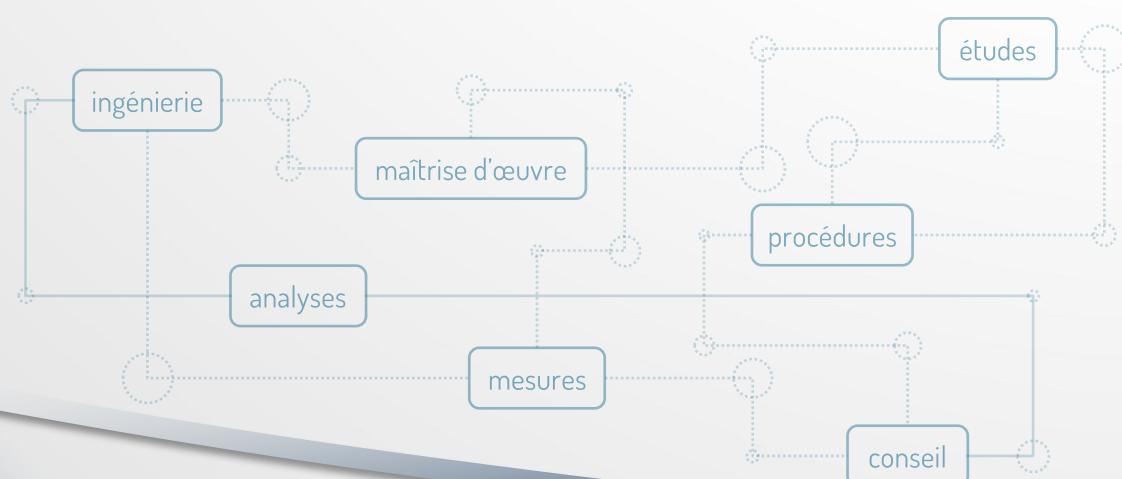




Station d'épuration de Forbach

Etude hydraulique



mars 2025



12 Avenue du Pré de Challes – Parc des Glaisins
 ANNECY LE VIEUX – 74 940 ANNECY
 ☎ 04 50 64 06 14 ☎ 04 50 64 08 73
 @ : sage.annecy@sage-environnement.fr
 ① : www.sage-environnement.com

Fiche document :

Informations :

Client / Maître d'ouvrage :	Communauté d'Agglomération de Forbach Porte de France
Contact – Coordonnées :	110 rue des Moulins CS 70341-57608 FORBACH Service Grand Cycle de l'Eau
Numéro dossier SAGE :	24.085
Responsable :	Fabienne Lefebvre
Assistant(e)s :	
Relecteur :	
Titre :	Station d'épuration de Forbach
Sous-titre – objet :	Etude hydraulique
Catégorie document :	Rapport technique
Mots clés :	[Mots clés]
Statut document :	Final
Indice de révision :	[Commentaires]
Référence document :	FL/24085/1/V1
Confidentialité :	
Fichier :	24085 forbach step.docx
Date :	24/03/2025
Nombre de pages :	38

Historique des versions et révisions :

Indice révision	Date	Détails – modifications	Resp.
0	20/03/2025	Version initiale	Fabienne Lefebvre
1	24/03/2025	Enlèvement de la mention d'une renaturation du Mulhbach puisque finalement écartée	Chloé Blino

Avertissement :

Ce document, les données, informations, analyses et conclusions qu'il contient sont la propriété exclusive du maître d'ouvrage. Toute reproduction, diffusion, publication, mise en ligne, même partielle, ne peut être effectuée sans son accord préalable mentionné par écrit. Le cas échéant, citation doit être faite de la source des éléments reproduits.

SAGE Environnement ne communiquera aucune information, document ou fichier en dehors de ce cadre strict.



12 Avenue du Pré de Challes – Parc des Glaisins
ANNECY LE VIEUX – 74 940 ANNECY
☎ 04 50 64 06 14 📠 04 50 64 08 73
@ : sage.annecy@sage-environnement.fr
🌐 : www.sage-environnement.com

PRÉAMBULE

La Communauté d'Agglomération de Forbach mène une étude sur la station d'épuration de Forbach et son environnement immédiat. Cette étude s'inscrit dans une démarche visant à analyser les dynamiques d'écoulement des cours d'eau, notamment ceux du Bruchgraben du Muhlbach et de la Rosselle, afin d'évaluer leur impact sur les infrastructures de la station d'épuration et d'étudier les projets de remise à l'air libre du Bruchgraben (renaturation du Muhlbach écartée).

