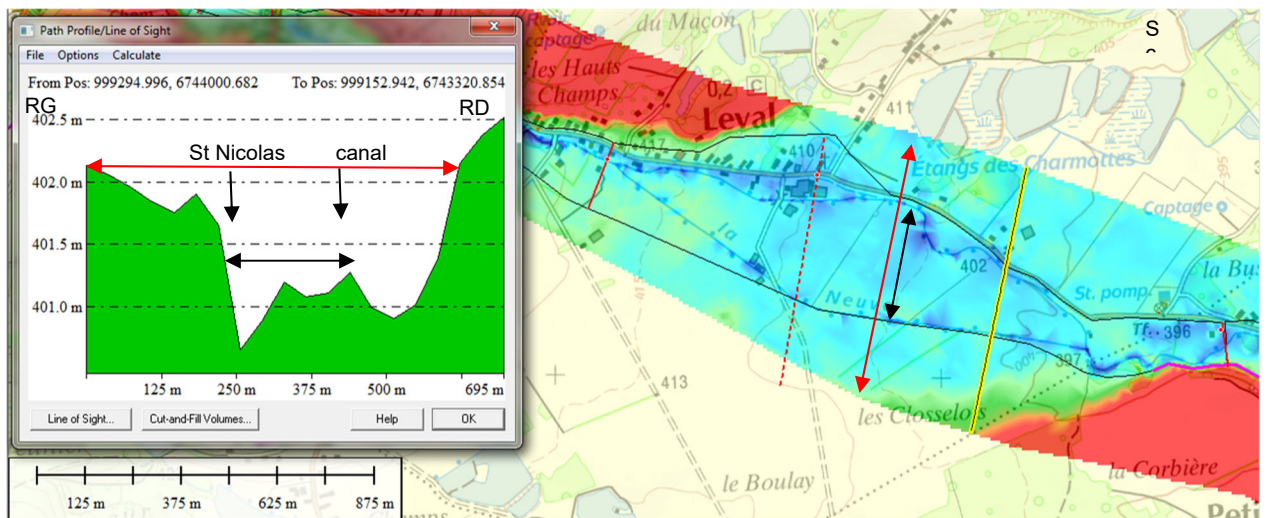
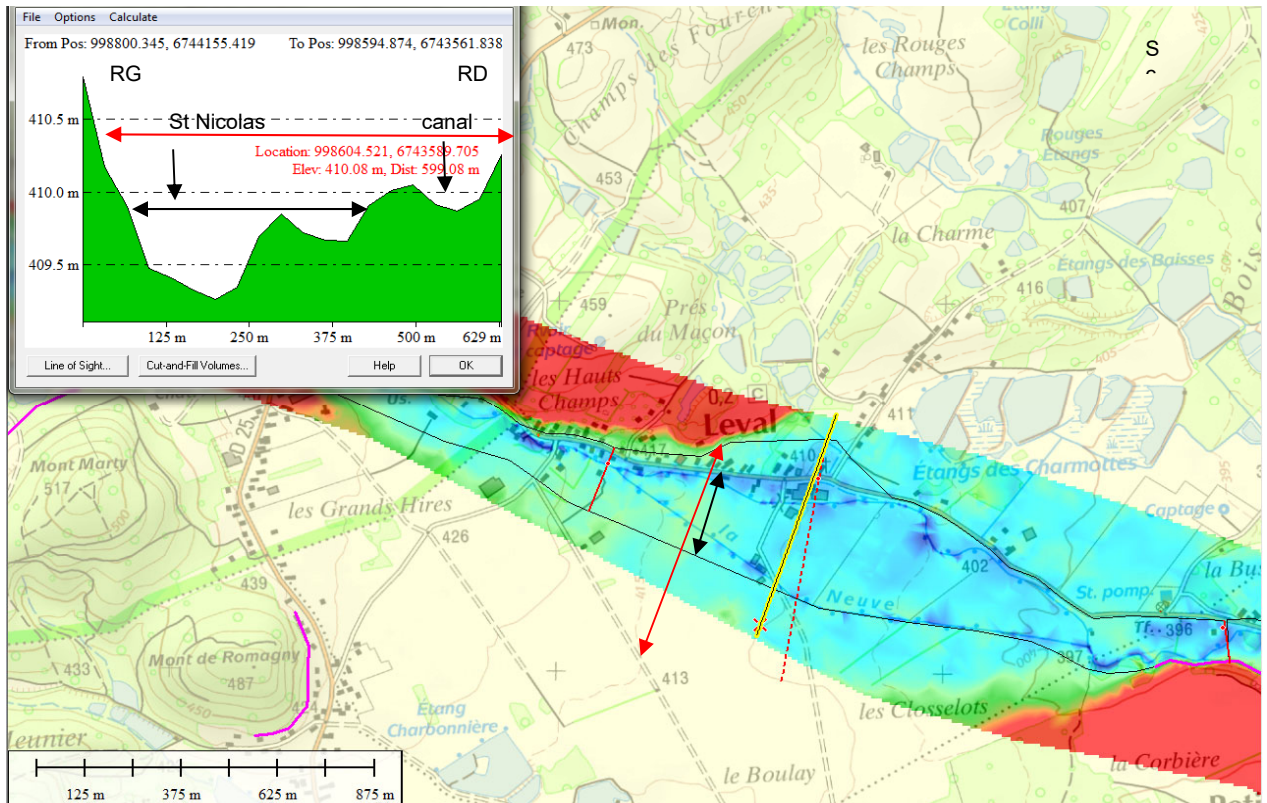


Figure 19 : Interprétations topographiques sur la Saint-Nicolas au niveau de Leval

Au niveau de Petitefontaine, les limites morphologiques montrent l'extension du lit majeur en rive droite, confirmée par l'analyse de la crue de 1990.

Au niveau du hameau La Noue, les plans d'eau situés derrière un remblai, sont localisés dans le lit majeur naturel du cours d'eau. Leur présence diminue le lit majeur réel.



A partir de la commune d'Angeot et jusqu'à la vallée de la Bourbeuse, l'encaissant est constitué de dépôts éoliens (lœss) et de formations éocènes. Les limites hydrogéomorphologiques de l'encaissant sont bien distinguées.

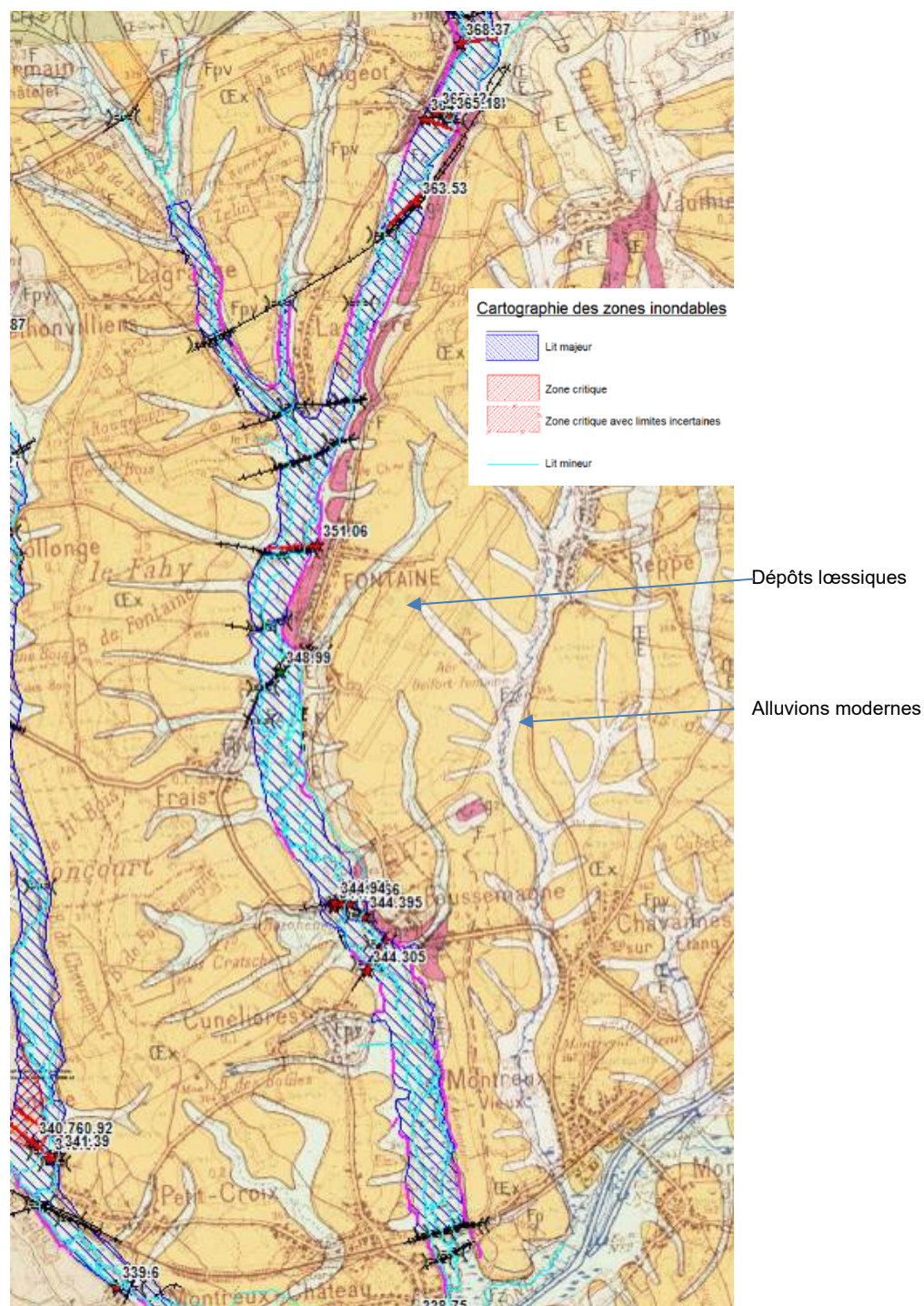


Figure 20 : Carte géologique (source BRGM 1/50 000) de la partie aval de la Saint-Nicolas et du Magrabort

A l'aval de la confluence avec le Magrabort, l'encaissant est identifiable en rive gauche, marquant la limite du lit majeur. Il n'est pas possible de définir les unités morphologiques

en rive droite ; elles sont définies par symétrie avec la limite en rive gauche sur la base du MNT : la limite du lit majeur en rive droite correspond à la cote altimétrique du terrain naturel du pied de l'encaissant en rive gauche (cf. Figure 4).

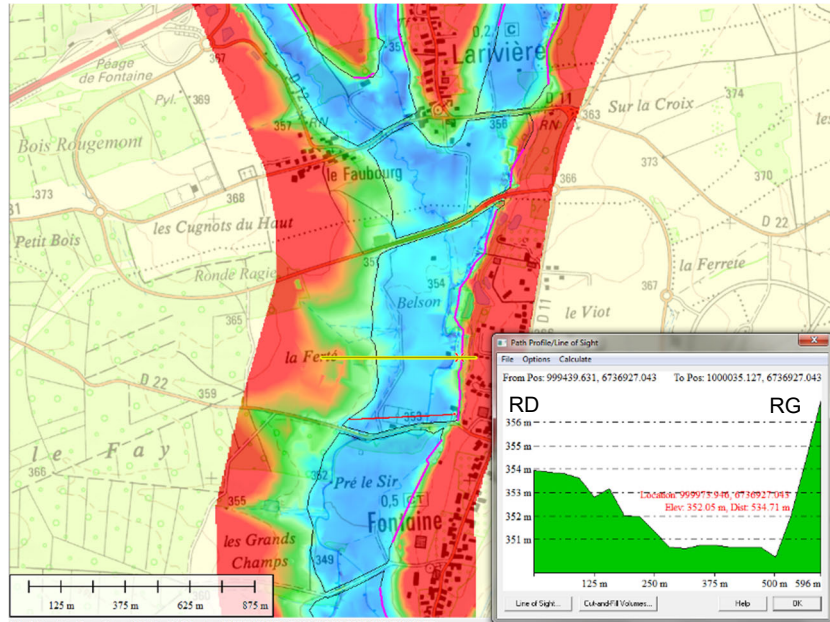


Figure 21 : aval de la confluence du Magrabant et de la Saint-Nicolas

Sur la partie aval de la Saint-Nicolas, de Larivière à Montreux le Château, les différents biefs occupent toute la vallée et marquent globalement l'extension du lit majeur.

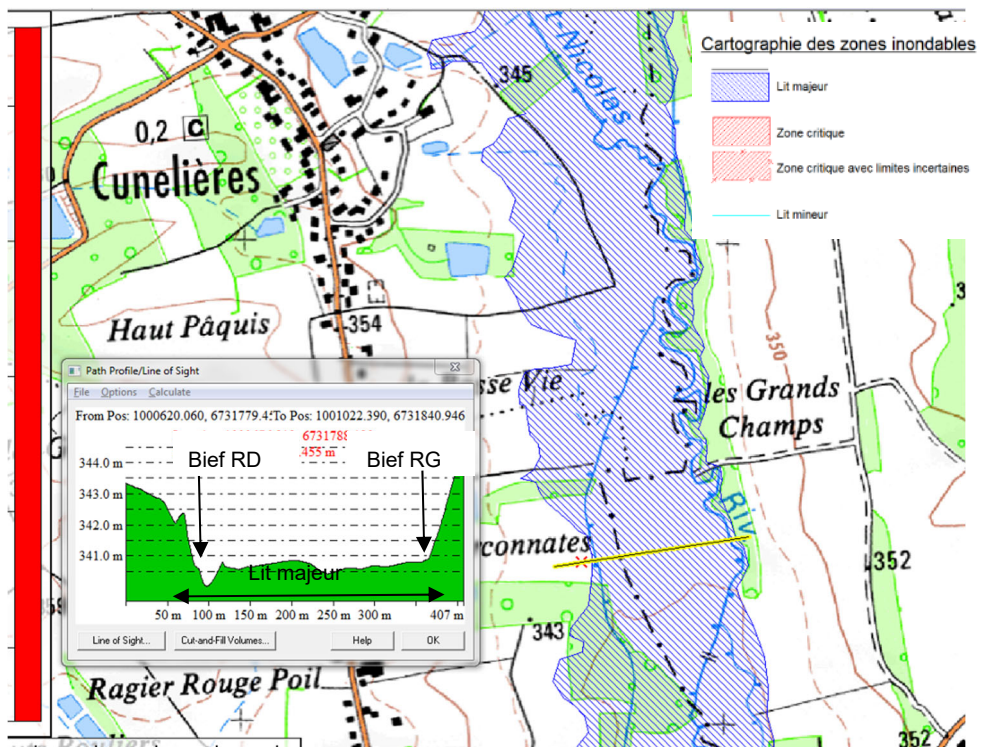


Figure 22 : Secteur aval de la Saint-Nicolas



## b) Le Magrabant

Sur le cours d'eau du Magrabant, les limites morphologiques sont clairement identifiées par les formations éocènes recouvertes des dépôts loessiques.

La carte géologique est présentée sur la Figure 20.

## c) La Madeleine

Sur sa partie amont, La Madeleine traverse l'encaissant volcanique du strato-volcan du Molkenrain. L'encaissant détermine alors les limites morphologiques sur la partie amont du bassin.

Des formations alluviales se développent à partir du hameau du Ban des Parges à l'amont de la commune d'Etueffont. La carte géologique distingue les alluvions modernes des alluvions d'âge Riss à Würm. Les alluvions anciennes sont disposées en continuité par rapport aux alluvions modernes. La photogrammétrie ne met pas de talus en évidence entre ces deux entités.

L'urbanisation d'Etueffont s'est établie sur des terrasses alluviales qui s'étendent entre deux bras de cours d'eau. Ces formations alluviales ne se présentent pas sous la forme de limites morphologiques distinctes. En rive gauche, en amont d'Etueffont, aucune marque morphologique ne permet de distinguer la limite du lit majeur.

La photogrammétrie ne couvre pas toute la vallée alluviale, cependant le bras rive gauche de la Madeleine semble être le point bas topographique du système.

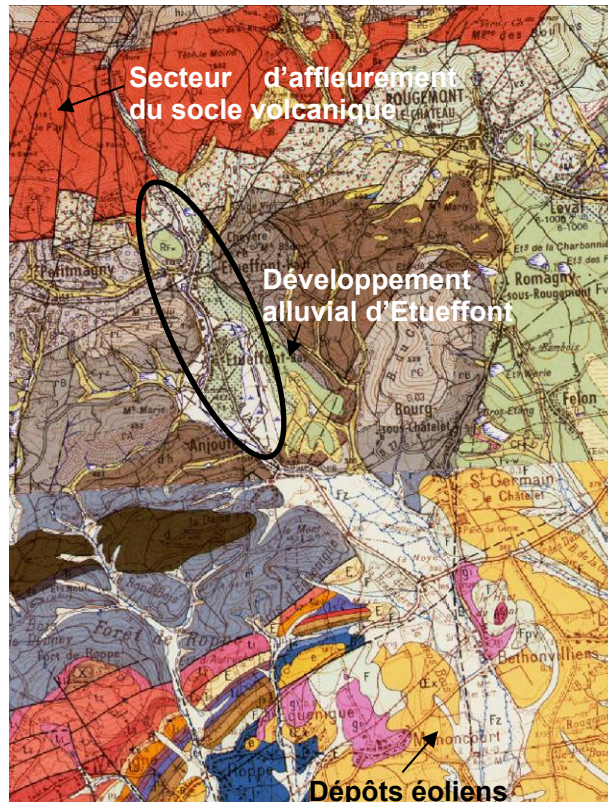


Figure 23 : Carte géologique (source BRGM 1/50 000) : la Madeleine partie amont



Des laisses de crue ont été levées. La laisse de crue 76 s'établit sur un point bas topographique relativement éloigné du lit mineur. Elle peut provenir d'un débordement direct de la Madeleine, peu probable compte tenu du développement de l'urbanisation en rive gauche de la Madeleine, contraignant l'expansion des crues, ou de remontées de nappe ou de débordements de réseau.

La définition du lit majeur hydrogéomorphologique est délicate sur ce secteur de large plaine fortement remaniée par l'homme. Une zone critique est définie sur le secteur de point bas en rives gauche et droite de la Madeleine. La reconstitution de la crue de 1990 montre l'inondabilité totale de la zone critique rive droite et partielle de la zone critique rive gauche pour cette crue.

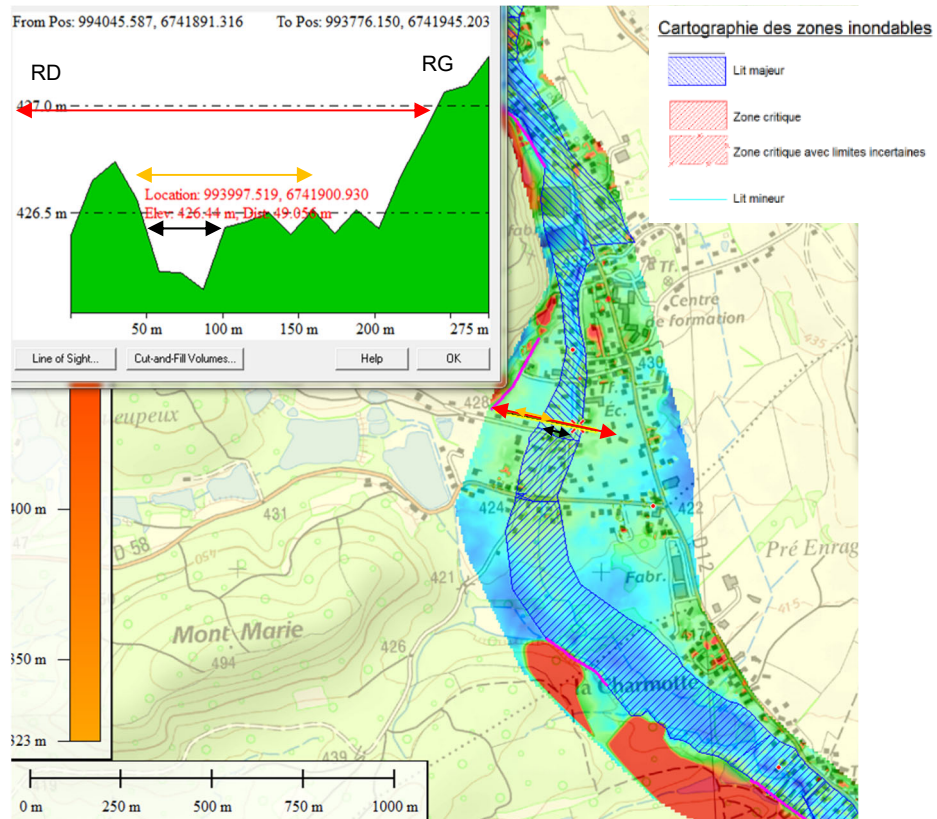


Figure 24 : La Madeleine à Etueffont

Sur la figure ci-dessus, la flèche noire représente l'extension du lit mineur entre les digues. La flèche jaune représente l'enveloppe du lit majeur hydrogéomorphologique. La flèche rouge représente les zones critiques définies.

À la traversée d'Anjoutey, le lit est contenu entre 2 murs. Les laisses de crue et la reconstitution de la crue de 1990 ne montrent pas de débordement. Le lit majeur est donc défini sur le tracé des murs.

À l'aval d'Anjoutey, la Madeleine traverse des terrains composés de lœss, dépôts éoliens d'une quinzaine de mètres d'épaisseurs qui masquent les frontières entre les unités morphologiques. La vallée est assez large, la carte géologique identifie des alluvions modernes en fond de vallée et des alluvions anciennes non datées.

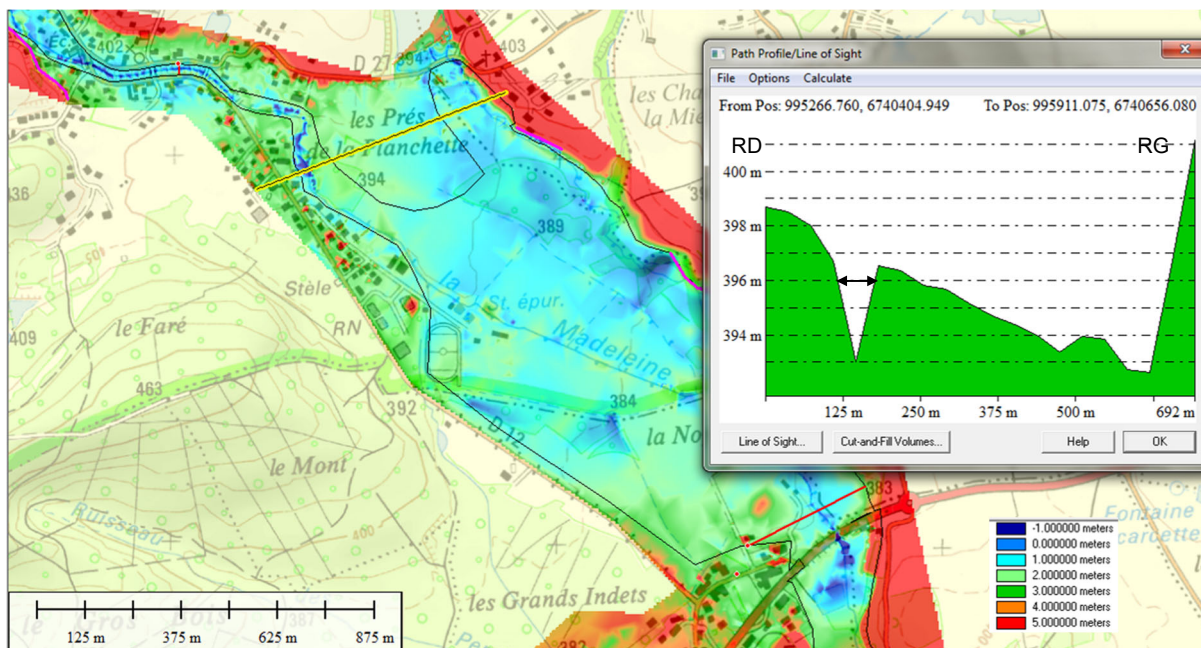


Figure 25 : Exemple de définition de la largeur d'inondation en février 1990 sur la Madeleine

À partir de Fontenelle, la Madeleine, qui conflue avec l'Autruche, rencontre les alluvions du Sundgau, composées de graviers et galets, entremêlés de limons argileux jaunes ou brunâtres.