L'objectif principal de cette étude est de caractériser les crues, de comprendre leur interaction avec les ouvrages et de proposer des solutions de remise à l'air libre du Bruchgraben.

Dans cette perspective, l'étude s'articule autour de plusieurs axes :

- L'analyse du contexte hydrologique et hydraulique du secteur ;
- La modélisation des écoulements en l'état actuel et en projet ;
- L'évaluation des impacts des aménagements envisagés, notamment la renaturation du Bruchgraben ;

TABLE DES MATIERES

PRÉAMBULE	3
I. Etude hydrologique	6
I.1 le contexte hydraulique	6
I.1.1 Rappel du secteur d'étude	6
I.1.2 Caractéristiques des cours d'eau	8
I.2 Etude hydrologique	9
I.2.1 Méthodologie	9
I.2.1.1 Le temps de concentration	10
I.2.1.1 La formule rationnelle	10
I.2.1.2 La formule Crupedix	10
I.2.1.3 La formule de transition	11
I.2.1.4 Evaluation des débits centennaux	12
I.2.2 La Rosselle	12
I.2.2.1 Le régime hydrologique	12
I.2.2.2 Les débits instantanés de crues	13
I.2.3 Les affluents de la Rosselle	13
I.2.3.1 Les temps de concentration	13
I.2.3.2 Estimation du débit décennale	14
I.2.3.1 Estimation du débit centennale	14
I.2.4 Composition des hydrogrammes	15
II. Modélisation des écoulements	17
II.1 Les conditions d'écoulements	17
II.1.1 La Rosselle	17
II.1.2 Le Bruchgraben	18
II.1.3 Le Muhlbach	18
II.1.4 Le PPRI	19
II.2 Construction du modèle	20
II.2.1 Etendue du modèle	20
II.2.2 Présentation du logiciel	21
II.2.1 Spatialisation des Manning et Stricker	21
II.2.1 Modélisation des ouvrages	22
II.2.2 Conditions aux limites	22
II.3 Résultats de la modélisation – état actuel	23
II.3.1 Crue décennale	23
II.3.2 Crue centennale	26
II.3.3 Ligne d'eau	30
II.4 Modélisation de l'état projet	32
II.4.1 Proposition de remise à l'air libre du Bruchgraben et du Muhlbach	32
II.4.2 Reprise du MNT	33
II.4.3 Résultat de la modélisation – état projet	34
II.5 Conclusions	38

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Contexte hydrographique local	7
Figure 2 : le secteur d'étude – photographie aérienne et plan IGN – source : geoportail.gouv.fr	7
Figure 3 : délimitation des bassins versants et occupation des sols	8
Figure 4 : localisation de la station limnimétrique de la Rosselle	9
Figure 5 : répartition des débits mensuels de la Rosselle	12
Figure 6 : hydrogramme de crue décennale	15
Figure 7 : hydrogramme de crue centennale	16
Figure 8 : extrait du PPRI	20
Figure 9 : Choix des Manning au sein du modèle de la Rosselle	21
Figure 10 : Exemple d'ouvrages de franchissement.....	22
Figure 11 : Hydrogrammes injectés dans le modèle pour la crue centennale	22
Figure 12 : Localisation des frontières liquides du modèle	23
Figure 13 : propagation de l'onde de crue en rive gauche de la Rosselle.....	24
Figure 14 : Coupe du lit de la Rosselle selon le profil 1	24
Figure 15 : carte des zones inondables – Q10 – état actuel (fond de plan photo aérienne bing satellite)	25
Figure 16 : carte des vitesses – Q10 – état actuel (fond de plan photo aérienne bing satellite).....	26
Figure 17 : hydrogramme de crue du Bruchgraben au droit de la station d'épuration	27
Figure 18 : carte des zones inondables – Q100 – état actuel (fond de plan MNT)	28
Figure 19 : carte des zones inondables – Q100 – état actuel (fond de plan photo aérienne bing satellite) ..	29
Figure 20 : carte des vitesses – Q100 – état actuel (fond de plan photo aérienne bing satellite).....	30
Figure 21 : Profil en long de la Rosselle – Q10 et Q100 – état actuel	31
Figure 22 : Les contraintes tangentielles sur la Rosselle –Q100 – état actuel	31
Figure 27 : Extrait de vue en plan pour le Bruchgraben.....	33
Figure 28 : Extrait de coupe type pour le Bruchgraben.....	33
Figure 25 : intégration de la remise à l'air libre du Bruchgraben dans le MNT.....	34
Figure 26 : carte des zones inondables – Q100 – état projet (fond de plan MNT)	35
Figure 27 : carte des zones inondables – Q100 – état projet (fond de plan MNT)	36
Figure 28 : le profil en long du Bruchgraben renaturé.....	37
Figure 29 : les contraintes tractrice sur le lit renaturé du Bruchgraben avec l'influence aval de la Rosselle .	37
Figure 30 : les contraintes tractrices sur le lit renaturé du Bruchgraben sans l'influence aval de la Rosselle	38

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : les débits mensuels de la Rosselle	12
Tableau 2 : estimation des débits de crue instantanés de la Rosselle à Forbach	13
Tableau 3 : calcul du temps de concentration	13
Tableau 4 : le débit décennal	14
Tableau 5 : Estimation du débit centennal.....	14

I. Etude hydrologique

I.1 LE CONTEXTE HYDRAULIQUE

I.1.1 Rappel du secteur d'étude

La station d'épuration de Forbach est située en rive droite de la Rosselle au niveau où les ruisseaux de Bruchgraben et Muhlbach confluent avec celle-ci côté rive droite.

Le contexte hydrographique local se place dans le bassin versant du cours d'eau de la Rosselle, affluent rive gauche de la Sarre quelques kilomètres plus en aval en Allemagne.

La Rosselle cours d'eau Franco-Allemand, prend sa source à 309 m d'altitude sur la commune de Longeville-lès-Saint-Avold, dans le département de la Moselle, et se jette 38 km plus loin dans la Sarre en Allemagne aux environs de Völklingen. Peu avant la Sarte, elle forme donc la frontière entre la France et l'Allemagne entre Mosbach et Petite-Roselle en France et Großrosseln en Allemagne.

Après la frontière franco-allemande, son cours se poursuit et rejoint en rive gauche la Sarre affluent de la Moselle et donc sous-affluent du Rhin.

Sur la commune de Forbach la Rosselle réceptionne trois affluents rive droite, d'amont en aval :

- Le Muhlbach,
- Le Bruchgraben,
- Le Schahbach.

Le Grohbruchbach conflue également avec la Rosselle côté rive gauche.

Le Bruchgraben est doté d'un bassin de rétention en aval du Puits Simon. Pour rester sécuritaire, ce bassin n'est pas pris en compte dans le calcul des débits d'occurrence cent ans compte tenu de son dimensionnement.