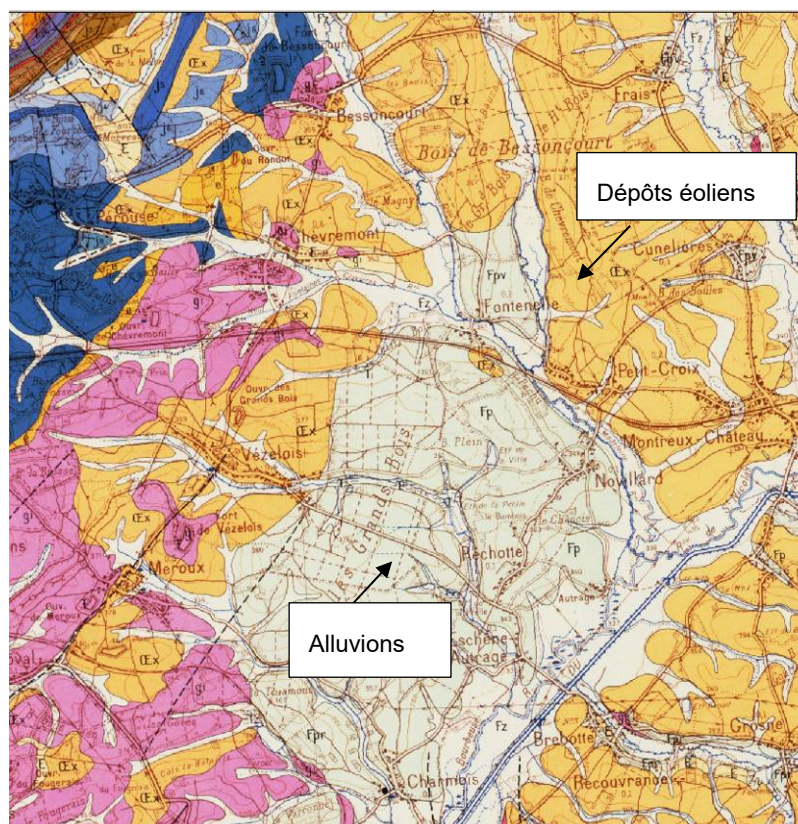


Figure 26 : Carte géologique (source BRGM, 1/50 000) : la Madeleine aval



Ces alluvions du Sundgau marquent la limite du lit majeur de la partie aval de la Madeleine. La présence de boisement peut perturber les interprétations topographiques.

#### d) L'Autruche et ses affluents

L'Autruche, affluent de la Madeleine, a un cours similaire à celui de la Madeleine.

Sa partie amont traverse les terrains du jurassique, peu érodables. La vallée est peu étendue, créant des gorges et le lit majeur est restreint. Au nord de Denney, l'analyse de la topographie permet d'estimer le lit majeur, même si les limites ne sont pas fortement marquées d'un point de vue morphologique.

L'Ermitte traverse des terrains du jurassique également, son fonctionnement morphologique s'apparente à celui de la partie amont de l'Autruche.

La partie médiane de l'Autruche traverse les dépôts éoliens, la vallée s'élargit. Seules des alluvions modernes figurent sur la carte, elles représentent assez bien le lit majeur du cours d'eau.

Sa partie aval s'écoule au droit des alluvions du Sundgau qui se présentent en terrasse et marquent le lit majeur du cours d'eau.

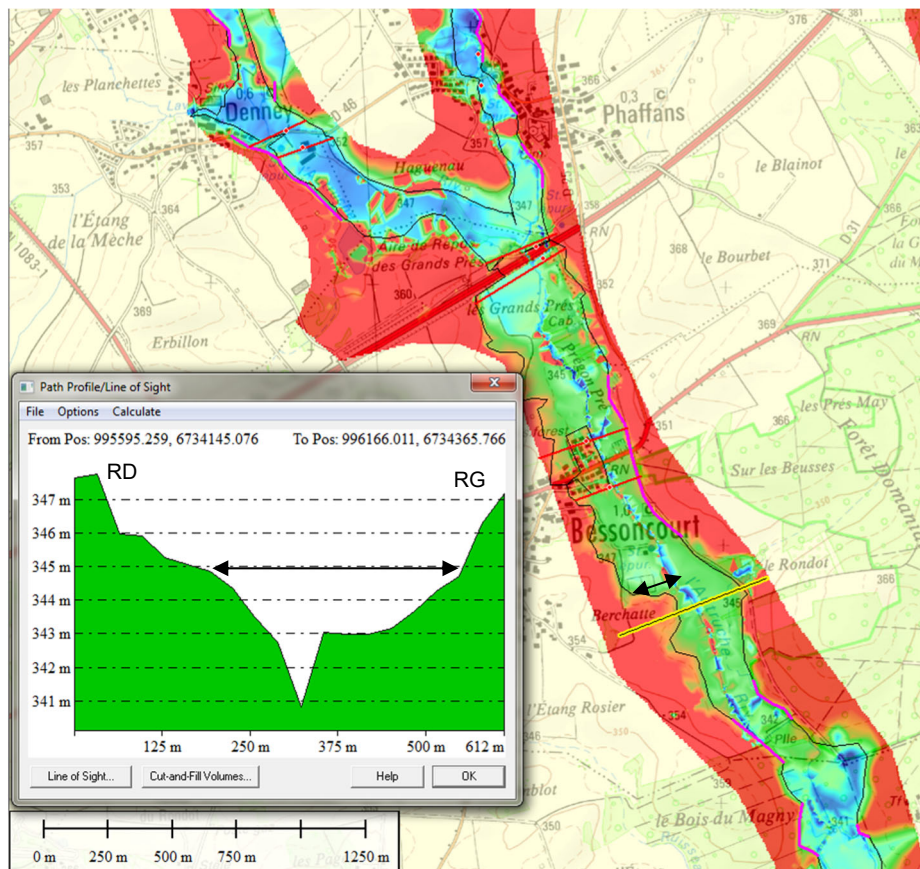


Figure 27 : définition des unités hydrogéomorphologiques sur l'Autruche

## 5.3 SECTEUR B

### 5.3.1 Introduction

Sur le secteur B (tronçon aval correspondant à l'aval de la Saint-Nicolas et à la Bourbeuse), la crue de 1990 est de période de retour nettement inférieure à 100 ans.

La crue de référence retenue est donc une crue statistique centennale. Les débits correspondants ont été définis dans l'analyse hydrologique (cf. 4).

La cartographie de l'enveloppe des zones inondables s'appuie sur une modélisation hydraulique, dont le présent chapitre présente la structure et le calage.

### 5.3.2 Présentation du logiciel

Le modèle numérique des écoulements de la Bourbeuse est construit sous le logiciel HYDRARIV utilisant la chaîne de calcul Hydra.

Le modèle résout les équations complètes de l'hydraulique (équations de Barré de Saint Venant). Il permet de modéliser simultanément trois types de domaines complémentaires, communiquant entre eux par des liaisons hydrauliques :

- **le domaine filaire**, dissociant le lit mineur et le lit majeur, est structuré en biefs parcourus longitudinalement par des écoulements suivant une direction privilégiée ;
- **le domaine casiers**, qui sert à modéliser une partie du lit majeur, est constitué par des groupes de bassins naturels d'accumulation communiquant entre eux par des liaisons hydrauliques de diverse nature ;
- **le domaine bidimensionnel**, permet de décrire par un maillage fin les zones où l'enjeu hydraulique est le plus important, et restitue des champs de vitesses et de hauteurs d'eau locales.

### 5.3.3 Construction du modèle

#### a) Levés topographiques et bathymétriques

Le modèle est basé sur plusieurs sources topographiques :

- Le lever photogrammétrique de l'ensemble du bassin versant réalisé en 2007 ;
- Des levés complémentaires d'ouvrages et de profils en travers du lit mineur (bathymétrie) de la Bourbeuse et de ses affluents réalisés en 2012.

Sur ce secteur, les levés bathymétriques sont cohérents avec la photogrammétrie (cotes de berges de la Bourbeuse notamment). Les données exploitées sont donc fiables, n'entraînant pas de biais sur le calage du modèle hydraulique.

#### b) Architecture du modèle

Le rendu cartographique de l'étude couvre l'ensemble de la plaine inondable de la Bourbeuse, depuis le remblai de la RD32 sur la Saint-Nicolas (commune de Montreux-Château) et le remblai de RD29 sur la Madeleine (Commune de Novillard), jusqu'à la confluence avec l'Allaine à l'aval de la commune de Bourogne.

Le modèle construit utilise les trois schémas de modélisation proposés par le logiciel HYDRARIV :

- **Filaire** lorsque le lit de la Bourbeuse est rectiligne et ne présente pas d'enjeux ;
- **Casiers** dans les zones de stockage ne présentant pas d'écoulement marqué ;
- **Bidimensionnel** dans les zones présentant des écoulements complexes (zones de confluence) ou dans les zones à enjeux.

Le **canal du Rhône au Rhin** entraîne localement un cloisonnement de la plaine alluviale, isolant des poches modélisées par des casiers. Les échanges entre ces casiers et la plaine inondée par les débordements directs de la Bourbeuse sont assurés par des liaisons hydrauliques traduisant le fonctionnement des ouvrages hydrauliques existants :

- Passages inférieurs ou siphons, au droit des principaux affluents,
- Lois de surverse :
  - Ouvrages ponctuels correspondant aux déversoirs du canal,
  - Possibilités de surverse sur les berges du canal.

Les apports issus de la rive gauche de la Bourbeuse sont ainsi contrôlés par le canal du Rhône au Rhin, via les ouvrages de franchissements et de surverse. Ils sont ainsi injectés dans des casiers, dont les exutoires sont contrôlés par ces ouvrages.

Les ouvrages de franchissement du canal permettent également la remontée des eaux de la Bourbeuse en crue vers ces casiers.

La capacité de transit des eaux débordées depuis la Bourbeuse ou les affluents sud n'est pas modélisée. En période de crue, la nécessité de préserver les ouvrages impose de maintenir fermées les écluses pour limiter au maximum les écoulements dans le canal ; les éventuels débordements vers le canal sont ainsi gérés à l'échelle de chaque bief, via une série de déversoirs.

La **simulation en régime permanent** permet d'équilibrer les cotes d'eau de part et d'autre du canal du Rhône au Rhin, via les ouvrages mentionnés précédemment. Cette hypothèse permet d'intégrer implicitement les conséquences d'une éventuelle rupture de la digue créée par le canal :

- Suppression de l'effet d'écrêtement potentiel de stockage des apports des affluents rive gauche que pourraient jouer les casiers (via les ouvrages de franchissement sous le canal qui présentent des capacités réduites au regard des apports de crue),
- Équilibrage des cotes d'eau de part et d'autre du canal.

### c) Conditions limites

Les conditions limites amont correspondent aux points d'injection des débits définis à l'issue de l'analyse hydrologique.

Les débits sont répartis en 8 points d'apport :

- La Saint-Nicolas,
- La Madeleine,
- La Suarcine,
- Le ruisseau de la Prelle,
- Le ruisseau de l'Étang,
- L'écrevisse,
- Apports diffus de rive gauche contrôlés par le canal.

La condition limite aval du modèle se situe au droit de la confluence avec l'Allan. En l'absence de courbes de tarage disponibles en ce point, une condition limite de type hauteur normale est dans un premier temps imposée ; elle ne tient pas compte des débits de l'Allan, susceptibles de faire varier sensiblement cette condition limite.

La courbe de tarage issue de cette première modélisation est dans un second temps ajustée pour imposer la cote de référence du PPRI de l'Allaine / Allan pour le scénario centennal (soit 331,30mNGF).

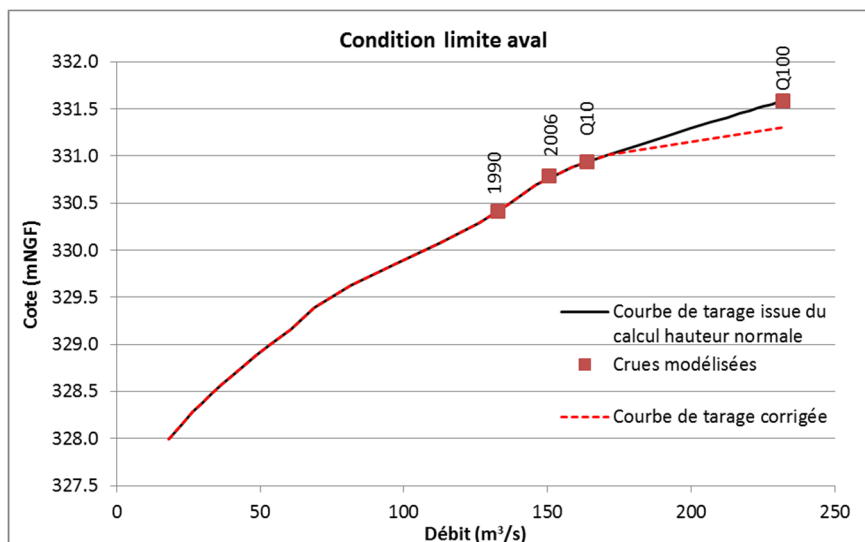


Figure 28 : condition limite aval

Les tests de sensibilité menés sur la condition limite aval (+/- 50 cm pour la crue de 2006) montrent que le remous est sensible sur un linéaire très réduit (environ 200 m en amont).



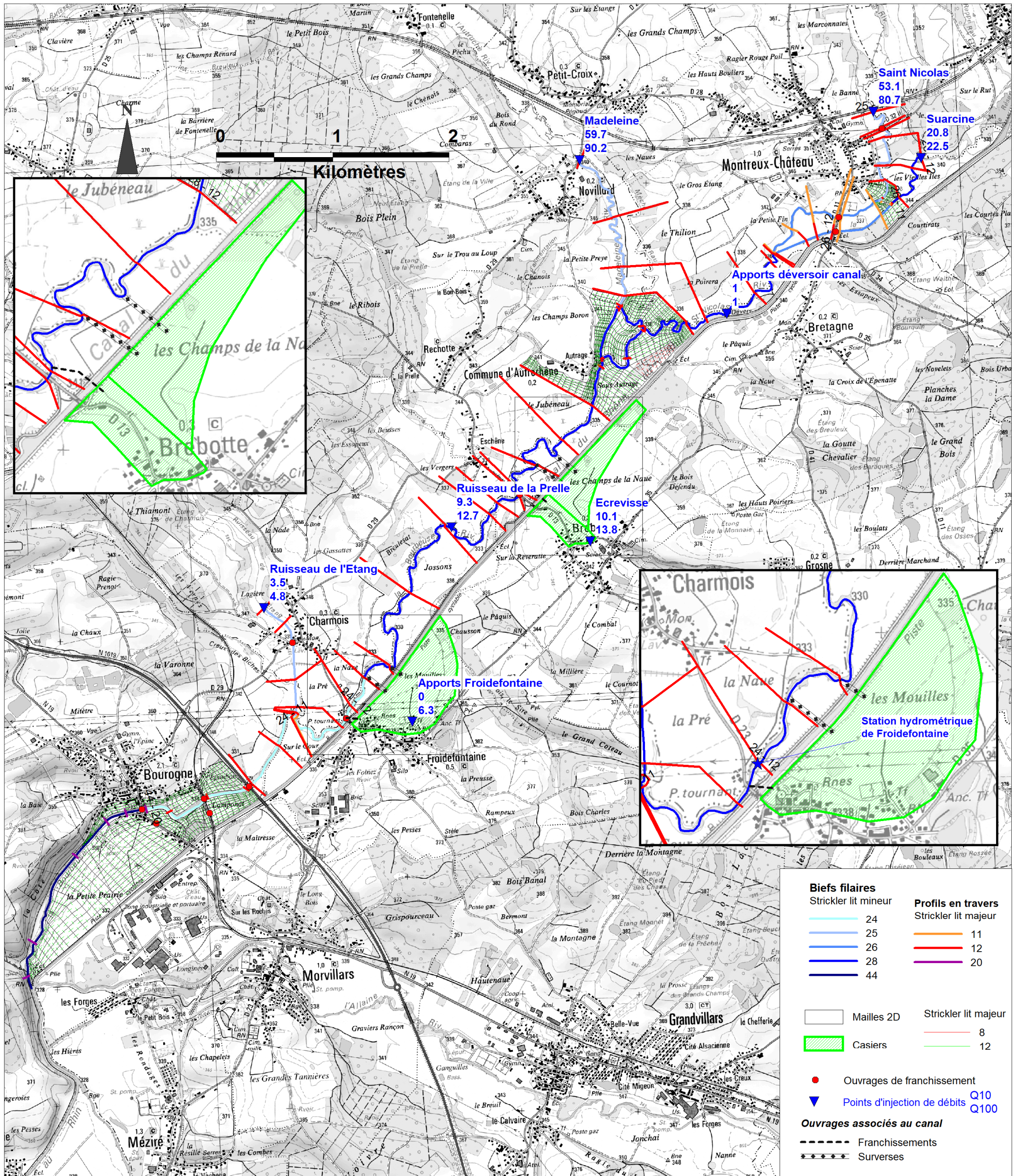


Figure 29 : Architecture du modèle



### 5.3.4 Calage du modèle

#### a) Principe du calage

Le calage a été réalisé sur les crues de 1990 et de 2006. Il s'agit des deux crues pour lesquelles nous possédons un nombre suffisant de données : laisses et débits.

Les périodes de retour de ces crues sont inférieures à 10 ans au niveau de la station de Froidefontaine. Le débit au niveau de cette station est estimé à 135 m<sup>3</sup>/s pour la crue de 1990 et 152 m<sup>3</sup>/s pour la crue de 2006.

Concernant la crue de 1990, les apports de la Madeleine et de la Saint-Nicolas sont importants : les débits aux entrées du modèle, à Montreux-Château pour la Saint-Nicolas et à Novillard pour la Madeleine sont respectivement de 46 m<sup>3</sup>/s et 54 m<sup>3</sup>/s.

Par contre, les affluents situés dans la partie aval du bassin versant n'ont que très peu contribué aux apports (cf. volet hydrologie §a)).

#### b) Données de calage

Les données permettant le calage du modèle sont données ci-après :

- Les débits de pointe au niveau de la station de Froidefontaine pour les deux crues,
- 7 laisses de crue retenues pour la crue de 1990,
- 3 laisses de crue retenues pour la crue de 2006,
- la cote d'eau à l'échelle de la station de Froidefontaine.

#### c) Résultats du calage

Le calage a porté essentiellement sur les coefficients de Strickler des lits mineurs et majeurs de la Bourbeuse.

Les coefficients retenus en lit mineur varient de 28 à 44 :

- 24 à 28 sur la majorité des biefs,
- 44 sur le linéaire aval de la Bourbeuse, en aval du pont de la RN19 à Bourogne (linéaire très rectiligne).

Les coefficients de Strickler en lit majeur ont été ajustés en fonction de l'occupation des sols (identifiée à partir des ortho-photo) dans les gammes de fourchettes ci-après :

- 12 pour les prairies et zones urbanisées,
- 8 pour les bois.

Sur les domaines filaires, seul un coefficient de Strickler est affecté au lit majeur (rives gauche et droite) ; il varie entre 11 et 12, à l'exception la Bourbeuse en aval du pont de la RN19 à Bourogne où il est fixé à 20 (le lit majeur est sur ce linéaire limité à la berge rive gauche et au coteau rive droite, qui présentent une ripisylve discontinue).

Les coefficients affectés aux liaisons entre mailles 2d sont reportés sur la Figure 29 : Architecture du modèle.



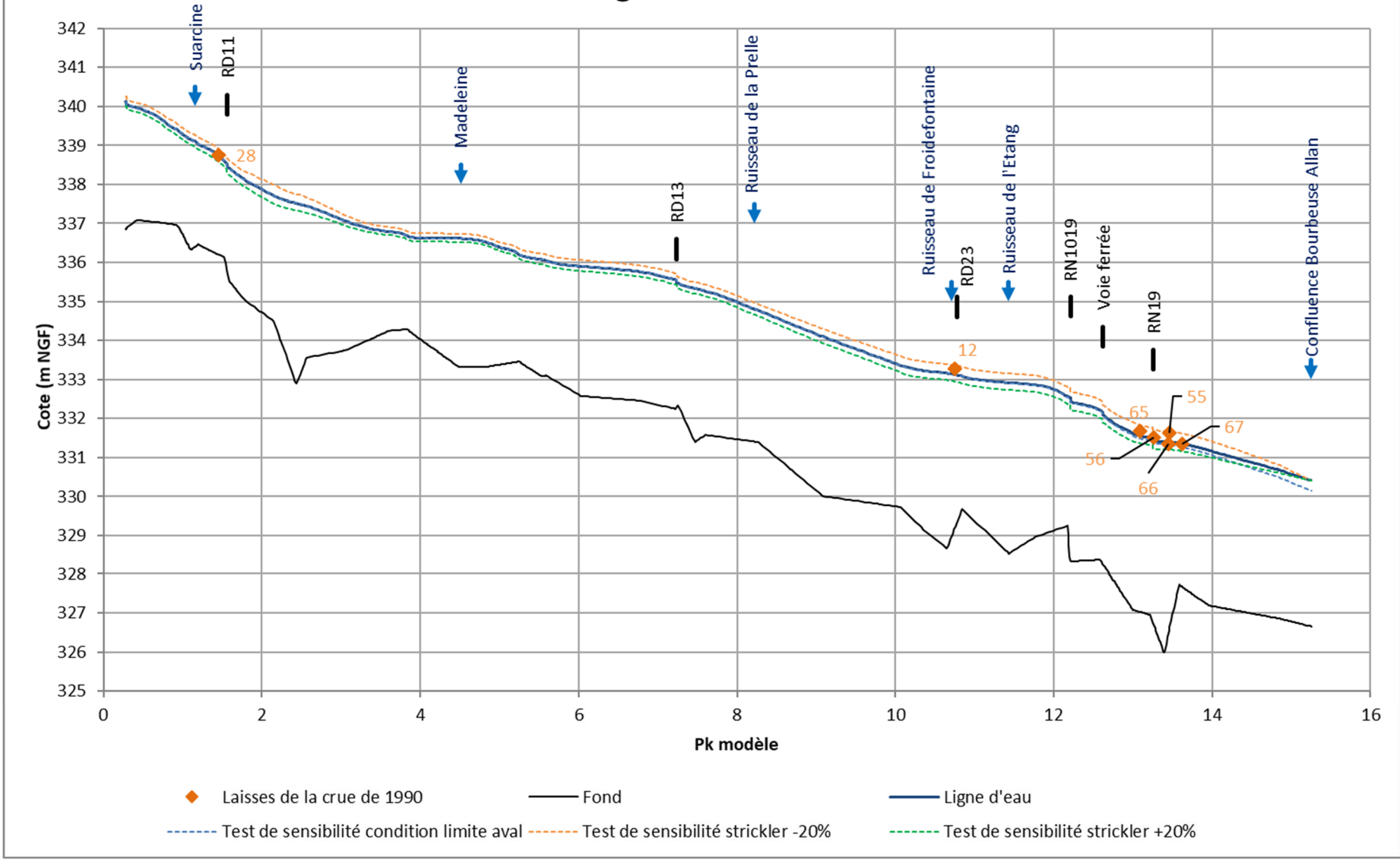
Des tests de sensibilités sont effectués en faisant varier les coefficients de Strickler (lit mineur et lit majeur) de +20% et -20%. Les écarts calculés avec la ligne d'eau de référence atteignent respectivement +29 cm et -22 cm.

Les lignes d'eau calculées sont relativement sensibles aux hypothèses de Strickler retenues. Ces coefficients ont cependant été calés sur des repères de crue répartis sur l'ensemble du linéaire modélisé (notamment pour la crue de 1990), et sont cohérents avec la réalité physique du terrain (végétation, méandres...).