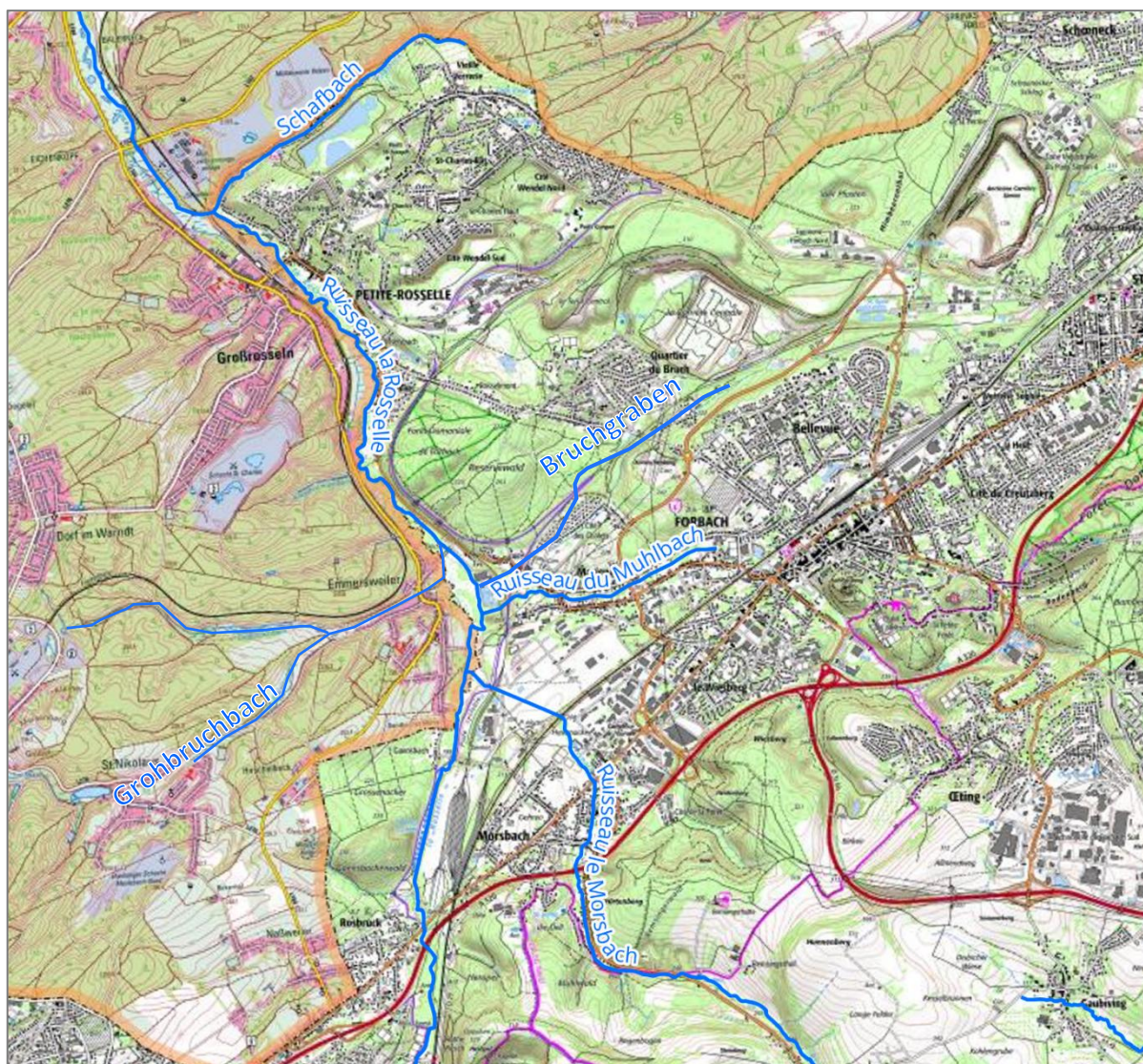


Figure 1 : Contexte hydrographique local



Figure 2 : le secteur d'étude – photographie aérienne et plan IGN – source : geoportail.gouv.fr

1.1.2 Caractéristiques des cours d'eau

La délimitation des bassins versants du Muhlbach et du Bruchgraben est faite sur la base du RGE Alti (source IGN) et des plans du réseau de collecte des eaux pluviales. L'occupation des sols est établie à partir de la base de données Corine biotope.

Pour le Grohbruchbach, la délimitation et l'occupation des sols sont établis sur la base des données IGN et de la photo aérienne.