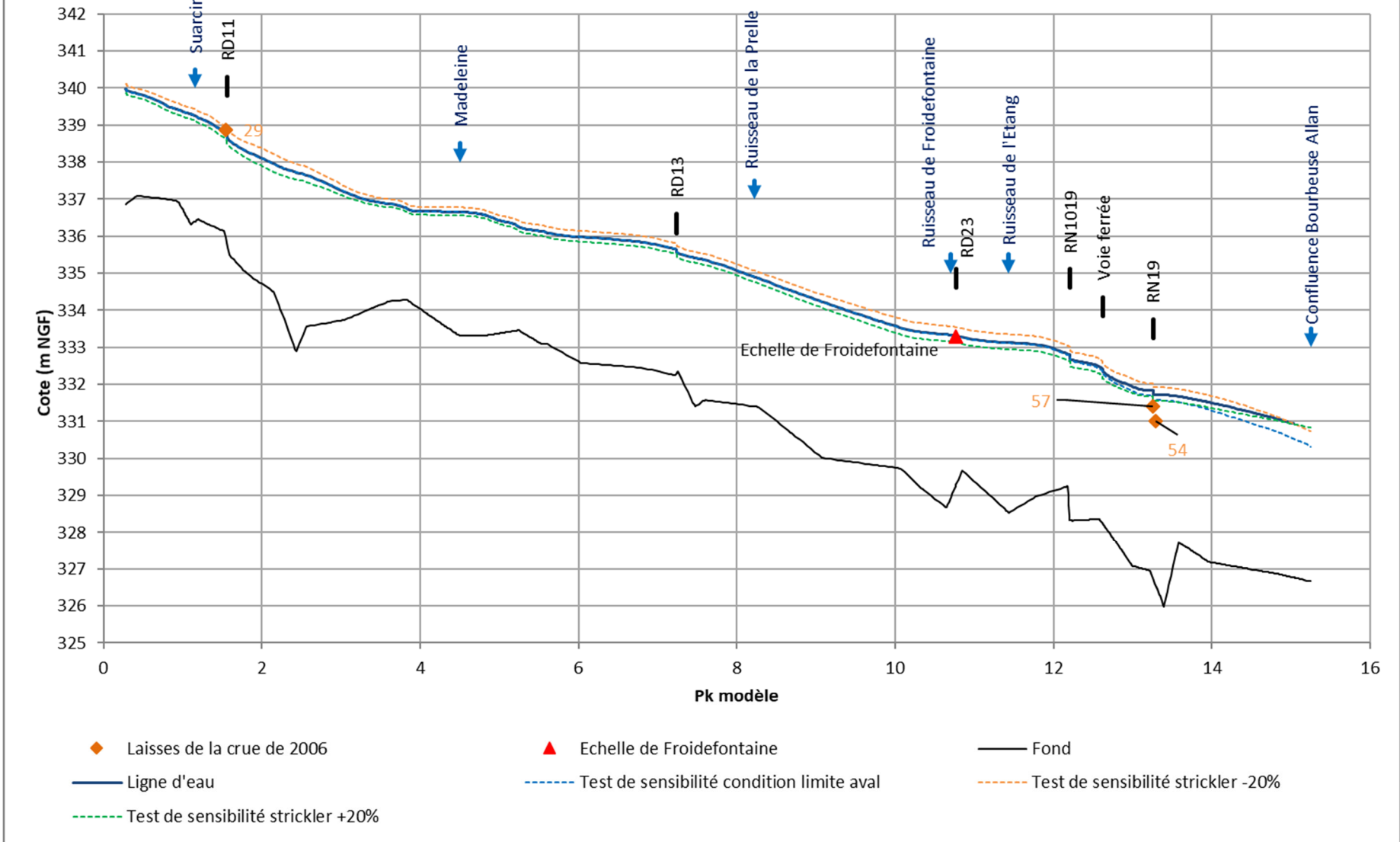
Pour la crue de 2006, sur laquelle des écarts sensibles entre les lignes d'eau calculées et certaines laisses de crue aval sont observés, un test de sensibilité est réalisé en abaissant la condition limite aval de 50cm (cf. ci-après). Le remous lié à la condition limite aval remonte sur environ 250m, jusqu'au franchissement de la voie ferrée. La ligne d'eau calculée reste nettement au-dessus des repères de crue 57 et 54 (cf. c).

Les profils en long des lignes d'eau calculées par le modèle sont présentés dans les pages ci-après.

## Crue de 1990 - Profil en long de la Saint-Nicolas et de la Bourbeuse



## Crue de 2006 - Profil en long de la Saint-Nicolas et de la Bourbeuse



Pour la crue de 1990, les écarts observés sont les suivants :

ID laisse	pk	Cote laisse (m NGF)	Cote modèle (m NGF)	Ecart (cm)
<b>28</b>	1.446	338.75	338.75	+0
<b>12</b>	10.7498	333.28	333.27	-1
<b>13*</b>	10.7498	332.98	333.27	+29
<b>65</b>	13.0892	331.68	331.55	-13
<b>56</b>	13.2584	331.52	331.42	-10
<b>66</b>	13.4451	331.35	331.40	+5
<b>55*</b>	13.4621	331.64	331.40	-24
<b>67</b>	13.6223	331.39	331.35	-4

*\* repères de crue présentant de fortes incertitudes*

Les laisses n°12 et 13 sont situées toutes deux dans la cour de l'école de la commune de Froidefontaine. Elles présentent un écart de 30 cm, et sont contradictoires. La laisse n°12 présente une fiabilité « forte » selon le cahier des fiches de laisses de crue, établi par le bureau d'étude Ginger ; elle est donc privilégiée.

Les laisses n°66 et 55 sont situées de part et d'autre du lit mineur mais présentent un écart de 29cm ; le repère 55 (situé en aval de la RN19) est cependant plus haut que le repère 56 (situé en amont de la RN19), mettant en doute sa fiabilité. La ligne d'eau modélisée est très proche du repère 66 (5cm) et est cohérente avec les laisses n°56 et 67.

Pour la crue de 2006, les écarts observés sont les suivants :

ID laisse	pk	Cote laisse (m NGF)	Cote modèle (m NGF)	Ecart (cm)
<b>29</b>	10.7498	338.87	338.79	-7
<b>57</b>	13.2584	331.42	331.73	+31
<b>54</b>	13.2934	331.02	331.72	+70
<b>Echelle de Froidefontaine</b>	10.7701	333.30	330.31	+1

Les laisses n°54 et 57 présentent une incohérence avec les laisses de la crue de 1990. En effet, cette dernière présente un débit de pointe à la station de Froidefontaine de 135 m<sup>3</sup>/s, tandis que la crue de 2006 présente un débit de pointe à cette même station de 152 m<sup>3</sup>/s. Pourtant, les laisses de la crue de 2006 sont situées 10 à 50 cm plus bas que celles de la crue de 1990.

Compte tenu du manque de données sur la ligne d'eau aval influencée par l'Allaine, un test de sensibilité a été réalisé, en abaissant de 50 cm la condition limite aval déterminée

par la hauteur normale. L'abaissement résiduel au droit de ces deux repères est inférieur à 10 cm, la ligne d'eau calculée restant nettement au-dessus.

De plus, le rapport Ginger présente plusieurs incohérences sur ces mêmes lisses : dans le rapport final, il est indiqué page 13 (tableau des données relatives aux crues historiques) que lors de la crue de 2006, « l'eau atteint 3.22m à l'échelle de Bourogne, soit 30 cm de plus qu'en 1990 », alors que dans l'annexe 4 (Fiche des repères et des lisses de crues), il est indiqué une hauteur à l'échelle de Bourogne de 3.22m pour la crue de 1990 (laisse n°56) et de 3.12m pour la crue de 2006 (laisse n°57).

Ces deux repères de crue sont donc considérés comme non fiables et ne sont pas pris en compte pour le calage du modèle.

Notons que le calage est bon au niveau de l'échelle de Froidefontaine, dont la cote mesurée est validée.

#### d) Synthèse du calage

Le tableau ci-après présente une synthèse des écarts calculés aux repères de crue retenus pour le calage.

ID laisse	Crue	pk	Cote laisse (m NGF)	Cote modèle (m NGF)	Ecart (cm)
28	1990	1.446	338.75	338.75	+0
12	1990	10.7498	333.28	333.27	-1
65	1990	13.0892	331.68	331.55	-13
56	1990	13.2584	331.52	331.42	-10
66	1990	13.4451	331.35	331.40	+5
67	1990	13.6223	331.39	331.35	-4
29	2006	10.7498	338.87	338.79	-7
<b>Echelle de Froidefontaine</b>	2006	10.7701	333.30	330.31	+1

Les écarts entre le calcul et les observations sont ainsi compris entre -13 cm et +5 cm. L'écart maximal de 13 cm est obtenu pour le repère 65 (crue de 1990), pour lequel l'indication reste qualitative (limite de l'emprise de l'inondation sur la rue de la gare à Bourogne) ; il ne s'agit pas d'une marque repérée sur un support pérenne suite à la crue.

### 5.3.5 Cartographie des zones inondables

La cartographie des zones inondées est définie par croisement entre les lignes d'eau calculées et le modèle numérique de terrain constitué à partir des données topographiques prises en compte pour la construction du modèle, pour les scénarios suivants :

- Les crues de calage de 1990 et 2003,
- Les crues caractéristiques suivantes :
  - Crue décennale,
  - Crue centennale,
  - Une crue supra centennale, en considérant des débits 1.25 fois supérieurs à ceux de la crue centennale. Ce ratio correspond à celui obtenu pour la cartographie de la zone inondable de la crue millénaire de l'Allan (cf. Cartographie du TRI de Belfort – Montbéliard, 12/2013)

Le graphique page suivante présente les lignes d'eau des crues décennale, centennale et supra centennale sur l'aval de la Saint-Nicolas et sur la Bourbeuse.

La crue centennale est largement débordante du fait de la faible pente de la Bourbeuse.

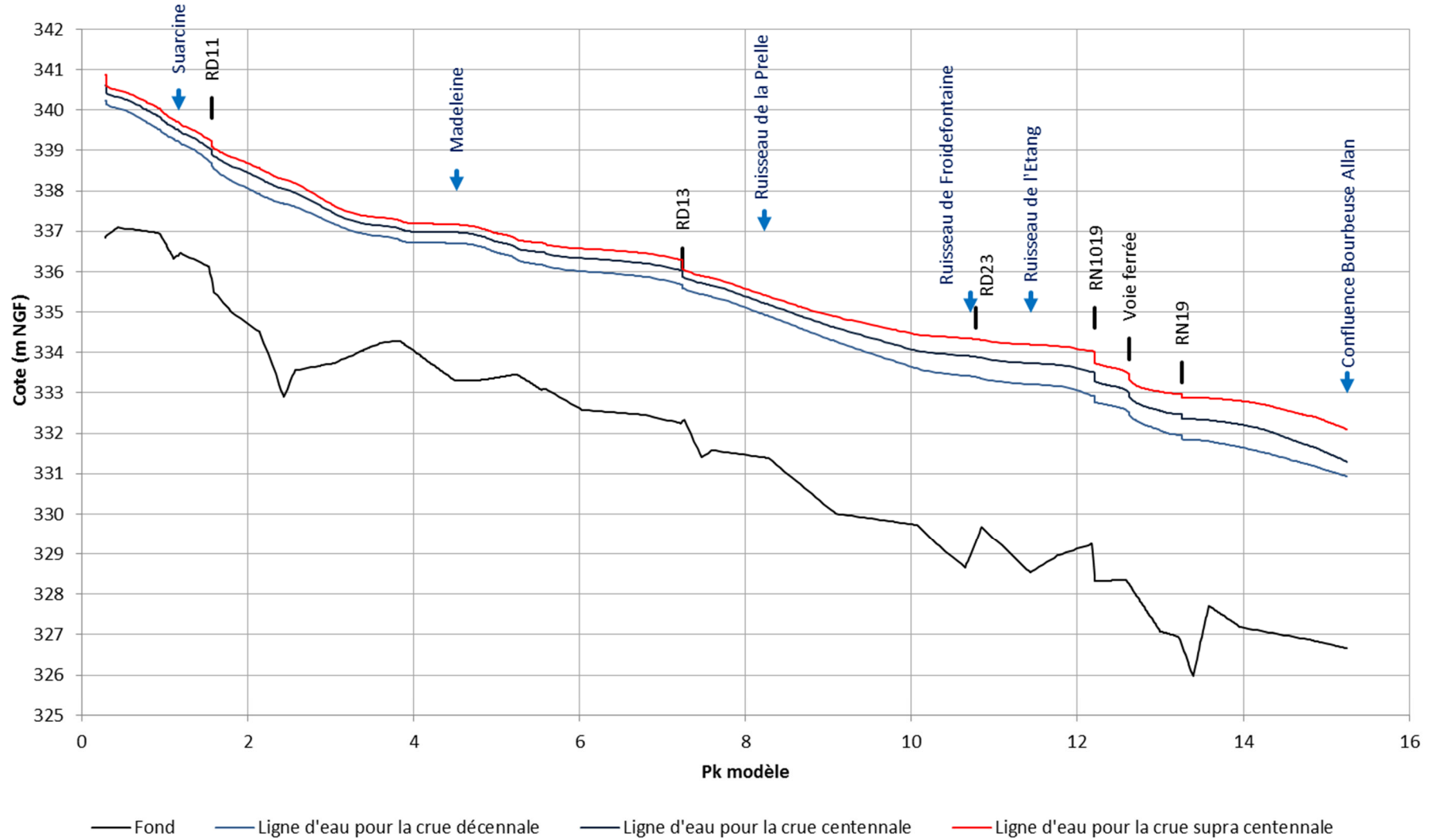
La zone inondable s'étend sur toute la vallée, s'arrêtant au niveau des coteaux en rive droite, et contre le canal du Rhône au Rhin en rive gauche.

Plusieurs secteurs situés au-delà du canal en rive gauche sont aussi touchés par l'inondation, du fait des différents ouvrages permettant aux affluents de la partie sud du bassin versant de rejoindre la Bourbeuse.

Les cartographies des enveloppes des zones inondables calculées sont présentées dans les **atlas A3 au 1/1000** annexés au présent rapport :

- **Secteur B** : définition de l'aléa par modélisation hydraulique
  - Emprise de la zone inondable pour la crue de 1990
  - Emprise de la zone inondable pour la crue de validation de mars 2006
  - Emprise de la zone inondable pour une crue décennale
  - Emprise de la zone inondable pour une crue centennale
  - Emprise de la zone inondable pour une crue supra-centennale

## Crues décennale et centennale - Profil en long de la Saint-Nicolas et de la Bourbeuse



## 5.4 SECTEUR C

### 5.4.1 Introduction

Sur le secteur C (petits affluents : Clavelière, ruisseaux de la Prelle, de l'Étang et de l'Écrevisse), la crue de 1990 est peu renseignée, ou n'a pas été ressentie comme une inondation importante.

L'établissement de la zone inondable pour la crue de référence se base sur la méthodologie hydrogéomorphologique, décrite au chapitre 3.

### 5.4.2 Analyse hydrogéomorphologique

Ce chapitre fait référence à l'atlas A3 au 1/10 000 : • Secteur C : Définition de l'aléa par méthode hydrogéomorphologique et analyse topographique Analyse hydrogéomorphologique et historique

La méthodologie mise en œuvre pour l'analyse est présentée au chapitre 3.

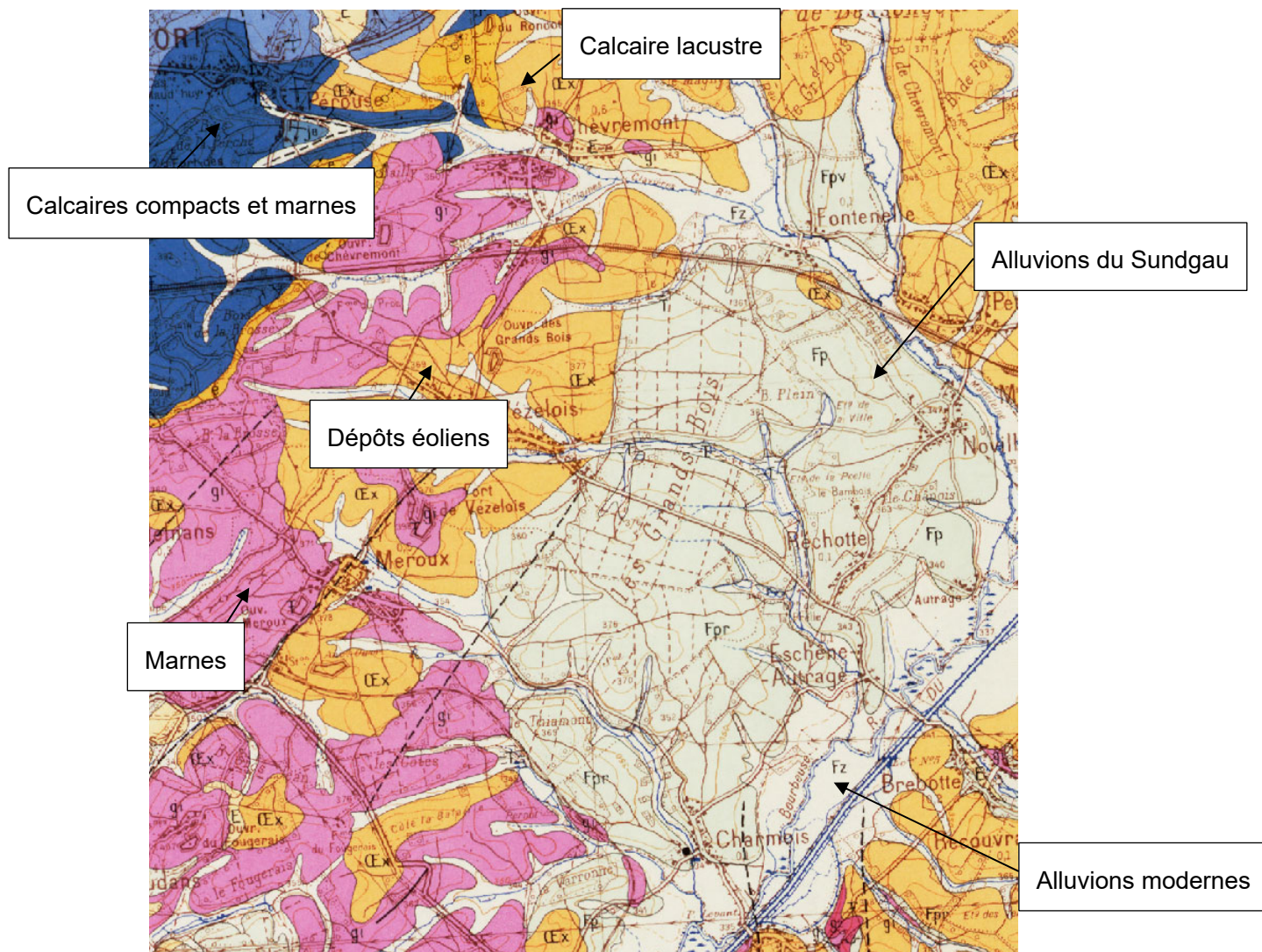


Figure 30 : Carte géologique (source BRGM 1/50 000) , la Clavelière, le ruisseau de l'étang







### c) L'Écrevisse

Les alluvions du Sundgau marquent la limite morphologique pour le lit majeur. La vallée est largement occupée par de nombreux plans d'eau artificiels agissant comme des retenues en dérivation, assurées par des remblais sur leur parement aval. Ils sont considérés inondables par l'amont et intégrés au lit majeur.



Figure 32 : Carte géologique (BRGM 1/50 000) , l'Écrevisse



Figure 33 : Photo du pont de l'Écrevisse au niveau de Grosne, cliché SETEC HYDRATEC octobre 2011

### 5.4.3 Reconstitution de l'enveloppe des zones inondables

L'enveloppe de la zone inondable est définie à partir des éléments de l'analyse hydrogéomorphologique sur l'ensemble des cours d'eau du secteur C.

La cartographie de l'emprise des zones inondables est présentée dans un **atlas A3 au 1/10 000** annexés au présent rapport :

**Secteur C** : Définition de l'aléa par méthode hydrogéomorphologique et analyse topographique  
Emprise de la zone inondable

Une attention particulière est portée à la cohérence des cotes atteintes sur les limites rives gauche et droite des cours d'eau, notamment sur les secteurs ne présentant pas d'encaissement marqué sur l'une des deux rives. L'annexe 8 présente les cotes d'eau déduites de l'analyse hydrogéomorphologique au droit de profils en travers caractéristiques des vallées des différents cours d'eau.

## 5.5 SECTEUR D : BASSIN VERSANT DE LA SUARCINE

La Suarcine, un affluent de la Saint-Nicolas, draine un bassin versant d'une surface de 44.9 km<sup>2</sup> au niveau de sa confluence avec le canal du Rhône au Rhin. Ce bassin versant, situé sur la partie sud du bassin de la Bourbeuse dans la région du Sundgau, sépare le versant alsacien du versant franc-comtois. Il n'excède pas 500 m d'altitude.

Du fait de sa position, il récolte des précipitations moins importantes que les affluents provenant des Vosges.

La Suarcine se jette directement dans le canal du Rhône au Rhin au niveau de la commune de Magny. La surverse est ensuite rejetée vers la Saint-Nicolas via un large déversoir, après avoir recueilli les eaux de la Gruebaine, de la Reppe et de la Lutter.

La Suarcine traverse les communes de Suarce, Chavanatte et de Chavannes-Les-Grands. Ce secteur n'avait pas été pris en compte dans l'étude GEI mais est rajouté pour l'étude de l'actualisation/extension du PPRI de la Bourbeuse.

### 5.5.1 Collecte de données

Un questionnaire a été adressé aux communes de Suarce, Chavanatte, Chavannes-les-Grands et Magny afin de recueillir des éléments de connaissance sur l'historique des crues de la Suarcine.

Les communes de Chavannes-les-Grands et Magny ont répondu à ce questionnaire et ont été rencontrées les 6 et 7 février 2012 ; les compte-rendus de ces entretiens sont présentés en annexe du présent document.

Les communes de Suarce et Chavanatte ont été contactées par téléphone et ont indiqué ne disposer d'aucun élément de connaissance relatif aux crues historiques à ce stade de la mission (la commune de Suarce sera rencontrée dans un second temps pour la finalisation de l'analyse hydrogéomorphologique).

Les visites de terrain n'ont pas permis de faire ressortir d'événement historique marquant. La crue de 1990, d'occurrence centennale sur l'amont des affluents provenant des Vosges, n'a causé aucun dommage sur le bassin versant de la Suarcine. Aucune laisse de crue n'a pu être recueillie au cours des entretiens et des visites de terrain.

### 5.5.2 Méthodologie proposée pour la définition de l'aléa

Sur le secteur D, secteur de la Suarcine, les investigations de terrain n'ont pas fourni d'éléments permettant de reconstituer une crue de référence. La méthode proposée pour l'élaboration des cartes d'inondation et des cartes d'aléa repose sur une approche hydrogéomorphologique décomposée en une première phase de photo interprétation, puis une phase de terrain.

### 5.5.3 Photo-interprétation, analyse hydrogéomorphologique

La stéréoscopie consiste en l'étude des photographies aériennes du bassin versant de la Suarcine. Cette étape est indispensable à la compréhension du fonctionnement du secteur d'étude et permet d'en avoir une vision d'ensemble. Cette technique utilise des photographies aériennes verticales prises par avion au cours d'une même campagne de prises de vue. Ces photographies présentent un recouvrement d'environ 60%. La vision du relief est obtenue grâce à un stéréoscope. Nous avons utilisé 5 photos aériennes de la mission du 31/12/2001, prises le 2/06/2002 à l'échelle de 1/26 250.

Des cartographies minutes ont été réalisées par interprétation du fonctionnement du cours d'eau de la Suarcine. Elles identifient les unités hydrogéomorphologiques (lit mineur et lit majeur), ainsi que les talus et l'encaissant. Sur la Suarcine, la photo-interprétation ne permet pas de définir de lit moyen.

Comme pour l'Écrevisse, les alluvions du Sundgau marquent la limite morphologique pour le lit majeur ; ces encaissants sont bien visibles notamment sur la rive droite entre Suarce et Chavanatte.

Ce chapitre fait référence à **l'atlas A3 à l'échelle 1/10 000** Secteur D : : définition de l'aléa par méthode hydrogéomorphologique : Analyse hydrogéomorphologique et historique



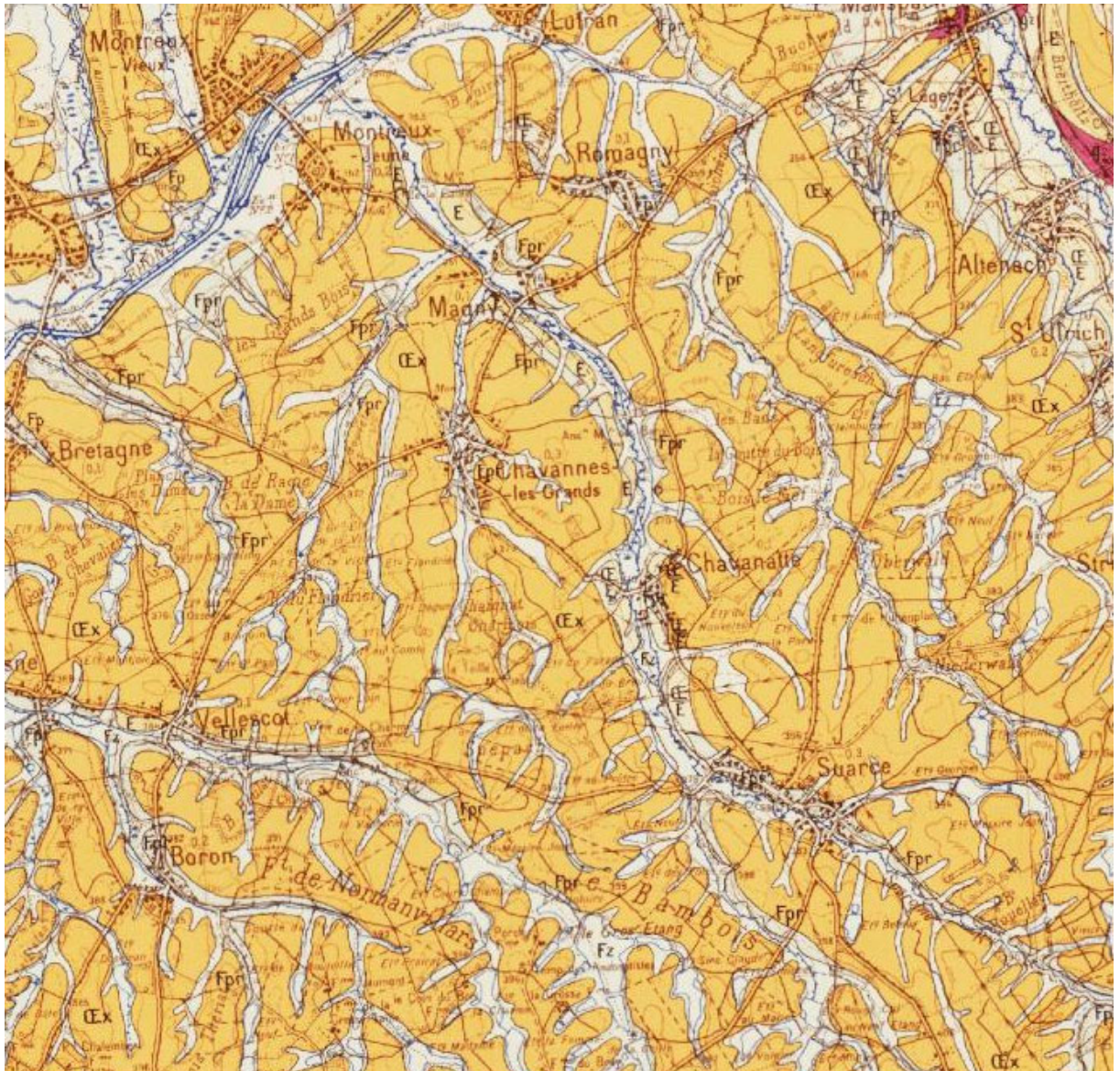


Figure 34 : Carte géologique (source BRGM, 1/50 000) : la Suarce

Le bassin de la Suarce est occupé par de nombreux étangs artificiels ; certains, endigués, sont situés dans le lit majeur de la Suarce ; ils sont localisés sur l'atlas hydrogéomorphologique.