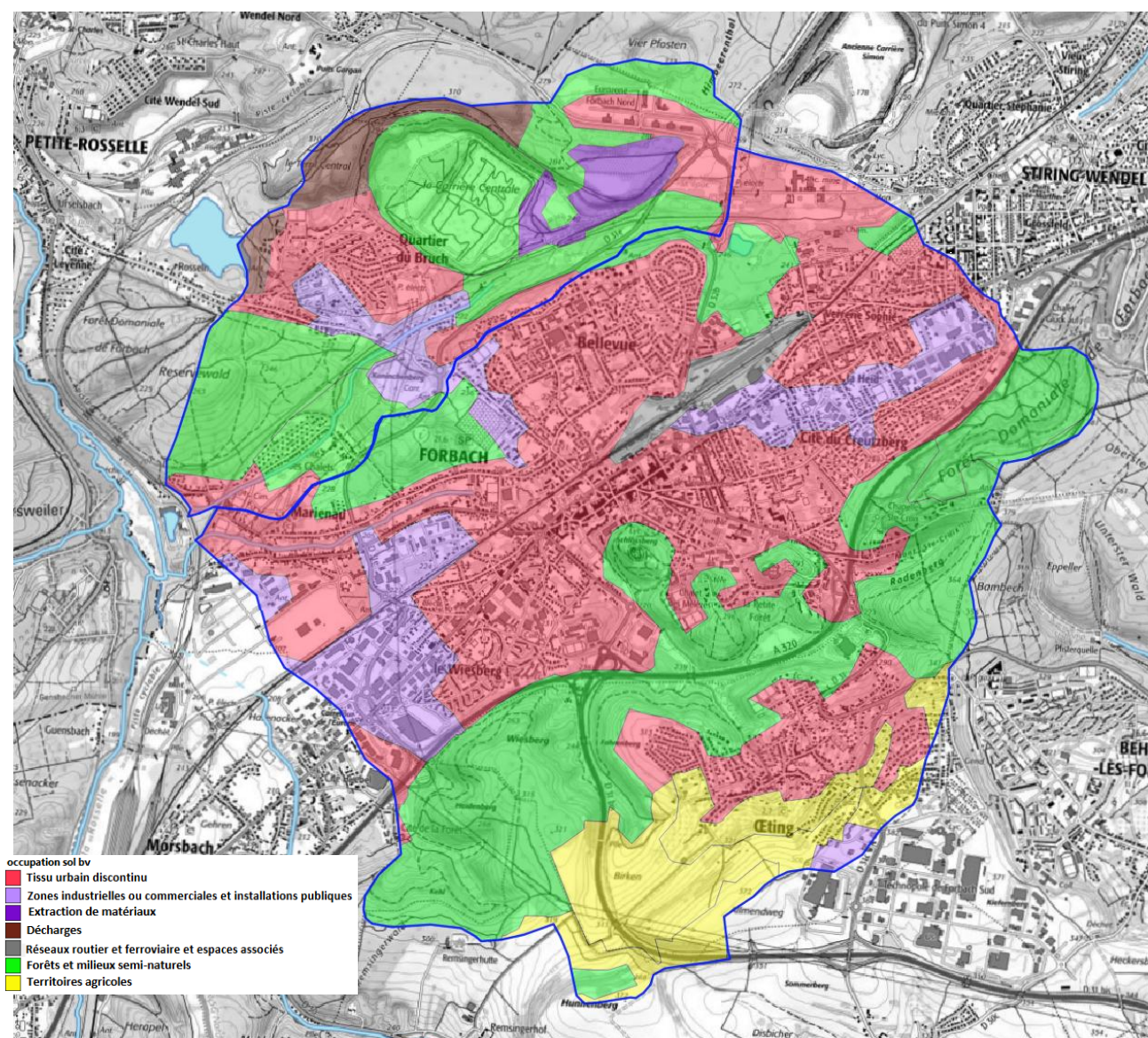


Figure 3 : délimitation des bassins versants et occupation des sols

Les coefficients de ruissellement utilisés sont les suivants :

Tissu urbain discontinu : 0.4

Zones industrielles ou commerciales et installations publiques : 0.7

Réseaux routier et ferroviaire et décharges : 0.9

Carrière : 0.7

Territoires agricoles : 0.2

Forêts : 0.1

	Surface en km ²	Plus long parcours hydraulique en km	Pente moyenne	Coefficient de ruissellement
Muhlbach	15.071	5.09	3.1%	0.37
Bruchgraben	4.679	4.14	2.5%	0.43
Grohbruchgraben	10.20	5.81	2.2%	0.16

I.2 ETUDE HYDROLOGIQUE

L'objectif de l'étude hydrologique est de fournir les débits caractéristiques de crues nécessaires à l'étude hydraulique : crue décennale (Q10), vingtennaire (Q20) et cinquantenaire (Q50) pour la Rosselle et ses deux affluents le Muhlbach et le Bruchgraben.

Seul le cours d'eau de la Rosselle fait l'objet d'un suivi limnimétrique.

I.2.1 Méthodologie

La méthodologie pour l'estimation des débits de crues diffère selon les caractéristiques des bassins versants. On distinguera la Rosselle qui présente un bassin versant de 190 km² suivi par une station limnimétrique et les ruisseaux de Muhlbach et Bruchgraben dont la taille des bassins versants est inférieure à 10 km². Pour ces derniers les méthodes Crupedix, rationnelle et de transition seront utilisées.