Les ouvrages de franchissement sont également reportés sur l'atlas joint ; les voiries franchissant la vallée de la Suarce sont peu surélevées par rapport au terrain naturel, entraînant de fait un faible obstacle aux écoulements.

#### 5.5.4 Mission de terrain

Sur le terrain, la validation des cartes minutes passe par la reconnaissance des structures topographiques identifiées sur les photographies aériennes et la validation de l'interprétation des unités hydrogéomorphologiques.

Une enquête approfondie auprès de la commune de Suarce a été réalisée. La commune de Suarce présente le plus d'enjeux en zone inondable. Cette mission de terrain avec la

participation active d'un adjoint au maire de la commune de Suarce a permis d'identifier plus précisément le lit majeur.

Au cours de cette enquête de terrain, les trois communes du bassin versant de la Suarcine ont été parcourues et des riverains ont été rencontrés, ce qui a permis de préciser les limites morphologiques et les axes de crues de la Suarcine.

### **5.5.5 Reconstitution de l'enveloppe des zones inondables**

L'enveloppe de la zone inondable est définie à partir des éléments de l'analyse hydrogéomorphologique de la Suarcine.

La cartographie de l'emprise des zones inondables est présentée dans un **atlas A3 au 1/10 000** annexés au présent rapport :

**Secteur D** : définition de l'aléa par méthode hydrogéomorphologique  
Emprise de la zone inondable

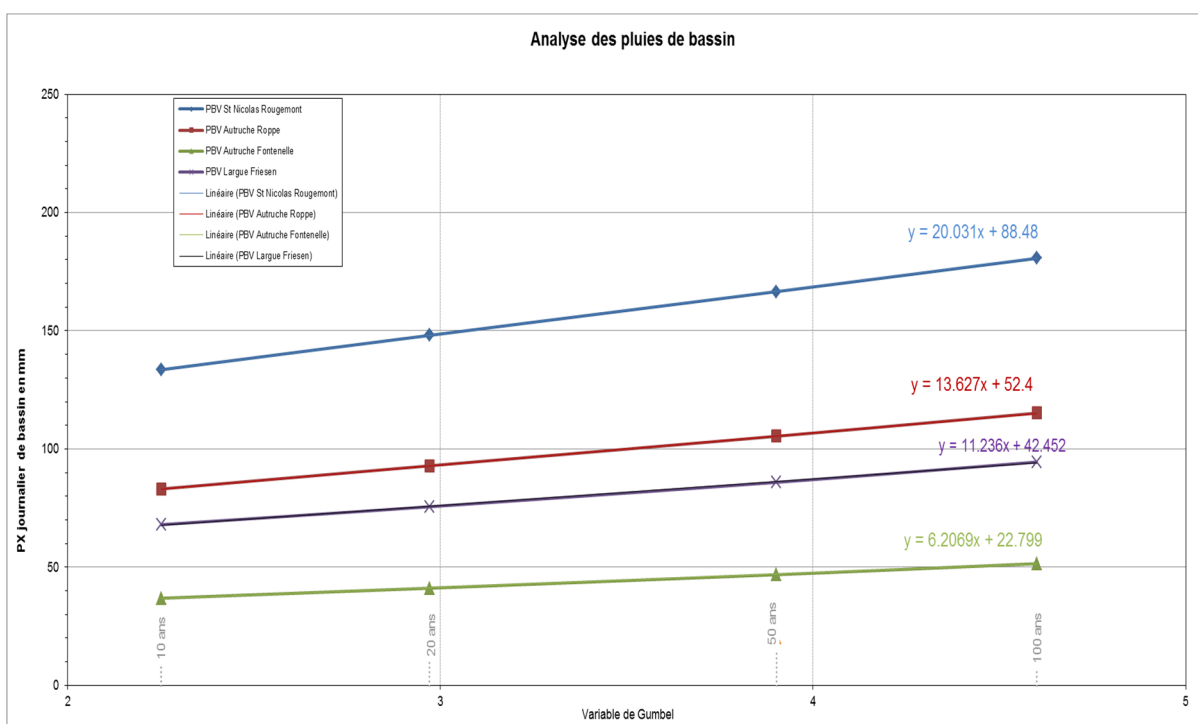


# ANNEXES

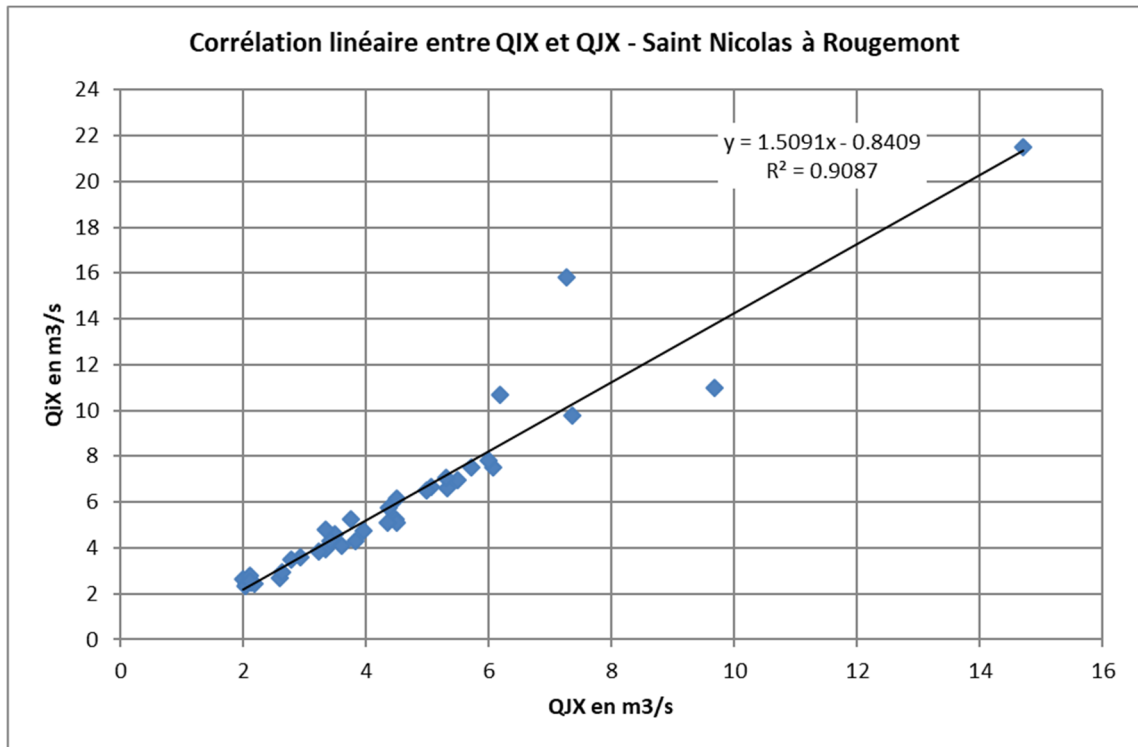


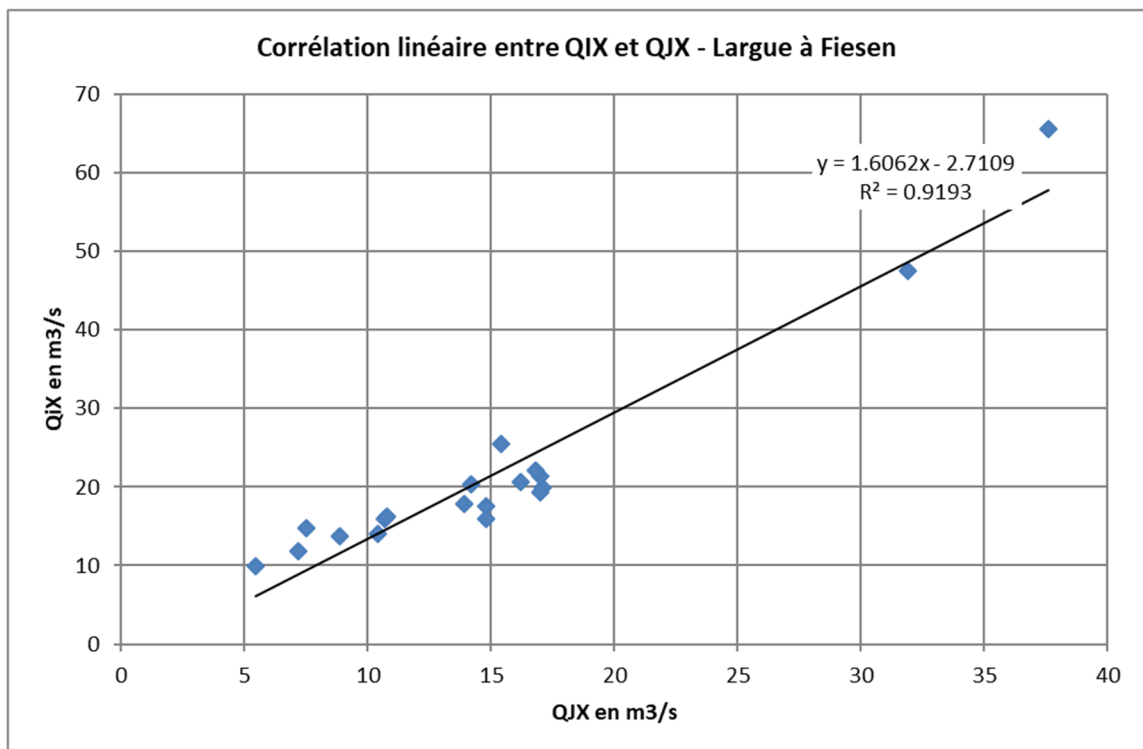
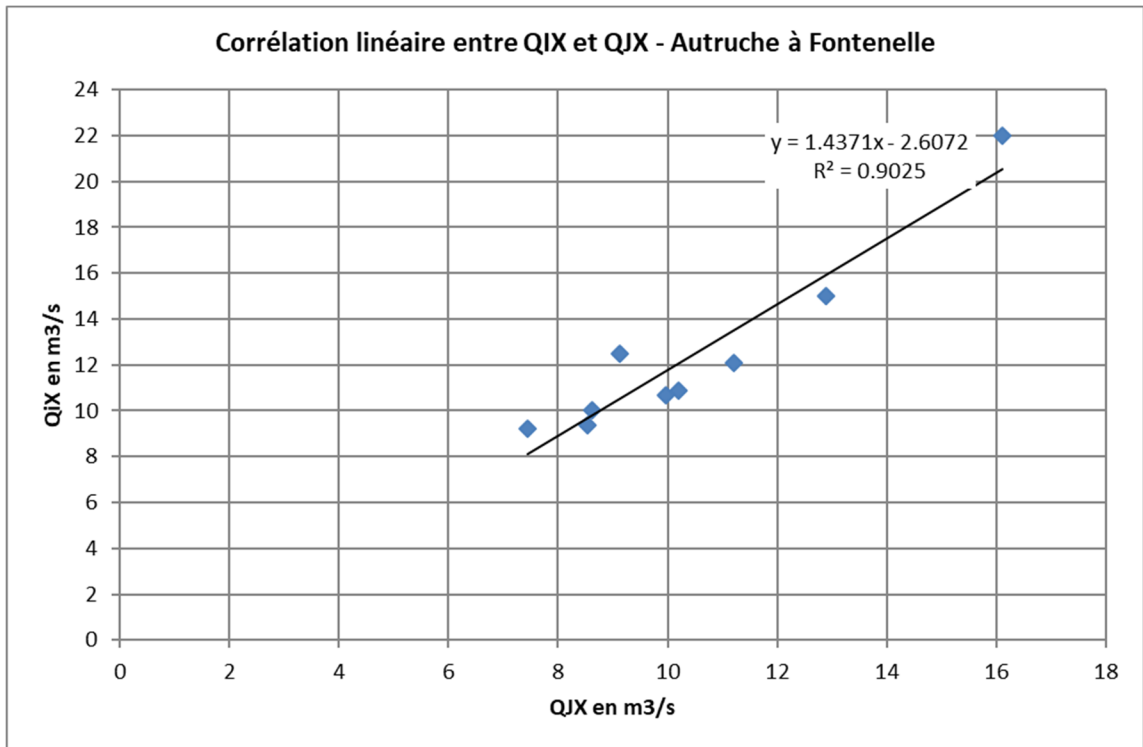
## ANNEXE 1 : CALCUL DU GRADEX DES PLUIES DE BASSIN

T (an)	u	Plucelle 24hmm	PMontbeliard 24h mm	PBelfort 24h mm	PGiromagny 24h mm	PLepuix 24h mm	PBV St Nicolas Rougemont mm	PBV Autruche Roppe mm	PBV Autruche Fontenelle mm	PBV Largue Friesen mm
10	2.25	61.00	70	60	126	142	133.52	83.10	36.88	68.02
20	2.97	67.00	78	67	141	156	148.05	92.90	41.14	75.58
50	3.90	75.00	89	76	160	174	166.58	105.40	46.86	85.92
100	4.60	82.00	98	83	175	187	180.64	115.20	51.49	94.48

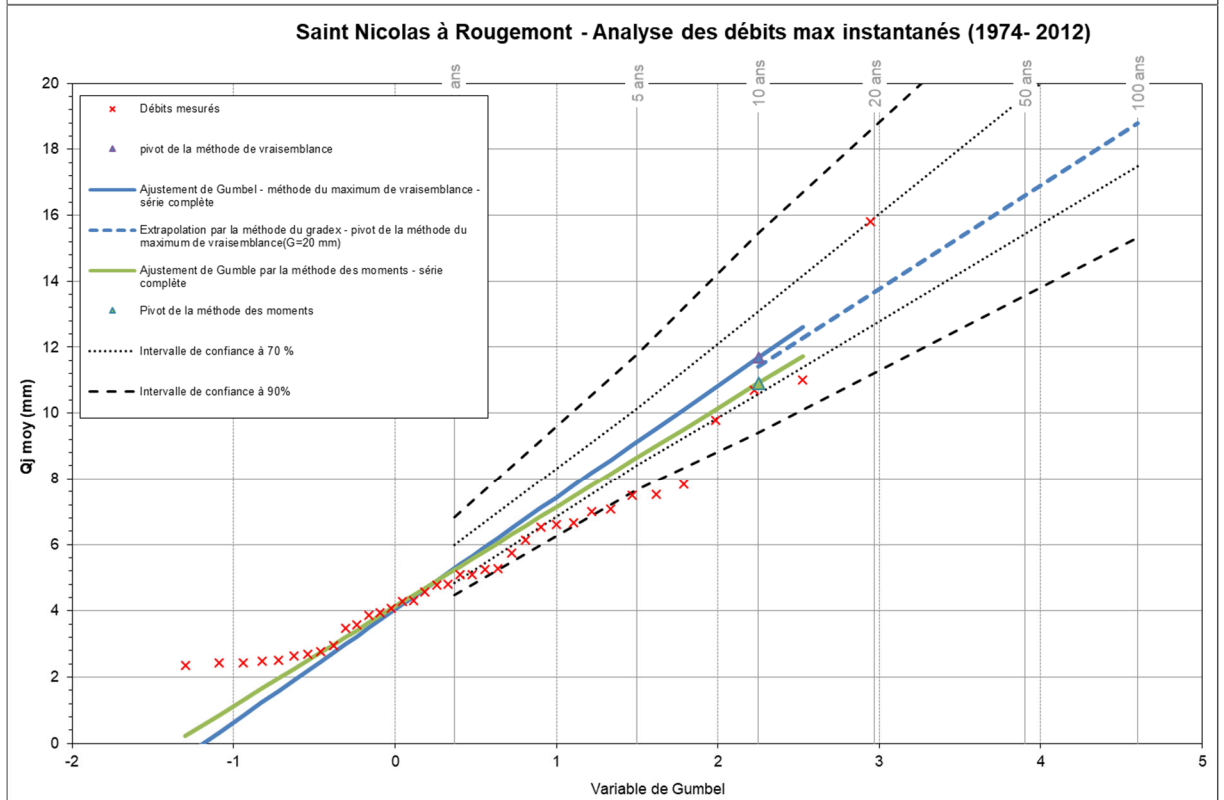
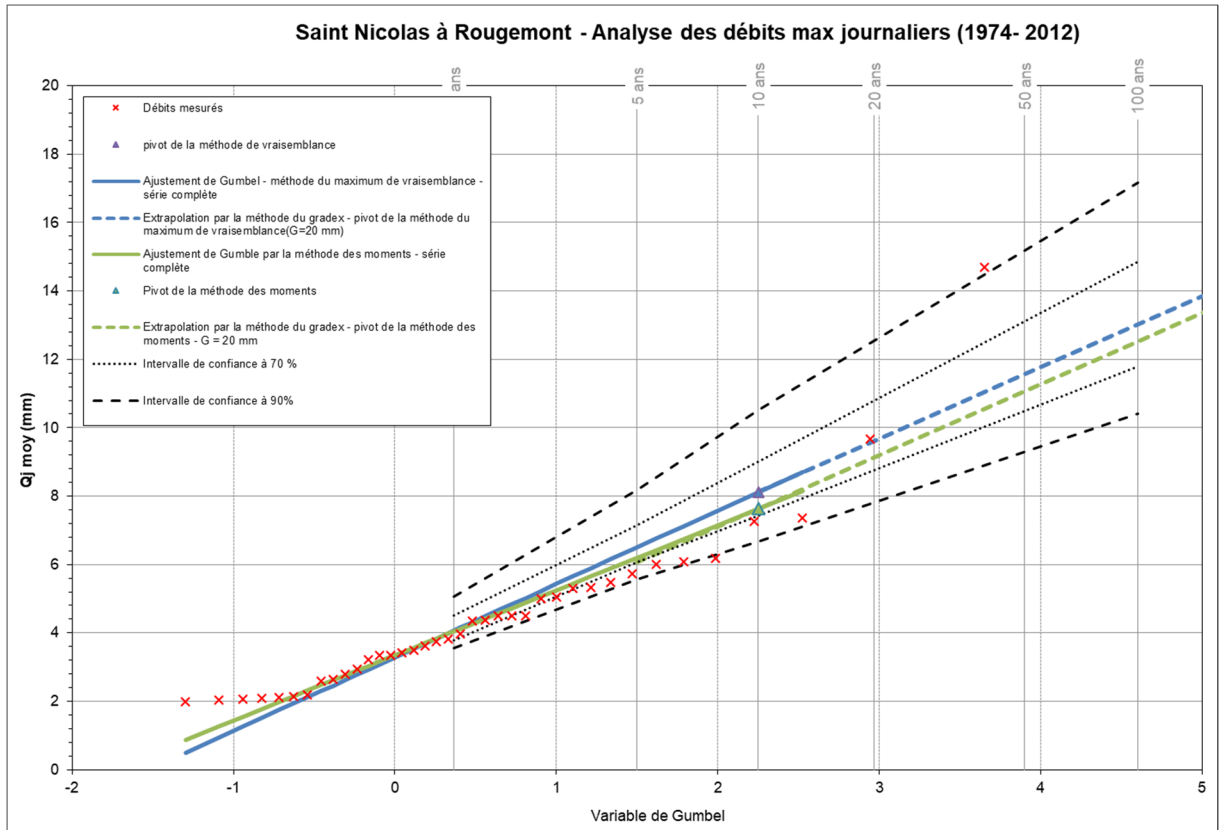


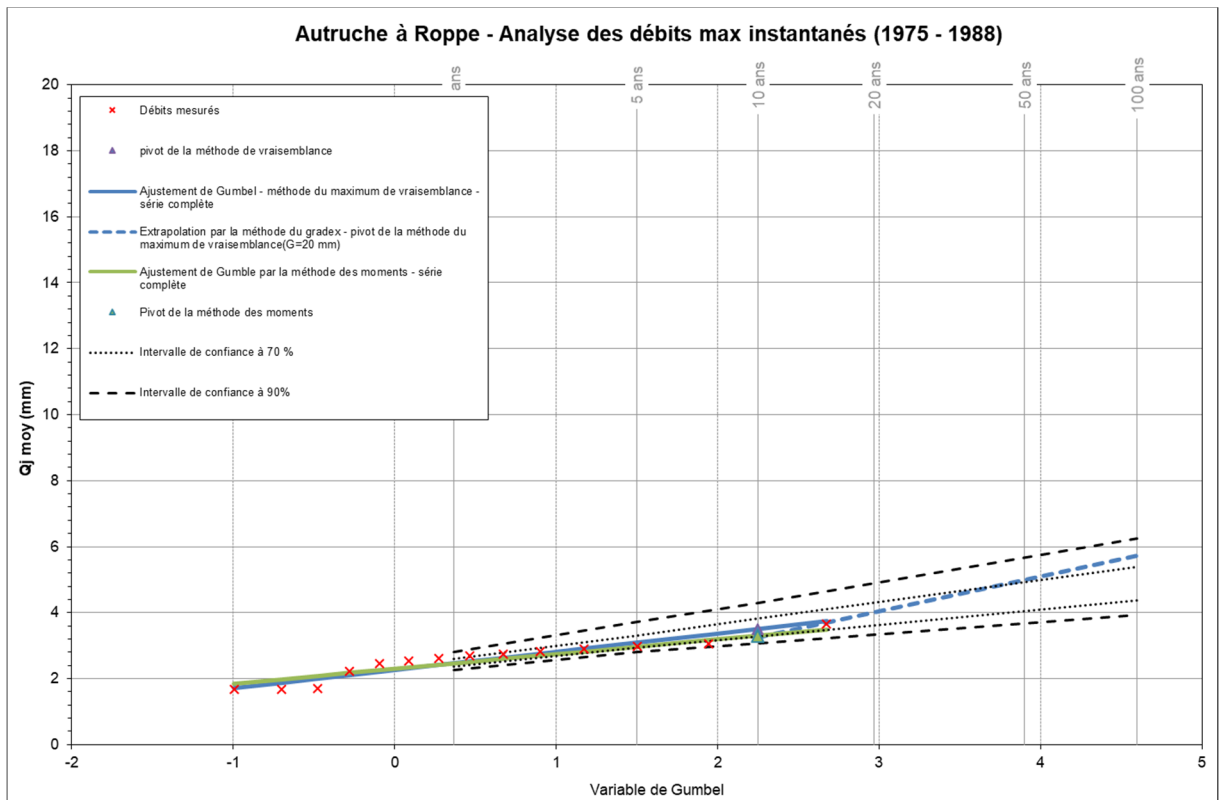
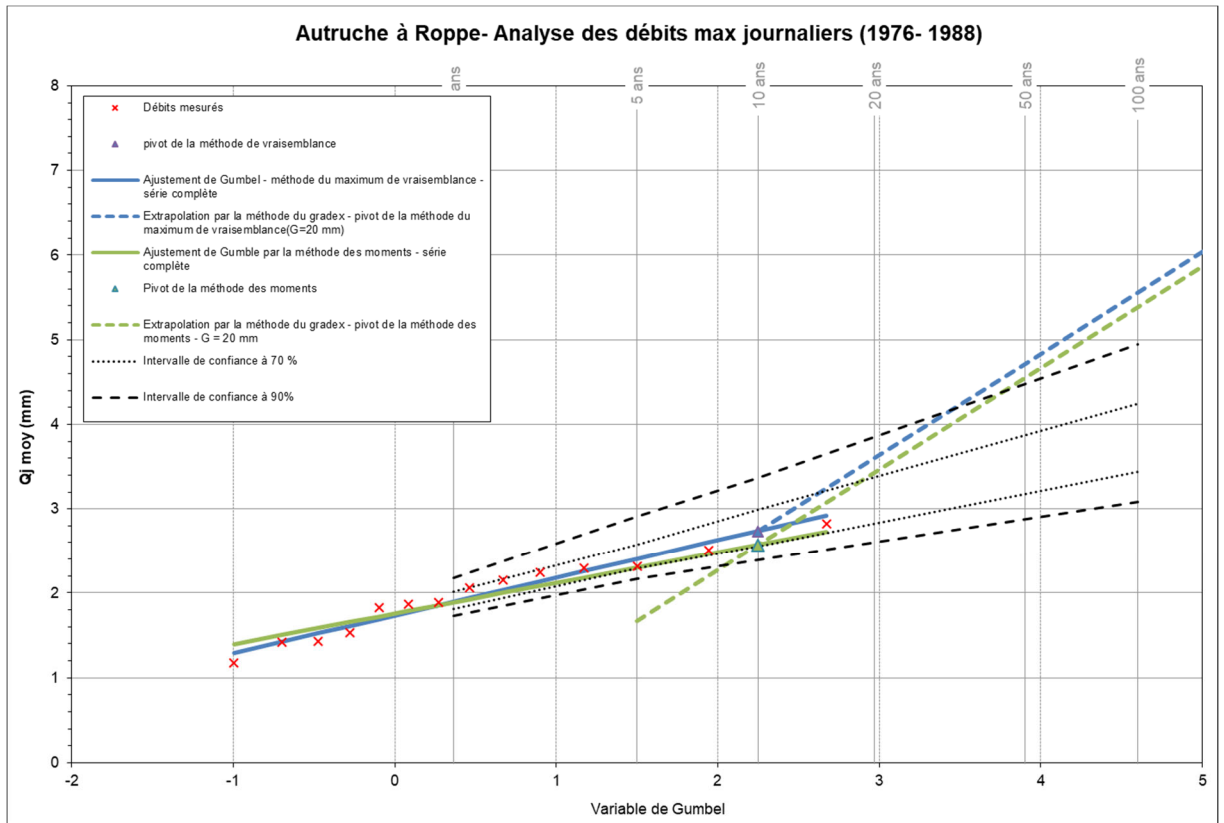
## ANNEXE 2 : CORRELATIONS LINEAIRES ENTRE QIX ET QJX