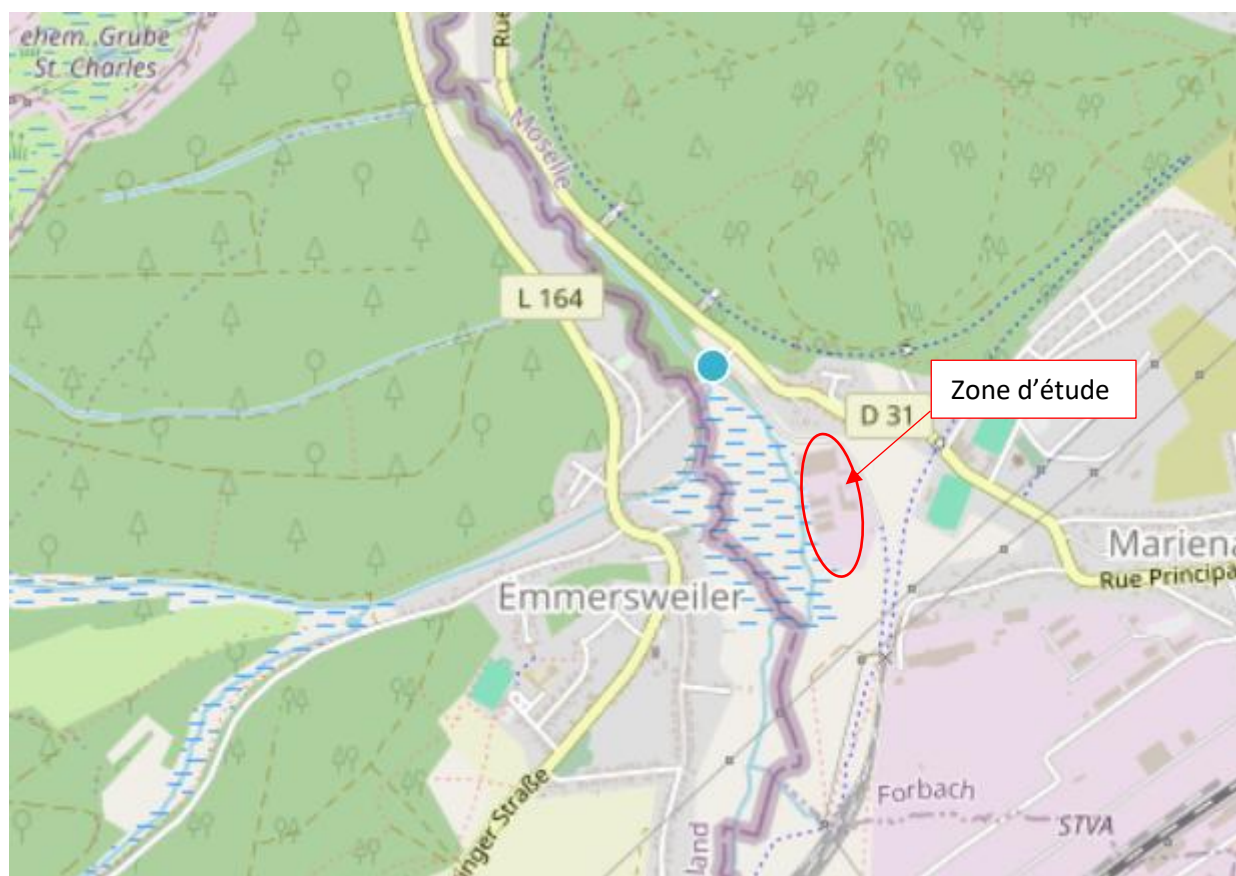


Figure 4 : localisation de la station limnimétrique de la Rosselle

I.2.1.1 Le temps de concentration

Ce paramètre est important car il traduit le comportement du bassin versant lors de précipitations. Le temps de concentration T_c correspond au temps mis par une goutte d'eau tombée à l'extrémité du bassin versant pour rejoindre l'exutoire. On l'estime à la durée entre la fin de la pluie et la fin du ruissellement.

Plusieurs méthodologies sont utilisées pour estimer le temps de concentration. Les paramètres suivants ont été nécessaires :

- T_c , temps de concentration en minutes,
- S , aire du bassin versant en km^2 ,
- L , longueur du plus long parcours hydraulique en km,
- i , pente moyenne en m/m.

I.2.1.1 La formule rationnelle

La méthode rationnelle est fondée sur le phénomène de transformation de la pluie en débit.

L'intensité de la pluie de fréquence de retour 10 ans est calculée avec la formule de Montana, pour une durée égale au temps de concentration du bassin versant, à l'aide des coefficients a_{10} et b_{10} de même fréquence de retour.

$$I_{10} = a_{10} T_c^{-b_{10}}$$

- avec :
- I_{10} intensité de la pluie de fréquence de retour 10 ans en mm/heure
 - T_c temps de concentration du bassin versant en heure
 - a_{10} et b_{10} les coefficients de Montana de fréquence de retour 10 ans

Formule rationnelle : $Q = \frac{1}{3600} \times C \times i \times S$

- avec :
- Q : débit (l/s),
 - C : coefficient de ruissellement du bassin versant,
 - i : intensité de la pluie (mm/h), calculée à partir des coefficients de Montana
 - S : superficie du bassin versant (m^2).