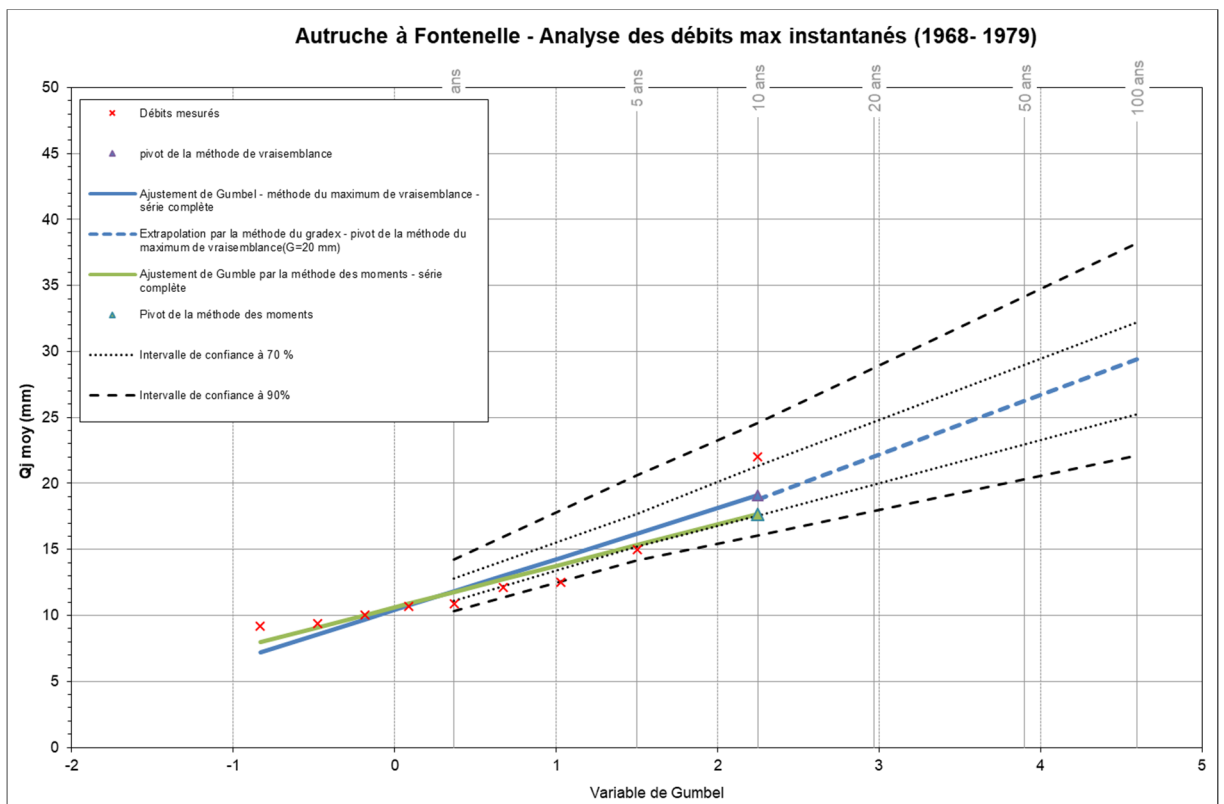
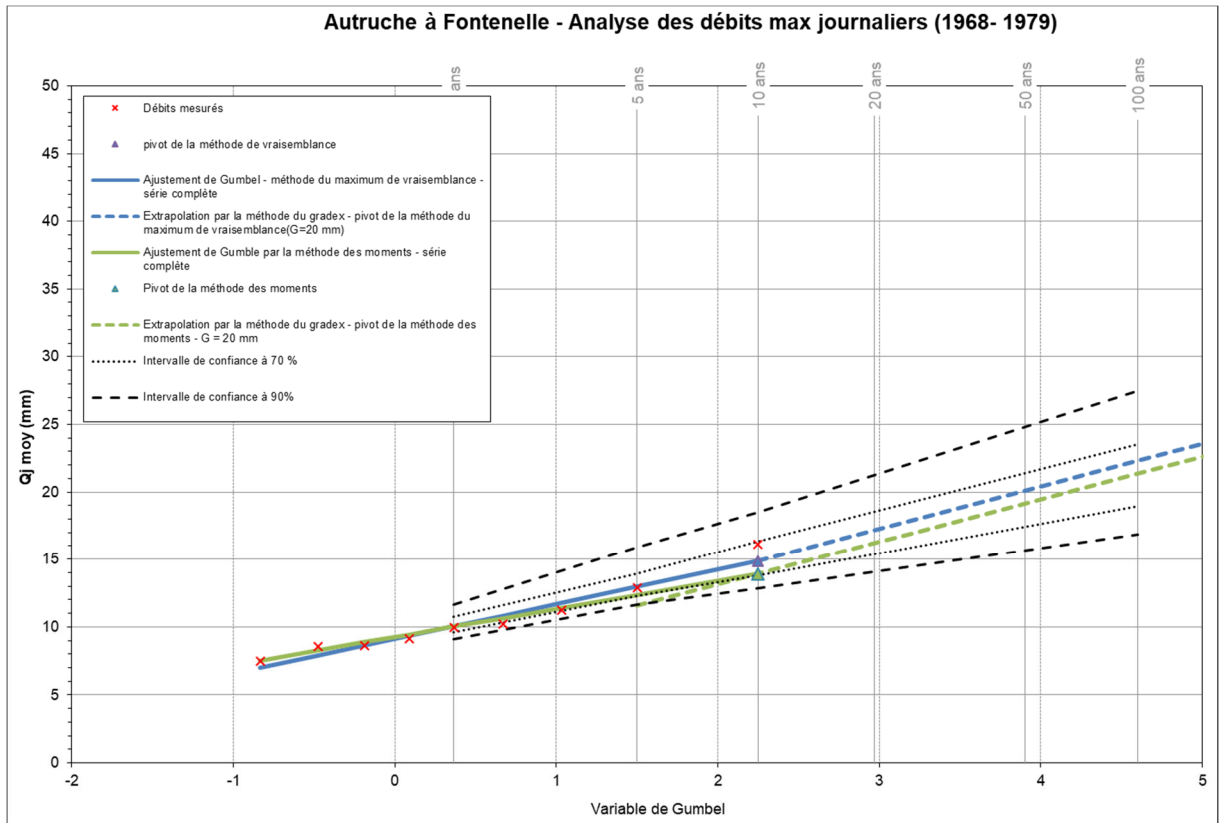


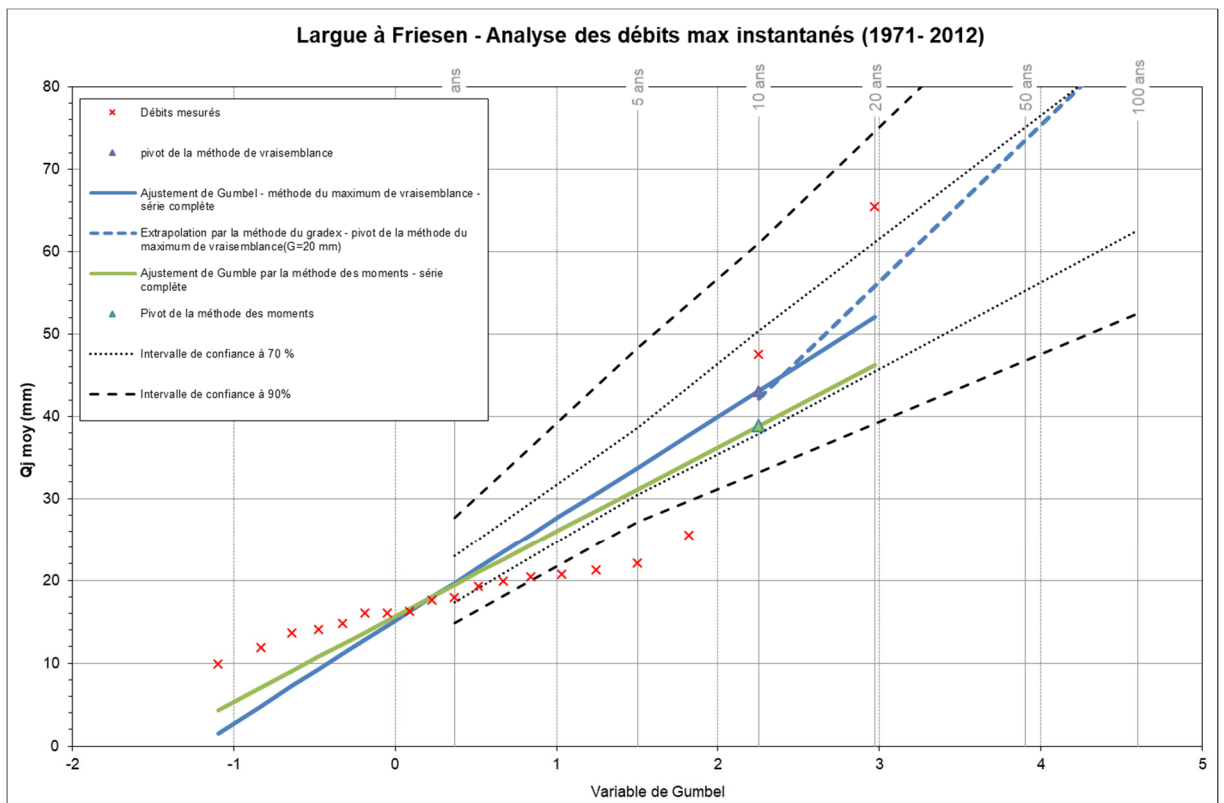
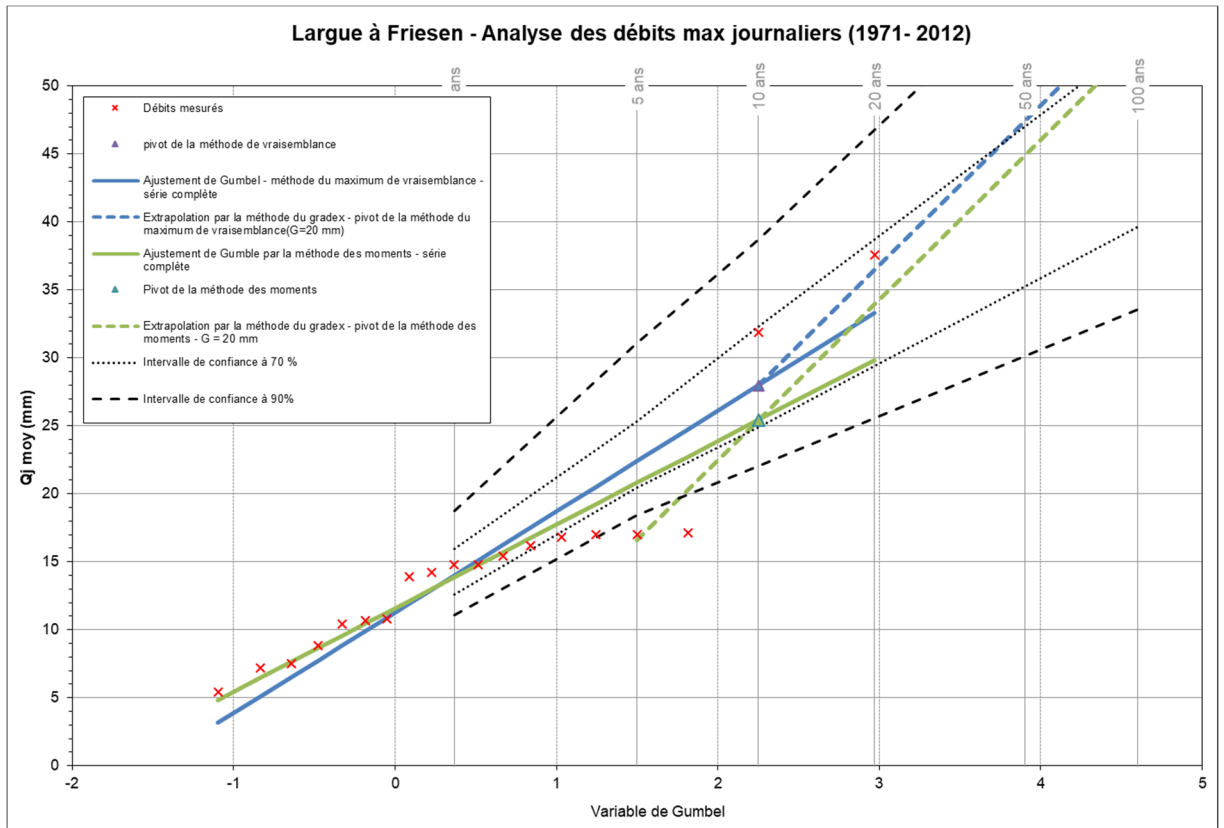
# ANNEXE 3 : AJUSTEMENTS DE GUMBEL ET EXTRAPOLATION PAR LA METHODE DU GRADEX











## ANNEXE 4 : LAISSES DE CRUE

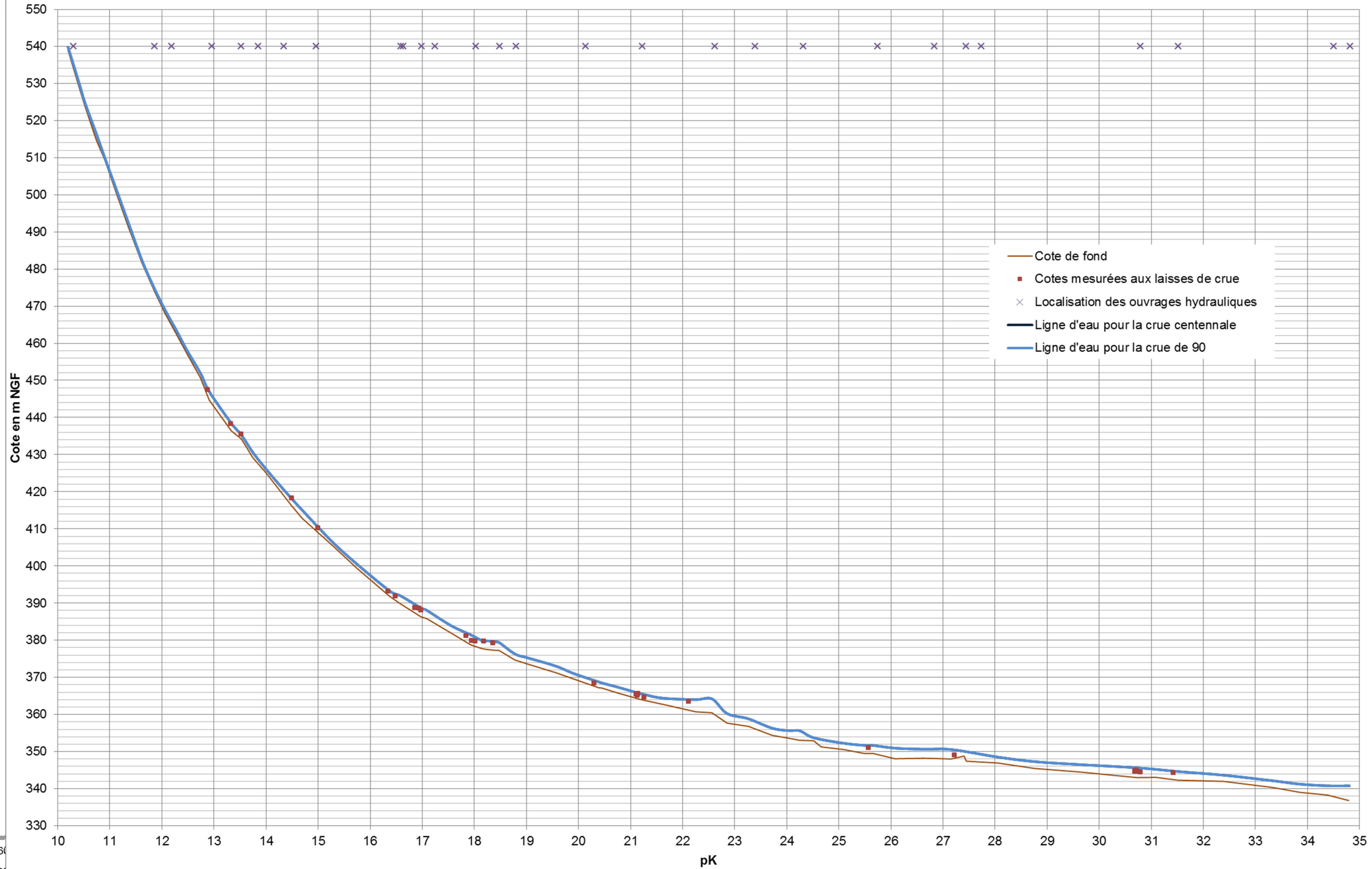
ID	Type	cours_d_eau	Commune	Date_Crue	etat	producteur	fiabilité	precision	pk	Z	iBief
17	repère	Allaine	MORVILLARS	1910	visible	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	0.000	336.09	0
11	laisse	Allaine	BOUROGNE	1973	effacé	Ginger Risque Naturel	moyenn	moyenne	0.000	333.9	0
51	laisse	Autruche	ROPPE	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	11.001	353.93	9
92	laisse	Autruche	ROPPE	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	moyenne	bonne	11.077	354.17	9
50	laisse	Autruche	ROPPE	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	11.342	353.3	9
46	laisse	Autruche	DENNEY	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	moyenne	bonne	12.435	349.56	9
45	laisse	Autruche	DENNEY	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	12.533	349.2	9
31	laisse	Autruche	BESSONCOURT	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	moyenne	moyenne	13.863	347.5	10
49	laisse	Autruche	BESSONCOURT	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	moyenne	faible	13.924	347.61	10
61	laisse	Autruche	BESSONCOURT	crues fréquentes	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	14.773	345.25	10
62	laisse	Autruche	BESSONCOURT	crues fréquentes	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	14.973	344.4	10
30	laisse	Autruche	CHEVREMONT	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	moyenne	bonne	17.150	342.66	10
58	laisse	Autruche	FONTELLE	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	18.546	340.98	11
13	repère	Bourbeuse	FROIDEFONTAINE	1990, 1994	effacé	Ginger Risque Naturel	moyenne	bonne	44.705	332.98	3
12	laisse	Bourbeuse	FROIDEFONTAINE	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	moyenne	bonne	44.708	333.28	3
43	laisse	Bourbeuse	BOUROGNE	2006	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	46.826	332.13	3
65	laisse	Bourbeuse	BOUROGNE	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	47.049	331.68	3
56	laisse	Bourbeuse	BOUROGNE	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	47.217	331.516	3
57	laisse	Bourbeuse	BOUROGNE	mars-06	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	47.217	331.416	3
54	laisse	Bourbeuse	BOUROGNE	09-mars-06	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	47.251	331.02	3
66	laisse	Bourbeuse	BOUROGNE	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	47.404	331.35	3
55	laisse	Bourbeuse	BOUROGNE	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	47.421	331.64	3
67	laisse	Bourbeuse	BOUROGNE	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	moyenne	47.570	331.39	3
18	laisse	Ecrevisse	GROSNE	1910	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	moyenne	11.597	352.3	18
19	laisse	Ecrevisse	GROSNE	1999	visible	Ginger Risque Naturel	moyenne	moyenne	11.610	352.23	18
25	laisse	Ecrevisse	GROSNE	1999	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	11.643	352.25	18
64	laisse	Ecrevisse	BREBOTTE	1999	visible	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	13.732	339.19	18
22	laisse	Ecrevisse	BREBOTTE	1999	effacé	Ginger Risque Naturel	faible	nette	13.865	0	18
20	laisse	Ecrevisse	BREBOTTE	1999, et 14 et 16 nov 2002	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	13.980	337.95	18
21	laisse	Ermitte	PHAFFANS	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	12.063	348.68	12
63	laisse	Ermitte	PHAFFANS	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	faible	12.194	348.33	12
53	laisse	Etang	CHARMOIS	févr-99	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	14.318	330.3	17
69	laisse	Madeleine	ETUEFFONT	Aout 2003	visible	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	10.548	461.15	7
70	laisse	Madeleine	ETUEFFONT	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	10.757	458.1	7
71	laisse	Madeleine	ETUEFFONT	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	10.960	454.34	7
72	laisse	Madeleine	ETUEFFONT	14-18 février 1990	visible	Ginger Risque Naturel	bonne	moyenne	11.171	450.34	7
73	laisse	Madeleine	ETUEFFONT	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	moyenne	11.268	449.05	7
52	laisse	Madeleine	ETUEFFONT	1993	effacé	Ginger Risque Naturel	moyenne	bonne	11.403	446.68	7
74	laisse	Madeleine	ETUEFFONT	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	12.360	429.33	7
75	laisse	Madeleine	ETUEFFONT	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	12.574	426.97	7
76	laisse	Madeleine	ETUEFFONT	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	faible	12.812	422.23	7
84	laisse	Madeleine	ANJOUTEY	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	13.988	407.61	7
83	laisse	Madeleine	ANJOUTEY	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	14.630	400.98	7
82	laisse	Madeleine	ANJOUTEY	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	15.143	396.04	7
80	laisse	Madeleine	MENONCOURT	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	16.888	379.71	7
81	laisse	Madeleine	MENONCOURT	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	moyenne	moyenne	16.933	380.19	7
79	laisse	Madeleine	BETHONVILLIER	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	18.003	371.47	7
27	laisse	Madeleine	Bethonvillier	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	moyenne	moyenne	18.235	369.87	7
59	laisse	Madeleine	MENONCOURT	déc-01	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	19.524	362.72	7
48	laisse	Madeleine	MENONCOURT	14-18 février 1990	visible	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	19.527	363.71	7
60	laisse	Madeleine	MENONCOURT	janv-02	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	moyenne	19.551	362.2	7
47	laisse	Madeleine	LACOLLONGE	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	moyenne	19.870	362.61	7
78	laisse	Madeleine	BETHONVILLIER	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	19.927	361.77	7
33	laisse	Madeleine	FONTELLE	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	moyenne	moyenne	26.739	340.76	7
32	laisse	Madeleine	PETIT-CROIX	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	moyenne	moyenne	26.857	340.92	7
35	laisse	Madeleine	PETIT-CROIX	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	forte	26.961	341.39	7
34	laisse	Madeleine	PETIT-CROIX	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	moyenne	moyenne	27.008	340.67	7
44	laisse	Madeleine	NOVILLARD	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	moyenne	28.524	339.6	8