I.2.1.2 La formule Crupedix

Cette approche se base sur une estimation empirique du débit décennal de type Crupedix régionalisé selon un découpage en Hydro-écorégion (HER). Cette approche permet le calcul du débit décennal à partir de la pluie décennale journalière et de la surface du bassin versant.

La méthode CRUPEDIX permet d'estimer le débit maximum instantané de fréquence décennale en fonction de la superficie et de la pluie journalière décennale. Elle possède l'avantage d'aboutir à une formule très simple d'utilisation :

$$Q_{IX} = R S^{0.8} (P/80)^2$$

P est la pluie journalière décennale en mm,

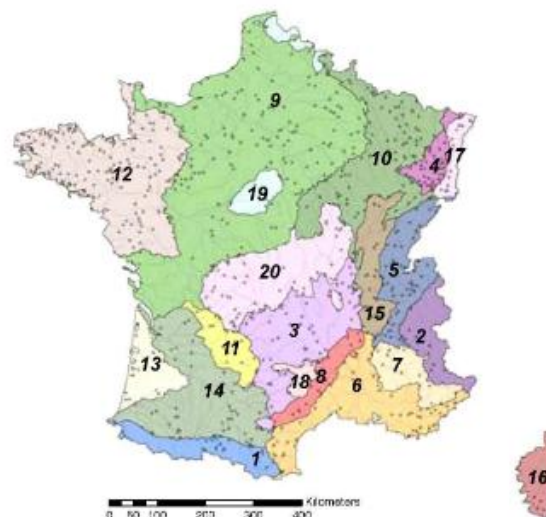
S est la superficie en km²

R est un coefficient régional de valeur moyenne unité.

Dans le cas présent, le coefficient régionalisé est pris égal à 1.

Avec la formule régionalisée pour l'hydro-éco-région 10 (table calcaire), le débit décennal est estimé par la formule suivante :

$$Q_{10} = 1.45 \cdot 10^{-3} \times S^{0.81} \times P^{1.51} = 4.05 \text{ m}^3/\text{s}$$



Hydro-écorégion	n	Formule empirique	R ²	R ² (validation croisée)	Nash	Nash (validation croisée)	IC 70%
10 - Côtes calcaires de l'Est	77	$1.45 \cdot 10^{-3} \cdot S^{0.81} \cdot P^{1.51}$	0.84	0.83	0.76	0.74	[0.68 Q; 1.48 Q]

1.2.1.3 La formule de transition

Les deux formules précédemment décrites ne s'appliquent pas à tous les bassins versants. En effet, la formule rationnelle n'est valable que pour de très petits bassins versants, alors que la formule Crupédix s'applique à des bassins versants de 10 à 100 km².

En fait, les limites couramment admises sont les suivantes :

- Pour les bassins versants dont la superficie est inférieure à 1 km², on applique la formule rationnelle ;
- Pour les bassins versants dont la superficie est supérieure à 10 km², on applique la formule Crupédix.

En théorie, la formule rationnelle reste valable pour des bassins versants dont la superficie est comprise entre 1 km² et 20 km². Cependant l'expérience montre que la formule rationnelle appliquée à un bassin versant de superficie 20 km² donne un débit très supérieur à celui obtenu par la formule Crupédix pour le même bassin versant.

La formule de transition permet de faire le lien entre ces deux méthodologies et permet de prendre en compte les domaines de validité de ces deux formules pour des bassin versant dont la surface est comprise entre 1 et 20 km².

Le débit décennal s'écrit alors : $Q_{10} = \alpha Q_{10R} + \beta Q_{10C}$

Q_{10R} : débit décennal obtenu par la méthode rationnelle ;

Q_{10C} : débit décennal obtenu par la formule Crupédix ;

$$\alpha = \frac{10-S}{9} \text{ et } \beta = 1 - \alpha$$

I.2.1.4 Evaluation des débits centennaux

L'évaluation du débit centennal est obtenue à partir du débit décennal de la formule Crupédix en appliquant un coefficient de corrélation : $Q_{100} = a \times Q_{10}$. Jusqu'à 20 km², a est déterminé en appliquant la formule rationnelle, au-delà, il est déterminé à partir des données provenant des cours d'eau jaugés sur des bassins versants représentatifs à proximité du projet. A défaut, $a = 2$ au minimum

I.2.2 La Rosselle

I.2.2.1 Le régime hydrologique

Le tableau suivant reprend les moyennes des débits mensuels à la station limnimétrique présente juste en aval.