ID	Type	cours d'eau	Commune	Date_Crue	etat	producteur	fiabilité	precision	pk	Z	iBief
42	laisse	Perches	MENONCOURT	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	moyenne	bonne	18.429	368.78	7
36	laisse	Perches	MENONCOURT	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	moyenne	forte	18.429	368.78	7
77	laisse	Saint Nicolas	ROUGEMONT	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	12.885	447.47	1
91	laisse	Saint-Nicolas	Rougemont-le-Chateau	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	13.321	438.33	1
90	laisse	Saint-Nicolas	Rougemont-le-Chateau	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	moyenne	bonne	13.521	435.5	1
14	repère	Saint-Nicolas	LEVAL	14-18 février 1990	visible	Ginger Risque Naturel	bonne	moyenne	14.494	418.19	1
89	laisse	Saint-Nicolas	LEVAL	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	moyenne	bonne	14.998	410.14	1
88	laisse	Saint-Nicolas	Petitefontaine	14-18 février 1990	peinture	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	16.340	393.14	1
86	laisse	Saint-Nicolas	Petitefontaine	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	moyenne	16.484	391.88	1
85	laisse	Saint-Nicolas	Petitefontaine	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	16.862	388.66	1
23	repère	Saint-Nicolas	PETITEFONTAINE	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	moyenne	moyenne	16.948	388.626	1
87	laisse	Saint-Nicolas	Petitefontaine	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	moyenne	16.980	388.03	1
5	laisse	Saint-Nicolas	LACHAPELLE-SOUS-ROUGEMONT	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	17.846	381.17	1
3	laisse	Saint-Nicolas	LACHAPELLE-SOUS-ROUGEMONT	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	17.951	379.88	1
4	laisse	Saint-Nicolas	LACHAPELLE-SOUS-ROUGEMONT	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	18.024	379.78	1
2	laisse	Saint-Nicolas	LACHAPELLE-SOUS-ROUGEMONT	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	18.187	379.72	1
1	laisse	Saint-Nicolas	LACHAPELLE-SOUS-ROUGEMONT	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne +/-5cm	18.356	379.28	1
7	laisse	Saint-Nicolas	ANGEOT	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	moyenne	moyenne	20.299	368.37	1
9	laisse	Saint-Nicolas	ANGEOT	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	forte	bonne	21.113	365.42	1
26	laisse	Saint-Nicolas	ANGEOT	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	faible	bonne	21.131	365.18	1
6	laisse	Saint-Nicolas	ANGEOT	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	moyenne	bonne	21.142	365.533	1
8	laisse	Saint-Nicolas	ANGEOT	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	moyenne	moyenne	21.258	364.63	1
10	laisse	Saint-Nicolas	VAUTHIERMONT	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	moyenne	moyenne	22.123	363.53	1
15	laisse	Saint-Nicolas	FONTAINE	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	moyenne	bonne	25.575	351.06	2
24	laisse	Saint-Nicolas	FONTAINE	2001	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	27.223	348.99	2
37	laisse	Saint-Nicolas	FOUSSEMAGNE	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	moyenne	moyenne	30.687	344.83	2
40	laisse	Saint-Nicolas	FOUSSEMAGNE	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	moyenne	moyenne	30.691	344.66	2
39	laisse	Saint-Nicolas	FOUSSEMAGNE	14-18 février 1990	visible	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	30.707	344.59	2
68	laisse	Saint Nicolas	FOUSSEMAGNE	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	moyenne	30.712	344.94	2
38	laisse	Saint-Nicolas	FOUSSEMAGNE	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	moyenne	bonne	30.740	344.56	2
41	laisse	Saint-Nicolas	FOUSSEMAGNE	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	moyenne	bonne	30.797	344.395	2
16	laisse	Saint-Nicolas	CUNELIERES	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	moyenne	bonne	31.429	344.305	2
28	laisse	Saint-Nicolas	MONTREUX-CHATEAU	14-18 février 1990	effacé	Ginger Risque Naturel	moyenne	bonne	35.343	338.75	2
29	laisse	Saint-Nicolas	MONTREUX-CHATEAU	2006?	effacé	Ginger Risque Naturel	bonne	bonne	35.643	338.865	2

ANNEXE 5 : PROFILS EN LONG DES AFFLUENTS DE LA BOURBEUSE,  
SECTEUR A

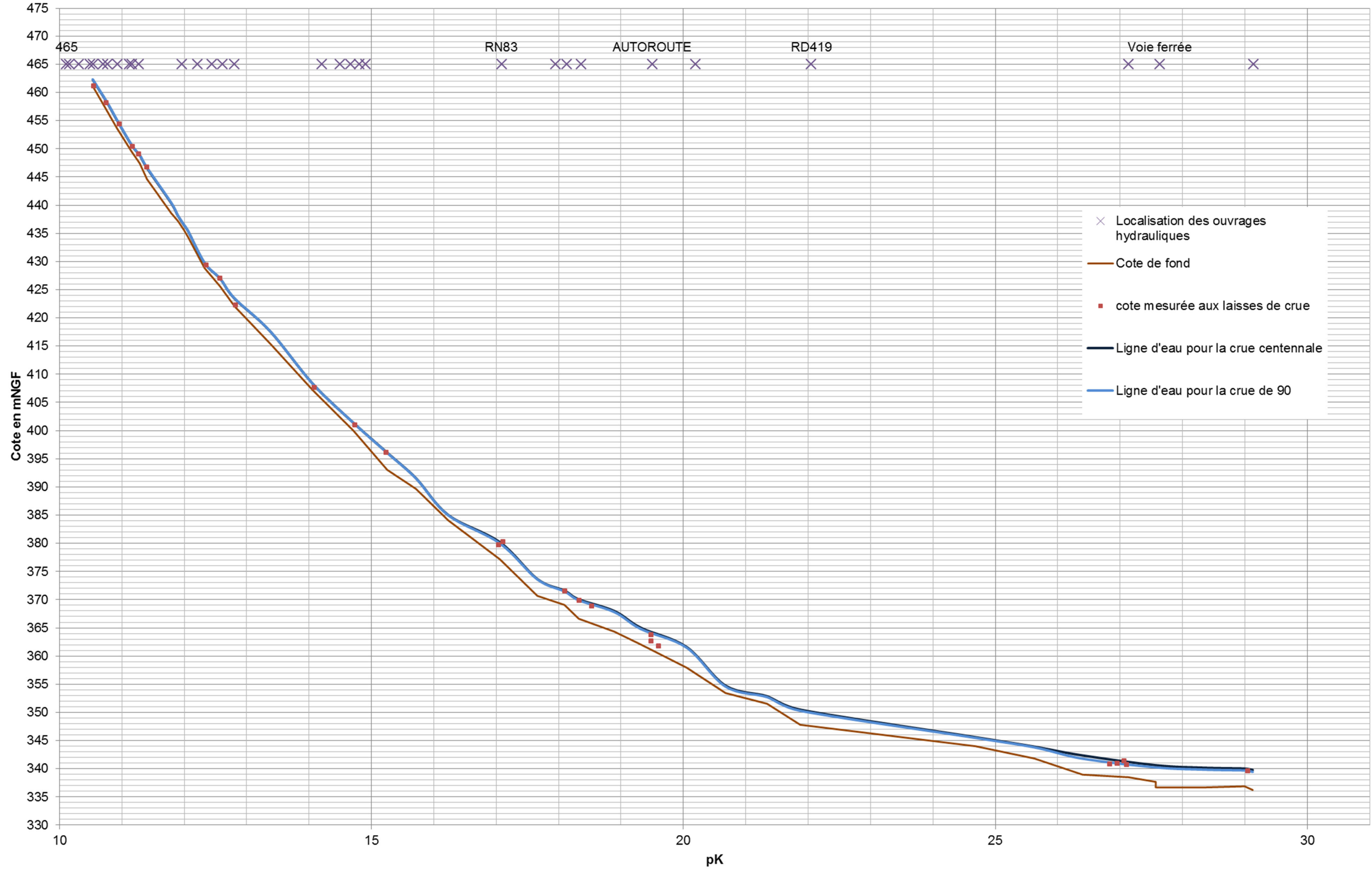


# Profil en long de la Saint Nicolas

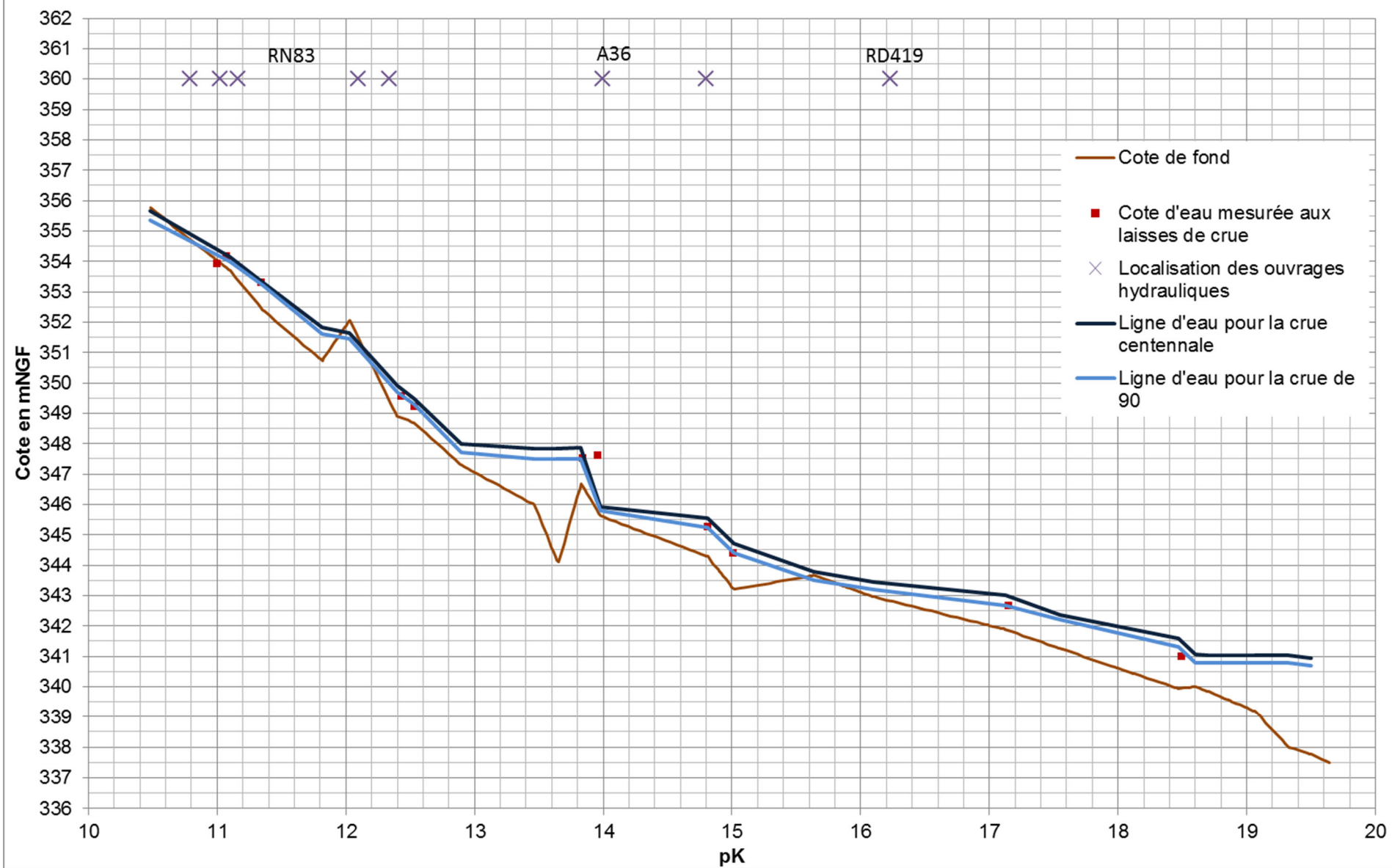




# Profil en long de la Madeleine



## Profil en long de l'Autruche



## ANNEXE 6 : SECTEUR A - DETAILS DES CALCULS AUX PROFILS EN

TRAVERS DES LIGNES D'EAU ET DES VITESSES POUR LA CRUE DE 1990 ET

POUR LA CRUE CENTENNALE

Cours d'eau	Label	Bief	Pk	Kmin	Coefficient de Strickler en lit majeur	Cote d'eau pour la crue de 1990	Cote d'eau pour la crue centennale
Saint-Nicolas	PT 1 10.196	1	10.1960	18	8	539.84	539.76
Saint-Nicolas	PT 1 10.4122	1	10.4122	18	8	530.02	529.92
Saint-Nicolas	PT 1 10.5194	1	10.5194	18	8	524.95	524.88
Saint-Nicolas	PT 1 10.7406	1	10.7406	18	8	516.48	516.38
Saint-Nicolas	PT 1 10.9108	1	10.9108	18	8	509.68	509.64
Saint-Nicolas	PT 1 11.1298	1	11.1297	18	8	501.25	501.19
Saint-Nicolas	PT 1 11.3555	1	11.3554	18	8	492.50	492.42
Saint-Nicolas	PT 1 11.6185	1	11.6184	18	8	482.37	482.27
Saint-Nicolas	PT 1 11.8521	1	11.8521	18	8	474.87	474.82
Saint-Nicolas	PT 1 12.0612	1	12.0612	18	8	469.13	468.92
Saint-Nicolas	PT 1 12.2709	1	12.2709	18	8	463.74	463.64
Saint-Nicolas	PT 1 12.4771	1	12.4771	18	8	458.25	458.18
Saint-Nicolas	PT 1 12.7401	1	12.7401	18	8	452.10	451.93
Saint-Nicolas	PT 1 12.9066	1	12.9066	18	8	447.20	447.03
Saint-Nicolas	PT 1 13.3345	1	13.3345	18	8	438.45	438.41
Saint-Nicolas	PT 1 13.535	1	13.5255	18	8	435.36	435.30
Saint-Nicolas	PT 1 13.7467	1	13.7467	18	8	430.68	430.57
Saint-Nicolas	PT 1 14.0001	1	14.0000	15	6	426.10	426.09
Saint-Nicolas	PT 1 14.218	1	14.2181	15	6	422.51	422.48
Saint-Nicolas	PT 1 14.483	1	14.4831	15	6	418.30	418.27
Saint-Nicolas	PT 1 14.6934	1	14.6921	18	8	415.10	415.07
Saint-Nicolas	PT 1 15.264	1	15.2697	28	15	406.54	406.54
Saint-Nicolas	PT 1 15.6709	1	15.7385	28	15	400.58	400.58
Saint-Nicolas	PT 1 16.276	1	16.3796	28	15	393.20	393.23
Saint-Nicolas	PT 1 16.4827	1	16.5864	28	15	391.90	391.94
Saint-Nicolas	PT 1 16.8728	1	16.9764	28	15	388.65	388.68
Saint-Nicolas	PT 1 16.9793	1	17.0830	28	15	388.03	388.08
Saint-Nicolas	PT 1 17.4527	1	17.5564	18	8	383.85	383.90
Saint-Nicolas	PT 1 17.8282	1	17.9318	18	8	381.40	381.46
Saint-Nicolas	PT 1 18.0448	1	18.1484	18	8	379.78	379.89
Saint-Nicolas	PT 1 18.1505	1	18.2542	18	8	379.72	379.84
Saint-Nicolas	PT 1 18.3563	1	18.4069	18	8	379.41	379.55
Saint-Nicolas	PT 1 18.3679	1	18.4715	18	8	379.28	379.43
Saint-Nicolas	PT 1 18.6735	1	18.7772	26	12	376.27	376.32
Saint-Nicolas	PT 1 18.9174	1	19.0210	26	12	375.19	375.27
Saint-Nicolas	PT 1 19.4559	1	19.5595	30	18	373.00	373.06
Saint-Nicolas	PT 1 19.8166	1	19.9203	30	18	370.93	370.98
Saint-Nicolas	PT 1 20.2889	1	20.3926	30	18	368.70	368.76
Saint-Nicolas	PT 1 20.3438	1	20.4474	30	18	368.44	368.50
Saint-Nicolas	PT 1 20.6658	1	20.7695	30	18	367.24	367.30
Saint-Nicolas	PT 1 21.1242	1	21.2279	30	18	365.40	365.52
Saint-Nicolas	PT 1 21.5295	1	21.6331	30	18	364.31	364.39
Saint-Nicolas	PT 1 22.1481	1	22.2518	30	18	363.45	364.02
Saint-Nicolas	PT 1 22.6263	1	22.5623	30	18	363.40	364.23
Saint-Nicolas	PT 1 22.7482	1	22.8519	30	18	360.10	360.28
Saint-Nicolas	PT 1 23.16	1	23.2637	30	18	358.75	358.85

Saint-Nicolas	PT 1	23.6145	1	23.7181	30	18	356.16	356.31
Saint-Nicolas	PT 1	23.9318	1	24.0355	30	18	355.43	355.66
Saint-Nicolas	PT 1	24.1478	1	24.2514	30	18	355.37	355.60
Saint-Nicolas	PT 1	24.4115	1	24.5151	18	8	353.50	353.75
Saint-Nicolas	PT 1	24.6609	1	24.6609	18	8	352.89	353.01
Saint-Nicolas	PT 2	25.0055	2	25.0920	18	8	352.11	352.26
Saint-Nicolas	PT 2	25.4062	2	25.5082	18	8	351.27	351.67
Saint-Nicolas	PT 2	25.5678	2	25.6698	18	8	351.22	351.64
Saint-Nicolas	PT 2	25.993	2	26.0950	18	8	350.69	350.92
Saint-Nicolas	PT 2	26.555	2	26.6570	30	15	350.44	350.65
Saint-Nicolas	PT 2	27.0697	2	27.1717	30	15	350.38	350.56
Saint-Nicolas	PT 2	27.4053	2	27.4053	30	15	350.01	350.14
Saint-Nicolas	PT 2	27.446	2	27.4460	30	15	349.09	349.29
Saint-Nicolas	PT 2	27.9693	2	28.0713	30	15	348.34	348.49
Saint-Nicolas	PT 2	28.6732	2	28.7752	30	15	347.09	347.29
Saint-Nicolas	PT 2	29.5311	2	29.6331	33	19	346.29	346.51
Saint-Nicolas	PT 2	30.6475	2	30.7495	33	19	345.29	345.63
Saint-Nicolas	PT 2	30.8151	2	30.8151	33	19	345.12	345.36
Saint-Nicolas	PT 2	31.0921	2	31.0921	33	19	344.94	345.16
Saint-Nicolas	PT 2	31.4234	2	31.5254	33	19	344.40	344.64
Saint-Nicolas	PT 2	32.2958	2	32.3978	33	19	343.46	343.64
Saint-Nicolas	PT 2	33.2328	2	33.3348	33	19	341.97	342.15
Saint-Nicolas	PT 2	33.763	2	33.8650	33	19	340.96	341.23
Saint-Nicolas	PT 2	34.2405	2	34.4001	33	19	340.39	340.80
Saint-Nicolas	PT 2	34.8049	2	34.8049	33	19	340.39	340.80
Magrabant	PT 4	10.4354	4	10.4350	26	12	358.30	358.48
Magrabant	PT 4	10.838	4	10.8380	26	12	355.65	355.83
Magrabant	PT 4	11.1913	4	11.1820	26	12	354.06	354.24
Magrabant	PT 5	10.9407	5	10.9407	26	12	361.77	361.95
Magrabant	PT 5	11.2358	5	11.2358	26	12	360.20	360.30
Magrabant	PT 5	11.5897	5	11.5897	26	12	358.15	358.42
Magrabant	PT 5	11.8626	5	11.8626	26	12	357.60	357.89
Magrabant	PT 5	12.1493	5	12.1493	26	12	356.23	356.72
Magrabant	PT 5	12.1500	5	12.2421	26	12	355.79	356.11
Magrabant	PT 5	12.5405	5	12.5405	26	12	355.04	355.33
Magrabant	PT 5	12.8409	5	12.8409	26	12	354.25	354.43
Magrabant	PT 5	13.1740	5	13.1530	26	12	354.05	354.23
Madeleine	PT 7	10.5318	7	10.5318	28	14	462.32	462.27
Madeleine	PT 7	10.7629	7	10.7629	28	14	458.25	458.18
Madeleine	PT 7	10.9194	7	10.9194	24	10	455.16	455.10
Madeleine	PT 7	11.1635	7	11.1635	24	10	450.55	450.51
Madeleine	PT 7	11.284	7	11.2840	16	8	448.91	448.88
Madeleine	PT 7	11.401	7	11.4010	16	8	446.68	446.59
Madeleine	PT 7	11.7922	7	11.7922	26	12	440.40	440.32
Madeleine	PT 7	11.8961	7	11.8961	26	12	438.20	438.15
Madeleine	PT 7	11.9936	7	11.9936	26	12	436.55	436.49
Madeleine	PT 7	12.0615	7	12.0615	26	12	435.40	435.37
Madeleine	PT 7	12.323	7	12.3230	26	12	429.81	429.77
Madeleine	PT 7	12.5739	7	12.5739	20	10	426.97	426.96
Madeleine	PT 7	12.8032	7	12.8032	20	10	423.50	423.45
Madeleine	PT 7	13.3406	7	13.3789	20	10	417.60	417.59
Madeleine	PT 7	13.9533	7	14.0579	30	15	408.30	408.31
Madeleine	PT 7	14.6067	7	14.7114	20	10	401.36	401.37
Madeleine	PT 7	15.1472	7	15.2518	20	10	396.04	396.08
Madeleine	PT 7	15.6098	7	15.7144	22	10	391.50	391.54
Madeleine	PT 7	16.1251	7	16.2297	22	10	384.98	385.03
Madeleine	PT 7	16.9532	7	17.0578	22	10	380.00	380.21
Madeleine	PT 7	17.5543	7	17.6589	22	10	373.60	373.67

Madeleine	PT 7 17.9878	7	18.0924	22	10	371.47	371.60
Madeleine	PT 7 18.2206	7	18.3234	22	10	369.90	370.06
Madeleine	PT 7 18.7904	7	18.8933	22	10	367.80	367.99
Madeleine	PT 7 19.215	7	19.3178	22	10	364.80	365.02
Madeleine	PT 7 19.9477	7	20.0506	22	10	361.50	361.62
Madeleine	PT 7 20.5725	7	20.6754	22	10	354.59	354.75
Madeleine	PT 7 21.2385	7	21.3414	22	10	352.72	352.86
Madeleine	PT 7 21.769	7	21.8719	22	10	350.29	350.49
Madeleine	PT 7 24.5834	7	24.6863	22	10	345.47	345.60
Madeleine	PT 7 25.5242	7	25.6270	22	10	343.80	343.92
Madeleine	PT 7 26.2957	7	26.3986	22	10	341.80	342.37
Madeleine	PT 8 27.4885	8	27.5710	22	10	340.25	340.64
Madeleine	PT 8 28.0845	8	28.3368	22	10	339.85	340.18
Madeleine	PT 8 28.5059	8	29.0000	22	10	339.70	340.03
Madeleine	PT 8 28.9763	8	29.1255	22	10	339.45	339.78
Autruche	PT 9 10.4805	9	10.4805	26	12	355.36	355.65
Autruche	PT 9 11.0999	9	11.0999	26	12	354.00	354.14
Autruche	PT 9 11.3641	9	11.3641	26	12	353.20	353.27
Autruche	PT 9 11.8156	9	11.8156	26	12	351.61	351.83
Autruche	PT 9 12.0304	9	12.0304	26	12	351.44	351.63
Autruche	PT 9 12.3964	9	12.3964	26	12	349.70	349.91
Autruche	PT 9 12.5312	9	12.5312	26	12	349.30	349.49
Autruche	PT 9 12.8984	9	12.8984	26	12	347.70	348.00
Autruche	PT 9 13.4634	9	13.4634	26	12	347.50	347.84
Autruche	PT 9 13.638	9	13.6380	26	12	347.50	347.85
Autruche	PT 10 13.8433	10	13.8279	26	12	347.50	347.86
Autruche	PT 10 13.9403	10	13.9784	26	12	345.79	345.91
Autruche	PT 10 14.7726	10	14.8107	26	12	345.25	345.56
Autruche	PT 10 14.9769	10	15.0150	26	12	344.40	344.73
Autruche	PT 10 15.5941	10	15.6322	26	12	343.50	343.79
Autruche	PT 10 16.0656	10	16.1037	26	12	343.20	343.45
Autruche	PT 10 17.1562	10	17.1225	26	12	342.66	343.00
Autruche	PT 10 17.6102	10	17.5491	26	12	342.20	342.37
Autruche	PT 11 18.5308	11	18.4688	26	12	341.30	341.59
Autruche	PT 11 18.6034	11	18.6034	26	12	340.80	341.07
Autruche	PT 11 18.7066	11	18.7066	26	12	340.80	341.03
Autruche	PT 11 19.0638	11	19.0638	26	12	340.80	341.03
Autruche	PT 11 19.3884	11	19.3261	26	12	340.80	341.03
Autruche	PT 11 19.5654	11	19.5022	26	12	340.70	340.93
Ermite	PT 12 10.3809	12	10.3809	26	12	362.18	362.22
Ermite	PT 12 10.8731	12	10.8731	26	12	357.00	357.06
Ermite	PT 12 11.3086	12	11.3086	26	12	353.60	353.69
Ermite	PT 12 11.6248	12	11.6248	26	12	350.60	350.67
Ermite	PT 12 12.0637	12	12.0637	26	12	348.68	348.75
Ermite	PT 12 12.1779	12	12.1779	26	12	348.50	348.57
Ermite	PT 12 12.4978	12	12.4978	26	12	348.00	348.07
Ermite	PT 12 12.719	12	12.7190	26	12	347.50	348.00
Ermite	NOD 23	12	12.7270	26	12	347.50	348.00

## ANNEXE 7 : SECTEUR B – COTES D'EAU CALCULEES PAR MODELISATION

### SUR L'AXE BOURBEUSE (HORS BRAS SECONDAIRES ET AFFLUENTS)

Cours d'eau	Label	Bief	Pk	Cote d'eau pour la crue de 1990	Cote d'eau pour la crue de 2006	Cote d'eau pour la crue décennale	Cote d'eau pour la crue centennale
Bourbeuse	PT_1_0.2756	1	0.2756	340.12	339.97	340.23	340.61
Bourbeuse	PT_1_0.3075	1	0.3075	340.04	339.91	340.13	340.41
Bourbeuse	PT_1_0.4251	1	0.4251	339.96	339.85	340.05	340.32
Bourbeuse	PT_1_0.7833	1	0.7833	339.58	339.54	339.69	340.00
Bourbeuse	PT_1_0.9205	1	0.9205	339.41	339.43	339.53	339.85
Bourbeuse	PT_1_0.9512	1	0.9512	339.36	339.41	339.49	339.80
Bourbeuse	PT_1_1.1022	1	1.1022	339.15	339.30	339.28	339.57
Bourbeuse	PT_5_1.1941	5	1.1941	339.03	339.20	339.16	339.44
Bourbeuse	PT_5_1.206	5	1.2060	339.02	339.18	339.15	339.43
Bourbeuse	PT_5_1.526	5	1.5260	338.60	338.79	338.75	339.07
Bourbeuse	PT_5_1.5904	5	1.5904	338.41	338.59	338.55	338.86
Bourbeuse	PT_5_1.8088	5	1.8088	338.09	338.28	338.24	338.60
Bourbeuse	PT_5_2.1474	5	2.1474	337.72	337.96	337.91	338.31
Bourbeuse	PT_5_2.4277	5	2.4277	337.52	337.73	337.68	338.05
Bourbeuse	PT_6_2.4354	6	2.4354	337.51	337.72	337.68	338.04
Bourbeuse	PT_6_2.5658	6	2.5658	337.45	337.64	337.60	337.95
Bourbeuse	PT_6_3.0409	6	3.0409	337.07	337.20	337.18	337.43
Bourbeuse	PT_6_3.5956	6	3.5956	336.79	336.88	336.88	337.12
Bourbeuse	PT_6_3.8313	6	3.8313	336.68	336.74	336.78	337.03
Bourbeuse	PT_6_3.854	6	3.8540	336.66	336.71	336.76	337.01
Bourbeuse	PT_6_4.4936	6	4.4936	336.61	336.65	336.71	336.95
Bourbeuse	PT_9_4.5163	9	4.5163	336.61	336.65	336.71	336.94
Bourbeuse	PT_9_4.8244	9	4.8244	336.53	336.56	336.61	336.85
Bourbeuse	PT_10_5.2451	10	5.2451	336.21	336.25	336.30	336.58
Bourbeuse	PT_10_5.5361	10	5.5361	336.07	336.13	336.17	336.48
Bourbeuse	PT_10_5.5798	10	5.5798	336.05	336.11	336.15	336.46
Bourbeuse	PT_10_5.6059	10	5.6059	336.03	336.09	336.13	336.43
Bourbeuse	PT_10_6.0253	10	6.0253	335.90	335.98	336.01	336.33
Bourbeuse	PT_10_6.7949	10	6.7949	335.75	335.84	335.87	336.20
Bourbeuse	PT_10_7.2159	10	7.2159	335.56	335.66	335.69	336.04
Bourbeuse	PT_10_7.2569	10	7.2569	335.46	335.55	335.58	335.86
Bourbeuse	PT_10_7.4687	10	7.4687	335.33	335.41	335.44	335.72
Bourbeuse	PT_10_7.5981	10	7.5981	335.27	335.35	335.38	335.65
Bourbeuse	PT_12_8.2756	12	8.2756	334.76	334.86	334.90	335.19
Bourbeuse	PT_12_9.085	12	9.0850	334.10	334.22	334.27	334.61
Bourbeuse	PT_12_10.0665	12	10.0665	333.36	333.53	333.61	334.04
Bourbeuse	PT_12_10.3559	12	10.3559	333.23	333.41	333.49	333.98
Bourbeuse	PT_12_10.6498	12	10.6498	333.16	333.34	333.43	333.92
Bourbeuse	PT_12_10.8443	12	10.8443	333.08	333.28	333.36	333.87
Bourbeuse	PT_14_11.7708	14	11.7708	332.86	333.08	333.17	333.69
Bourbeuse	PT_14_12.1764	14	12.1764	332.56	332.83	332.93	333.52
Bourbeuse	PT_14_12.2064	14	12.2064	332.54	332.81	332.92	333.50
Bourbeuse	PT_14_12.2403	14	12.2403	332.41	332.66	332.75	333.26
Bourbeuse	PT_14_12.5841	14	12.5841	332.22	332.47	332.58	333.07
Bourbeuse	PT_14_12.9992	14	12.9992	331.62	331.94	332.07	332.56
Bourbeuse	PT_14_13.2184	14	13.2184	331.52	331.83	331.96	332.47
Bourbeuse	PT_14_13.3951	14	13.3951	331.41	331.71	331.84	332.35
Bourbeuse	PT_14_13.5823	14	13.5823	331.37	331.67	331.80	332.32
Bourbeuse	PT_14_13.9547	14	13.9547	331.19	331.52	331.66	332.22
Bourbeuse	PT_14_13.978	14	13.9780	331.18	331.51	331.65	332.21
Bourbeuse	PT_14_14.8379	14	14.8379	330.69	331.06	331.20	331.67
Bourbeuse	PT_14_15.1449	14	15.1449	330.48	330.88	331.01	331.40



**ANNEXE 8 : SECTEUR C – ESTIMATION DES COTES D’EAU ETABLIES A  
PARTIR DE L’ANALYSE HYDROGÉOMORPHOLOGIQUE AU DROIT DE PROFILS  
EN TRAVERS CARACTERISTIQUES DES COURS D’EAU**

<b>Rivière</b>	<b>Nom profil</b>	<b>Cote d'eau (analyse hydrogéomorphologique)</b>
Écrevisse	PT_18_10.1133	364.00
Écrevisse	PT_18_11.6173	353.50
Écrevisse	PT_18_12.6165	349.00
Écrevisse	PT_18_13.7227	340.50
Écrevisse	PT_18_13.9907	339.30
Ruisseau de l'Étang	PT_17_10.3172	351.50
Ruisseau de l'Étang	PT_17_10.7395	350.50
Ruisseau de l'Étang	PT_17_11.377	348.00
Ruisseau de l'Étang	PT_17_11.9874	345.00
Ruisseau de l'Étang	PT_17_12.9265	341.00
Ruisseau de l'Étang	PT_17_13.4722	337.50
Ruisseau de l'Étang	PT_17_13.8598	333.50
Ruisseau de l'Étang	PT_17_14.3053	330.50
Trovaire	PT_13_10.2552	352.00
Trovaire	PT_13_11.1638	346.40
Trovaire	PT_13_11.8223	346.75
Clavelière	PT_14_12.4761	343.75
Clavelière	PT_14_12.9922	342.50
Ruisseau de la Pnelle	PT_16_10	342.50
Ruisseau de la Pnelle	PT_16_10.523	339.60
Ruisseau de la Pnelle	PT_16_11.029	336.50

## ANNEXE 9 : PRESENTATION DU LOGICIEL HYDRARIV

# 1 PRESENTATION DU LOGICIEL

HYDRARIV est un logiciel général de simulation dynamique des écoulements dans les cours d'eau et les vallées inondables, permettant également l'intégration de collecteurs souterrains et le couplage avec les écoulements de surface.

Il possède une gamme très étendue de fonctionnalités, forgées par l'expérience et les besoins ressentis par HYDRATEC en matière d'aménagements de cours d'eau, qui se traduit notamment par des schémas de représentations qui peuvent être différents d'un secteur géographique à l'autre, tout en coexistant dans un même modèle : représentation filaire (écoulements de surface ou souterrains), découpage en casiers, maillages bidimensionnels, écoulements en secteurs urbains denses.

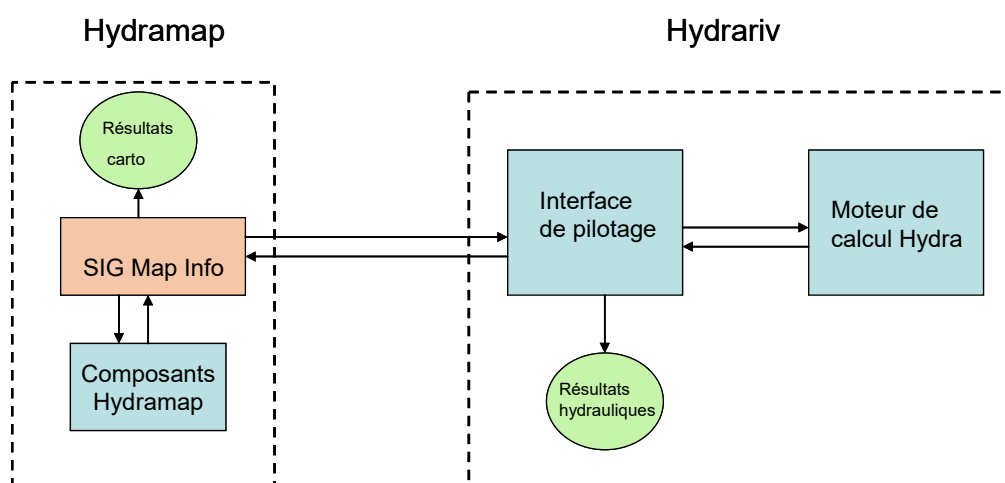
Les très nombreuses observations disponibles sur les écoulements de crues dans les vallées inondables témoignent de la grande complexité des phénomènes hydrauliques à l'échelle locale : chenaux préférentiels d'écoulement induits par la microtopographie, zones d'accumulation, lois d'échanges conditionnées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

Ces phénomènes ne peuvent être appréhendés que par une démarche simplificatrice, nécessaire pour limiter les temps de calcul et disposer d'un outil de simulation opérationnel, mais demeurant cohérente par rapport aux objectifs assignés au modèle et aussi à la précision des données disponibles.

HYDRARIV propose ainsi différents schémas de modélisation permettant de répondre à ces objectifs.

## 1.1 ARCHITECTURE DU LOGICIEL

HYDRARIV est articulé autour des blocs fonctionnels schématisés sur la figure ci-dessous.



Le logiciel HYDRARIV proprement dit comprend une interface de pilotage graphique et un moteur de calcul composé de la chaîne de simulation Hydra.

L'interface remplit les fonctions principales suivantes :

- importation de données externes générées par d'autres applicatifs tels que les SIG,
- génération, éditions des entités de modélisation,
- paramétrage des scénarios,
- pilotage et contrôle des calculs de simulation. Ces derniers sont réalisés en sous tâche par la chaîne de simulation Hydra et sont totalement transparents pour l'utilisation,
- Exploitation des résultats hydrauliques à partir des fichiers de résultats bruts produits par Hydra : courbes  $x(t)$ , profils en long, cartes bi dimensionnelles d'écoulement,
- Conditionnement et exportation de fichiers résultats au format MIF/MID en vue d'un post-traitement cartographique par un SIG, couplé à un M.N.T.

L'application Hydramap permet notamment d'effectuer des traitements de masse de données topographiques nécessaires à la définition des paramètres géométriques des objets de modélisation.

Hydramap est formé par la juxtaposition de deux applicatifs :

- le SIG Map Info,
- une bibliothèque de composants dédiés à l'application HYDRARIV, permettant de transformer des données topographiques brutes en entités de modélisation, telles qu'un maillage bi-dimensionnel, la génération de liaisons par lots, le calcul de courbes de remplissage cote-surface dans les casiers, la génération de profils en travers, etc ...

Les tables créées sous Hydramap sont ensuite exportées vers HYDRARIV pour venir enrichir un modèle existant, ou même de créer l'ossature d'un modèle qui est ensuite affiné et enrichi à l'aide des fonctionnalités disponibles dans HYDRARIV.

## 1.2 PRINCIPES DE MODELISATION

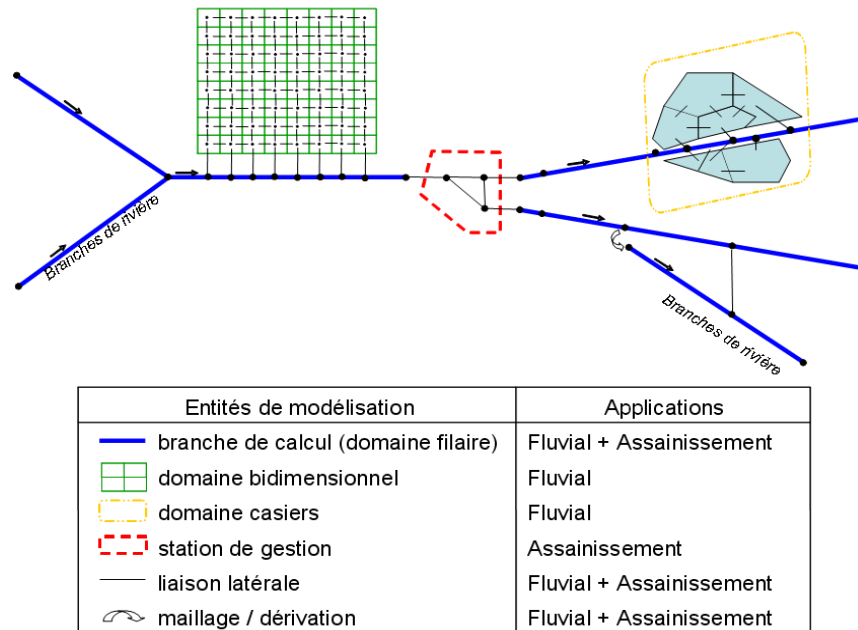
HYDRARIV offre au modélisateur différents schémas de modélisation, définis en détail au §2 :

- Filaire (1D),
- Casier,
- Bidimensionnel (2D),
- Zones urbaines inondables (ZUI).

La connexion des différents domaines de modélisation (filaire, casier, bi dimensionnel et ZUI) est assurée par les liaisons latérales, de natures différentes selon la topographie ou le type d'ouvrage.

En complément de ces différents schémas de modélisation, les « stations de gestion » permettent de représenter des ouvrages plus ou moins complexes par le biais de liaisons hydrauliques reliant des nœuds de calcul extérieurs aux domaines pré-cités.

La figure ci-après illustre les différents domaines pouvant co-exister dans un même sous modèle.



HYDRARIV dispose d'une fonctionnalité dite de « **Configurations** » qui permet de générer et de tracer des scénarios impliquant des modifications de paramètres géométriques, topographiques et hydrauliques attachées aux objets de modélisation d'un modèle hydraulique donné : coefficients de frottements, cotes de digues, sections de lit mineur, ouverture d'ouvrages hydrauliques...

HYDRARIV dispose également d'un module de **gestion de contrôle et de régulation des ouvrages** hydrauliques. Les ouvrages hydrauliques ponctuels modélisés dans HYDRARIV sont paramétrés par défaut dans l'interface de façon à fonctionner en mode local : le plupart des actionneurs sont fixes, d'autres sont mobiles et régulés par rapport à une consigne de déplacement, de niveau ou de débit. L'état des variables géométriques et les consignes de gestion de l'ensemble de ces ouvrages peuvent également être pilotées par un fichier externe contenant un script de programmation plus ou moins complexe totalement interactif avec les algorithmes de calcul hydrauliques du noyau de calcul d'HYDRARIV. Cette possibilité permet de prendre en compte des systèmes d'asservissement complexes, faisant intervenir tout un ensemble de paramètres d'état du systèmes et d'actionneurs, pour lesquels la régulation locale n'est plus adaptée.

### 1.3 TRAÇABILITE

HYDRARIV dispose des fonctionnalités de gestion des scénarios de calcul **garantissant la totale traçabilité des simulations effectuées** ; la topologie du modèle et l'ensemble des paramètres de chaque scénario sont intégrés dans un fichier unique : paramètres numériques, fichiers externes de définition des hydrogrammes d'entrée... La gestion des répertoires de stockage des résultats de calcul pour chaque scénario est automatisée, assurant un lien direct entre le fichier « modèle » et les résultats des différents scénarios de calcul.

## 2 PRESENTATION DES SCHEMAS DE MODELISATION

### 2.1 SCHEMATISATION FILAIRE

La schématisation filaire repose sur la résolution des équations de Barré de Saint Venant à lits composés, avec des lois de partage entre les différents lits qui sont conçues pour reproduire au mieux les cotes d'eau dans le lit mineur, les temps de propagation et la déformation des ondes de crues influencées par l'action de laminage joué par le lit majeur. A chaque nœud de calcul sont associées plusieurs variables : la cote d'eau dans la section composée et les débits longitudinaux dans chaque lit. Outre les équations des tronçons de vallée HYDRARIV propose un large choix de singularités spécialement adaptées aux types d'ouvrages et d'obstacles rencontrés dans les vallées fluviales.

Le domaine filaire modélise l'écoulement le long d'un bief de rivière ou de vallée inondable, caractérisé par une direction privilégiée d'écoulement le long de son axe longitudinal. Le bief de vallée, dénommé « branche », est composé d'une succession de tronçons de rivière entrecoupés de singularités hydrauliques formant obstacle à l'écoulement.

Le domaine filaire modélisé par HYDRARIV se présente comme une juxtaposition de sous-réseaux arborescents. Un sous-réseau consiste en un assemblage de branches de calcul connectées les unes aux autres par des confluences ou des liaisons latérales. A chaque branche est associé un syst de repérage curviligne kilométrique qui lui est propre, avec des PK croissants de l'amont vers l'aval de la branche. Une branche est jalonnée d'une succession ordonnée de modules hydrauliques. Chaque module est délimité par un PK amont et un PK aval. On distingue :

- Les **tronçons élémentaires de rivière ou de vallée** régis par les équations de Barré de Saint Venant ; les équations distinguent pour chaque section de vallée 7 zones d'écoulements contrastés dans la direction transversale (voir figure ci-après) :
  - le lit moyen où coule l'eau en l'absence de débordement,
  - le lit majeur actif, c'est-à-dire la fraction de la plaine inondable qui participe à l'écoulement longitudinal en vallée après débordement, en distinguant la rive gauche et la rive droite,
  - le lit d'expansion qui simule les poches de stockage et d'accumulation dans le lit majeur.

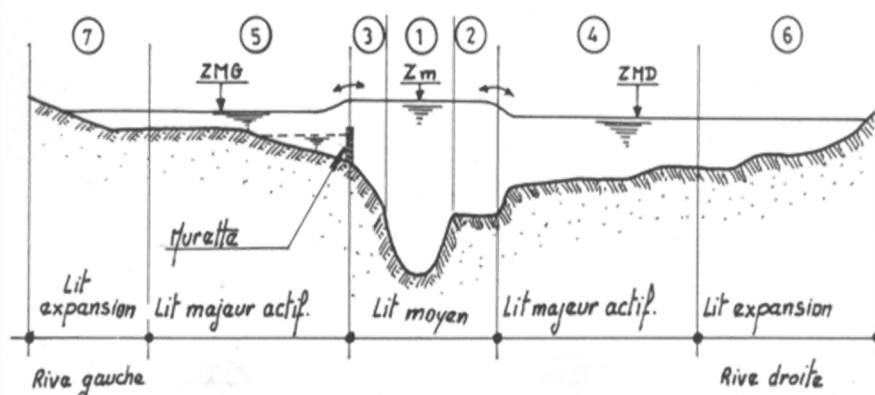


Figure 35 - Schématisation de la vallée : coupe transversale



Le modèle filaire se construit à partir de profils en travers. L'hydraulicien synthétise avec 14 points, les profils en travers levés par le géomètre. Il interpole des profils supplémentaires pour rester fidèle à la géométrie du lit du fleuve.

Les équations résolues sont données ci-après.

#### Equations de Barré-de-Saint-Venant :

Continuité : 
$$\frac{\partial}{\partial t} \left( S_m + \frac{S_M}{s} \right) + \frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{q_1}{s} + q_3$$

Quantité de mouvement : 
$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{d}{dx} \left( \beta \frac{Q^2}{S_m + S_M} \right) + g(S_m + S_M) \frac{\partial Z}{\partial x} + \frac{Q |Q|}{D^2} = 0$$

t : temps

s : coefficient de sinuosité

$S_m$  : surface de la section mouillée du lit mineur

$S_M$  : surface de la section mouillée du lit majeur actif

D : débitance =  $S_m K_m R_m^{2/3} + \sqrt{s} S_M K_M R_M^{2/3}$

avec •  $K_m$  et  $K_M$ : Stricklers des lits mineur et majeur  
•  $R_m$  et  $R_M$ : rayons hydrauliques des lits mineur et majeur

$\beta$  : coefficient d'échange de quantité de mouvement entre lits mineur et majeur

$$\beta = \left( \frac{1}{S_M} + \frac{\gamma^2}{S_m} \right) \left( \frac{S_m + S_M}{1 - \eta^2} \right)$$

$$\text{avec } \eta = \frac{Q_m}{Q_M} = \frac{S_m K_m R_m^{2/3}}{S_M K_M R_M^{2/3}}$$

$q_1$  : débit d'échange latéral

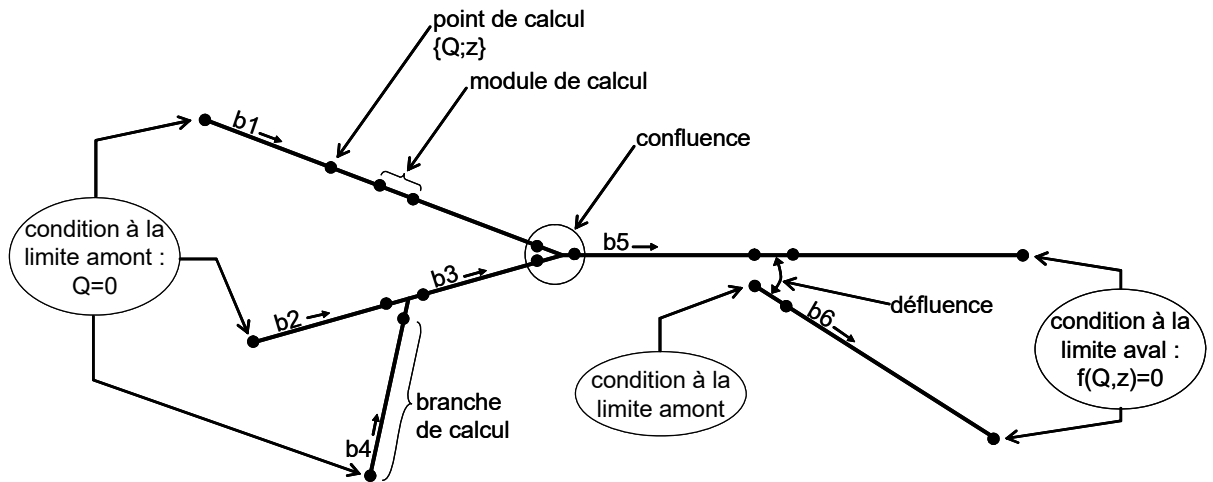
$q_1 = \mu \sqrt{2g} (Z - Z_d)^{3/2}$  en régime dénoyé

$q_1 = \mu \sqrt{2g} (Z - Z_d) (Z - Z_1)^{1/2}$  en régime noyé

- Les **singularités hydrauliques** ; sont classés dans cette catégorie tous les ouvrages hydrauliques apportant une modification à l'écoulement le long d'un tronçon de rivière, et plus généralement, le long d'une branche 1D. Par extension une singularité est définie dans HYDRARIV comme toute loi d'écoulement régie par des équations autres que celles du tronçon de vallée. Une singularité peut :
  - être courte (localisée en un seul PK) ou longue (étendue entre un PK début et un PK fin le long d'une branche de calcul),
  - se caractériser par une discontinuité de débit (hydrogramme d'apport ou dérivation), ou de cote piézométrique, ou les deux à la fois,
  - être de type passif (ouvrage statique) ou actif (organe réglable).

Chaque branche est constituée en définitive d'une succession de points de calculs. A chaque point sont calculés une cote Z et un débit longitudinal Q le long de la branche. Ce débit est positif lorsque le courant s'écoule de l'amont vers l'aval de la branche, c'est-à-dire dans le sens croissant des PK. Il est négatif dans le cas contraire.

Chaque sous-réseau comprend une et une seule condition à la limite aval, définie au nœud aval par une relation de la forme :  $f(Q,Z) = 0$



Schématisme d'un domaine filaire maillé

## 2.2 SCHEMATISATION CASIERS

Le domaine casier est classiquement utilisé pour représenter les zones de stockage caractérisées par de faibles vitesses d'écoulement, situées à l'écart des écoulements dynamiques. Les limites des éléments casiers s'appuient généralement sur des limites physiques contraignant les écoulements (digues, remblais...). Il peut également être utilisé pour schématiser le lit majeur actif lorsque les objectifs de la modélisation ne nécessitent pas une représentation détaillée des conditions écoulement (vitesses, hauteurs d'eau...).

Le domaine « casier » comprend une collection de surfaces polygonales, ou casiers, chaque casier est converti en interne en un nœud de calcul caractérisé par :

- une cote d'eau  $Z$ ,
- une capacité de stockage décrite par une surface au miroir ou une courbe  $S(z)$ .

L'équation de base d'un casier exprime la loi de conservation de la masse :

$$S \frac{dZ_c}{dt} = \sum_i q_{li}(z_c, z_i)$$

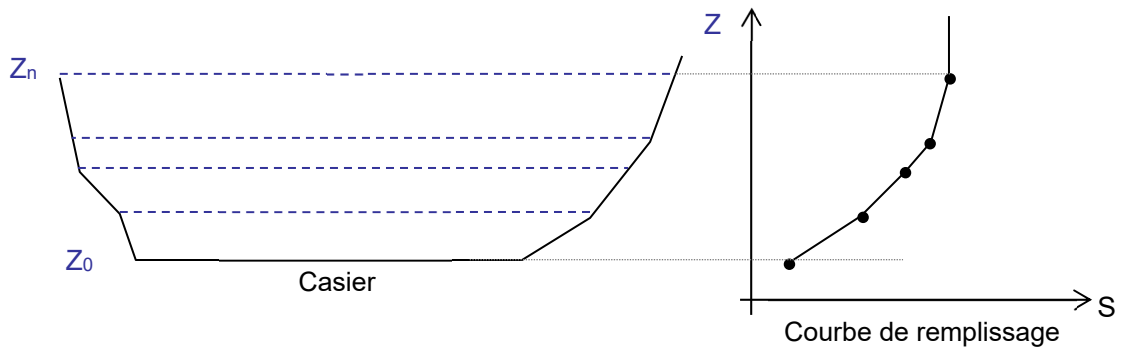
où :  $S$  : surface au miroir du casier

$Z_c$  : cote d'eau (supposée uniforme dans le casier)

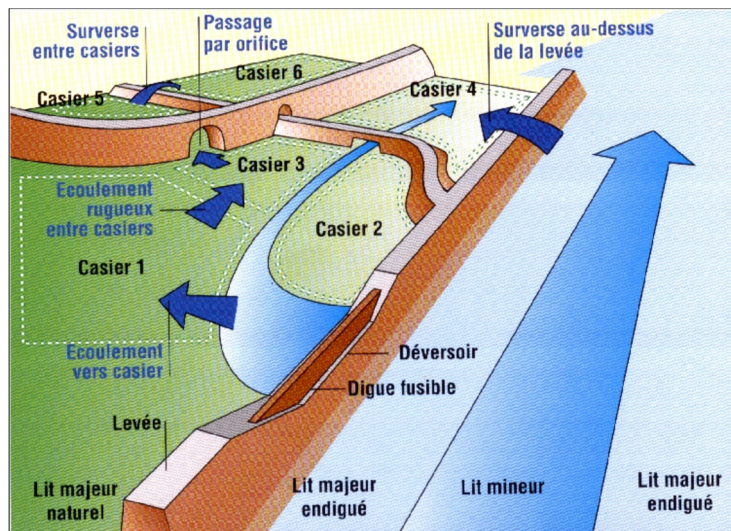
$q_{li}$  : débit échangé avec un autre domaine. Les liaisons latérales disponibles sont de plusieurs types suivant la nature physique de la liaison : seuil, orifice, frottement sur le fond, écoulement poreux.

Chaque casier est défini géographiquement par ses contours qui correspondent, en général à des obstacles physiques influençant l'écoulement : levées, coteaux, routes,

talus ... puis numériquement par sa superficie et par une courbe  $\alpha(Z)$  où  $\alpha$  est le pourcentage de la superficie du casier situé sous la cote  $Z$ .



La planimétrie générale du terrain est ainsi entrée dans le modèle ce qui définit le volume d'eau susceptible d'être stocké dans la zone inondée.



Les entrées et sorties d'eau pour un casier sont analysées et dimensionnées : des liaisons numériques sont définies pour représenter dans le modèle les échanges d'eau entre casiers.

## 2.3 SCHEMATISATION BI-DIMENSIONNELLE (2D)

Le domaine « pavé » comprend une collection de mailles quadrangulaires ou triangulaires, ou pavés, chaque pavé étant converti en interne en un nœud de calcul caractérisé par :

- une cote d'eau  $Z$ ,
- les composantes  $u_x$  et  $u_y$  de la vitesse d'écoulement,
- une capacité de stockage décrite par une cote moyenne de fond  $Z_f$  et une surface  $S$ .

La modélisation bidimensionnelle repose sur la résolution des équations de Barré de Saint Venant à deux dimensions à l'aide d'une méthode de volumes finis : les inconnues sont la cote d'eau et la composante de la vitesse dans chaque direction, calculées au centroïde de la maille.

Les équations de base s'expriment sous la forme :

**Continuité :**

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (uh) + \frac{\partial}{\partial y} (vh) = 0$$

**Dynamiques selon x et y**

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \left( \frac{\partial z}{\partial x} + j_x \right) = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} + u \frac{\partial v}{\partial y} + g \left( \frac{\partial z}{\partial y} + j_y \right) = 0$$

Avec :

- h : hauteur d'eau
- u, v : composante de la vitesse
- g : accélération de la gravité
- z : cote de la surface libre
- x, y : abscisse et ordonnée du point où sont définis (h, u, v)
- j : gradient de perte de charge engendré par le frottement

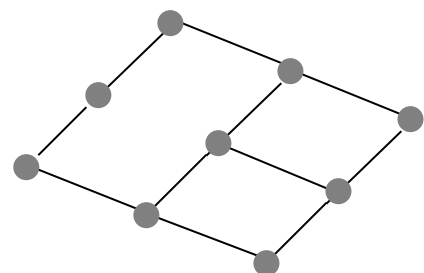
Les équations précédentes sont transformées dans le module 2D en intégrales de surface et sont discrétisées par la **méthode des volumes finis**.

Pour ce domaine le nombre de variables indépendantes au centroïde de chaque élément est égal à trois : h, u et v.

Le maillage proposé dans le module bidimensionnel est quadrangulaire et triangulaire. La densité et la taille moyenne des mailles sont adaptées en fonction de la cohérence de la précision des levés topographiques et des attendus du projet.

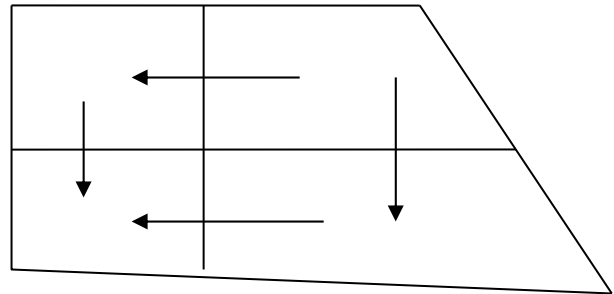
Le maillage proposé présente deux particularités :

- Il est déstructuré, c'est-à-dire que les frontières de chaque maille ont des directions quelconques : elles s'appuient sur les rives du cours d'eau, le long des obstacles dans le lit majeur,
- Il est possible de partager une frontière entre plus de deux éléments (cf. ci-contre).



Cette souplesse permet de facilement traiter les situations géométriques les plus complexes.

Les frontières entre deux mailles contigües sont traversées par des liaisons d'échanges hydrauliques qui découlent de la discrétisation des deux équations ci-dessus.



La grande majorité de ces liaisons sont intérieures au domaine 2D : elles sont régies par des lois d'échange satisfaisant les équations de Barré de Saint Venant en deux dimensions ; les vitesses sont calculées au centroïde de l'élément.

A chaque frontière on peut également renseigner une loi d'échange spécifique du type de celles disponibles pour le domaine casier, dans le cas d'un obstacle régi par une loi de singularité hydraulique spécifique.

On peut également spécifier des liaisons régies par des lois de singularités hydrauliques.

La méthode des volumes finis offre une grande souplesse dans la définition du maillage, ce qui lui confère un avantage certain compte tenu des nombreuses lignes de fractures (obstacles en ligne) présentes dans les plaines alluviales.

Le maillage s'appuie notamment sur des limites physiques contraignant les écoulements (digues, remblais, ...), la taille des mailles étant définie par le modélisateur en fonction de la précision attendue et de la morphologie de la vallée.

Les singularités ponctuelles au droit des franchissements routiers ou ferrés sont schématisées par des liaisons spécifiques reliant les mailles amont et aval :

- des lois d'orifice pour les buses et les ponceaux de décharge,
- des lois de seuil pour les routes, chemins, digues, murets... submersibles.

## 2.4 LES LIAISONS LATÉRALES

**Les liaisons latérales** symbolisent des relations de transfert de débit entre des nœuds de calcul attachés aux éléments des différents domaines. L'équation associée à chaque liaison est de la forme :

$f(Q_L, Z_1, Z_2)$  où  $Q_L$  est le débit d'échange entre les nœuds 1 et 2,

$Z_1$  et  $Z_2$  sont les cotes d'eau aux nœuds 1 et 2 respectivement,

f est une fonction spécifique à la nature hydraulique de la liaison : seuil, orifice, poreuse, ...

Dans le cas d'une liaison uninodale, la relation est de la forme :  $g(Q_L, Z_1) = 0$ . La liaison s'apparente alors à une condition à la limite appliquée au nœud 1.

Les principales liaisons hydrauliques binodales sont les suivantes :

- **La loi de surverse (LDEV)** : débordement au-dessus d'une levée ou d'un talus. La liaison est calée au niveau de l'arase du point bas de la levée ou de la banquette. Les débits susceptibles d'entrer dans le val sont calculés par une loi de type déversement simple fonction de la cote d'arase, de la largeur de la zone basse et du coefficient de seuil.
- **La loi d'orifice (LORF)** : La liaison simule un passage par une ouverture quelconque : buse, dalot ou pont. Elle est représentée par les dimensions de l'orifice et les coefficients de seuil et d'orifice.
- **L'écoulement rugueux (LSTK)** : de casier à casier, l'eau coule sans obstacle précis, mais les forces de frottement de l'eau sur le terrain sont représentées. La liaison est définie par sa cote, sa largeur, un coefficient de rugosité et la distance entre casiers. La loi d'écoulement est régie pour cette liaison par l'équation :

$$Q_{ij} = K^* H_{ij}^{5/3} * l * \text{racine}((Z_i - Z_j)/L)$$

Où  $Q_{ij}$  est le débit d'échange entre les casiers,  $H_{ij}$  est la hauteur d'eau moyenne,  $Z_i$  et  $Z_j$  les cotes moyennes dans les casiers  $i$  et  $j$  respectivement et  $K$  est le coefficient de frottement de Strickler<sup>2</sup> sur le fond.

- **La brèche** : La liaison représente l'ouverture d'une brèche dans le calcul lorsque le niveau d'eau, calculé à un pas de temps, dépasse un niveau altimétrique prédéfini (généralement le niveau de la levée ou de la digue). Ce type de liaison est défini par un seuil de déclenchement, une largeur, un seuil bas, un coefficient de seuil et un temps d'ouverture.

Deux nœuds de calcul peuvent être reliés par plusieurs liaisons.

## 2.5 COUPLAGE 1D-2D

HYDRARIV propose deux fonctionnalités de couplage des domaines 1D et 2D, basées sur la création de liaisons latérales entre les éléments de ces deux domaines. Les berges de chaque lit de cours d'eau sont connectées au domaine bidimensionnel par l'intermédiaire de liaisons spécifiques apparentées à des déversoirs, la cote et la largeur de chacune étant fonction du profil de la berge.

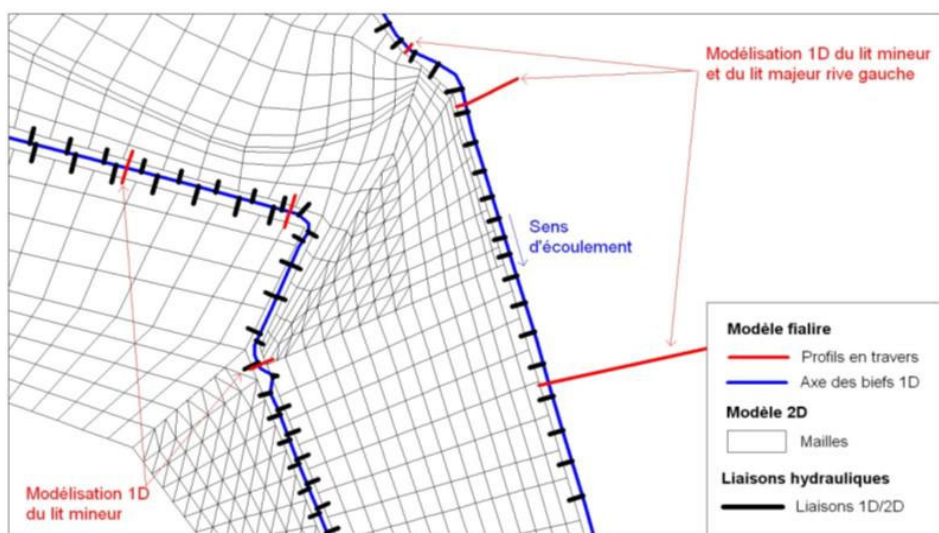
### 2.5.1 Maillage 2D appuyé sur les limites du domaine 1D

Les liaisons latérales schématisent les capacités de débordement du bief 1D vers le maillage 2D à partir des caractéristiques géométriques de la berge considérée (altimétrie), de la géométrie de chacune des mailles (largeur de contact avec la berge) et de l'occupation du sol (frottement).

---

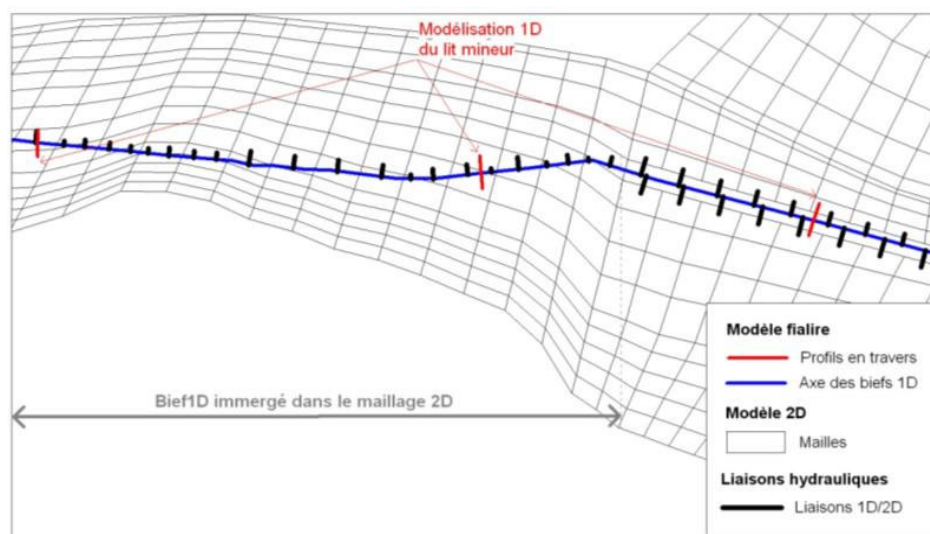
<sup>2</sup> Coefficient de Strickler : traduit le frottement du lit. Le frottement est d'autant plus important que le coefficient est faible.





### 2.5.2 Bief 1D immergé dans le maillage 2D

Le bief 1D intègre uniquement le lit mineur du cours d'eau concerné, et ne constitue pas une limite au maillage 2D ; les caractéristiques géométriques des liaisons du bief 1D vers les mailles 2D sont simplifiées : une liaison vers chaque maille traversée, celle-ci englobant la largeur de débordement des rives gauche et droite.



Cette représentation simplifiée est mise en œuvre lorsque la capacité du cours d'eau est faible et lorsque ses berges ne constituent pas un obstacle à l'écoulement des eaux en lit majeur (absence de digues) ; elle permet d'intégrer simplement à un maillage global du lit majeur la présence de petits cours d'eau ou fossés dont le rôle peut être important dans la dynamique d'écoulement des débordements du cours d'eau principal et le ressuyage du lit majeur.

### 3 MODELISATION DES OUVRAGES HYDRAULIQUES

Ce paragraphe présente les principes généraux de modélisation des principaux types d'ouvrages hydrauliques.

Certains points particuliers sont présentés plus en détail dans les chapitres spécifiques à chacun des modèles.

#### 3.1 OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT

Les ouvrages de franchissement sont définis par les cotes de radier et de sous-poutre et la section totale.

Les pertes de charge sont calculées par une loi de seuil tant que l'ouvrage n'est pas en charge, et par une loi d'orifice dans le cas contraire.

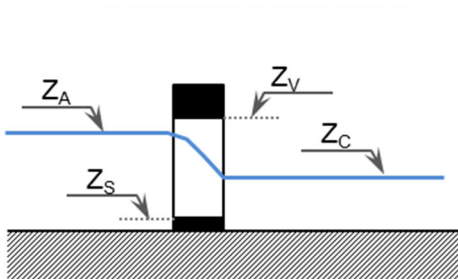
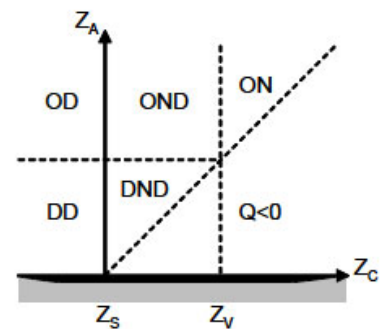


Schéma de fonctionnement



Régimes possibles d'écoulement

Régime d'écoulement	Désignation	Expression pour $f$
Déversoir dénoyé	DD	$f = C_D (Z_A - Z_S)^{3/2}$
Déversoir noyé - dénoyé	DND	$f = C_D (Z_A - Z_C)^{3/2} + C_N (Z_C - Z_S) (Z_A - Z_C)^{1/2}$
Orifice dénoyé	OD	$f = C_D (Z_A - Z_S)^{3/2} - C_D (Z_A - Z_V)^{3/2}$
Orifice noyé - dénoyé	OND	$f = C_D (Z_A - Z_C)^{3/2} - C_D (Z_A - Z_V)^{3/2} + C_N (Z_C - Z_S) (Z_A - Z_C)^{1/2}$
Orifice noyé	ON	$f = C_N (Z_A - Z_C)^{1/2} (Z_V - Z_S)$
avec $C_D = \frac{2}{3} \mu_D L \sqrt{2g}$ $C_N = \mu_N L \sqrt{2g}$		$\mu_D$ : coefficient en régime dénoyé (généralement = 0.6) $\mu_N$ : coefficient en régime noyé (généralement = 0.6)

#### 3.2 SEUILS ET VANNAGES

Les seuils frontaux et latéraux sont modélisés par des lois de seuil.

Les vannages sont modélisés par des lois mixtes seuil (tant que l'ouvrage n'est pas en charge) / orifice.

Ces ouvrages peuvent être asservis à une cote ou un débit de consigne.

## ANNEXE 10 : COMPTE RENDUS DES ENTRETIENS AVEC LES COMMUNES DU

### BASSIN DE LA SUARCINE

Commune	Contact	Tel.	Mail	Rendez-vous
Suarce	M. André Thevenot (maire)	03 84 29 65 00	suarce@gmail.com	-
Chavannes les Grands	M. Gérard Fesselet (maire)	03 84 23 30 23	<a href="mailto:mairie-chavanneslesgrands@wanadoo.fr">mairie- chavanneslesgrands@wa nadoo.fr</a>	07/02/2013 10h
Magny	M. Lucien Richard (maire)	03 89 25 20 79	commune magny@orange.fr	06/02/2013 14h
Chavanatte	Mme Monique Dinet	03 84 29 67 44		-

Compte-rendu contradictoire  
Entretien mardi 07 février 2012,  
**Mairie de Chavannes-les-Grands**

Présents :

Sylvère JANIN – Hydratec

Gérard FESSELET – Maire de Chavannes-les-Grands– [chavanneslesgrands@wanadoo.fr](mailto:chavanneslesgrands@wanadoo.fr) –  
03.84.23.30.23

M. le maire indique que la commune est peu touchée par les inondations.

En moyenne, le Rû (affluent de la Suarcine), qui traverse le Bourg, déborde deux fois par an, au printemps et à l'automne. Ces crues sont souvent causées par des orages violents, et sont rapides.

En effet, le territoire de la commune a été fortement drainé depuis les années 80, et les ruissellements sont importants en cas de forte pluie.

La zone inondée s'étend entre la D3 et le pont situé vers l'église et l'école. Seules deux maisons sont proches du champ d'inondation, sans avoir été inondées à sa connaissance.

M. le maire indique qu'il habite le village depuis sa naissance.

Le Rû a été la cible de travaux de curage récemment.

M. la maire indique qu'il n'y a pas de zones non constructibles sur la commune, mais qu'il est conscient du risque inondation.

Compte-rendu contradictoire  
Entretien lundi 06 février 2012,  
**Mairie de Magny (68210)**

Présents :

Sylvère JANIN – Hydratec

Lucien RICHARD – Maire de Magny – [commune.magny@orange.fr](mailto:commune.magny@orange.fr)

Didier MENETRE – Conseiller municipal

Jean-Pierre MALICE – 2 adjoint

M. le maire indique que la commune connaît en moyenne deux débordements de la Suarcine par an, au printemps et en automne.

Le niveau maximum observé montre un niveau supérieur de 10 à 15 cm au dessus du pont du canal situé rue de la Suarcine.

Dans de cas, la D32 est inondée avec 5 à 10 cm d'eau sur la route, et une nappe se forme du coté gauche de la D32, mais sans toucher les maisons.

Les crues observées sur la Suarcine sont généralement rapides à la montée et à la redescente.

Depuis l'arrivée de M. le maire dans la commune (1979), il n'y a pas eu de crue marquante, et les personnes présentes ne peuvent pas spécifier de crue ayant marquée les esprits.

Aucune habitation n'a été touchée par les inondations depuis au moins 1979. La maison la plus proche du champ d'expansion des crues est celle de M. le maire, située le long de la Suarcine, sur la rue de la Suarcine. En cas de crue importante, son jardin est légèrement inondé. Pour éviter que des flottants se déposent dans son jardin, il a édifié un muret le long de sa parcelle, qui ne bloque pas la montée de l'eau mais évite le dépôt de matériaux (branches, feuilles, déchets, etc).

L'équipe municipale s'efforce d'éviter la construction de maisons dans la partie basse du village, et est bien consciente du risque inondation. Le plan local d'urbanisme fait apparaître des zones non constructibles en fond de vallon (PLU fourni par la mairie).

Ces zones sont constituées de prairies et non cultivées.

Au niveau du village, un canal artificiel a été creusé lors de la construction du moulin de la Caille (édifice ancien). Le moulin n'est plus en activité depuis longtemps, et le canal n'a plus d'utilité. Le seuil de prise d'eau initialement situé entre la D103 et la rue de la Suarcine a été emporté lors d'une crue (date inconnue). Depuis la partie amont du canal n'est plus en eau en temps normal, mais se remet en fonction en cas de crue. Le canal reçoit de plus les eaux de l'affluent venant de Chavannes-les-Grands. La commune a installé des buses souterraines ramenant l'eau du canal dans la Suarcine, en aval de la rue de la Suarcine.



M. la maire indique que le territoire de la commune est fortement drainé et cultivé, ce qui provoque d'importants ruissellements en cas de pluies importantes.

Pour plus de précision concernant les inondations passées, M. le maire conseille de contacter M. Roland MENETRE (ancien maire, 03.89.25.20.40), présent sur la commune depuis sa naissance.