	S bv en km ²	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
débit en m ³ /s														
La Rosselle	190	2.2	2.29	1.86	1.5	1.49	1.32	1.35	1.24	1.21	1.35	1.62	2.23	1.63
débit spécifique en l/s/km ²														
Lame d'eau en mm		11.6	12.1	9.8	7.9	7.8	6.9	7.1	6.5	6.4	7.1	8.5	11.7	271

Tableau 1 : les débits mensuels de la Rosselle

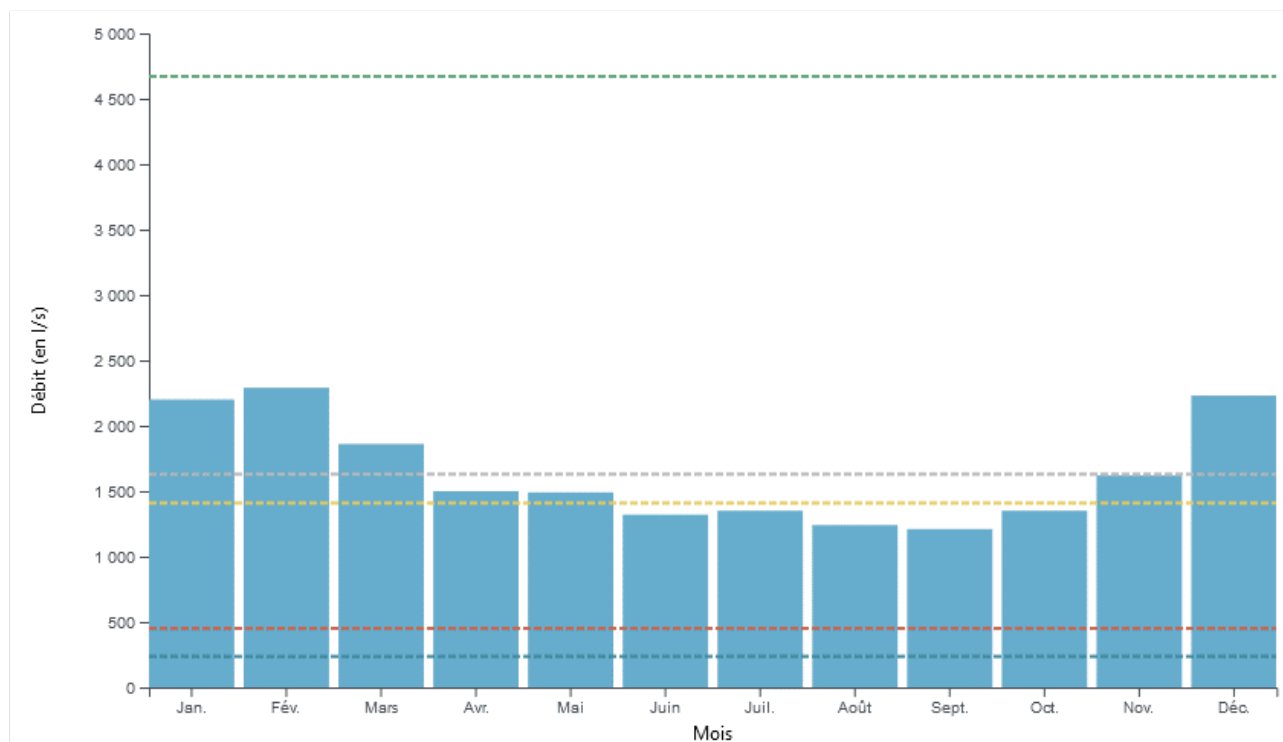


Figure 5 : répartition des débits mensuels de la Rosselle

I.2.2.2 Les débits instantanés de crues

Source : <https://hydro.eaufrance.fr>

Les débits de crues sont estimés au niveau des stations limnimétriques par un ajustement de Gumbel. Les données qui nous intéressent par la suite sont les débits de crues instantanés à la station de la Rosselle à Forbach [Petite-Rosselle] de 2008 à 2024.

Débit en m ³ /s	Sbv en km ²	Q ₂		Q ₅		Q ₁₀		Q ₂₀	
La Rosselle	190	17,3	[14,2 ; 20,8]	23,6	[18,6 ; 29,5]	27,7	[21,4 ; 35,5]	31,7	[23,6 ; 41,1]

Tableau 2 : estimation des débits de crue instantanés de la Rosselle à Forbach

En poursuivant l'extrapolation de Gumbel jusqu'à l'occurrence centennale, on obtient le débit de crue centennale de la Rosselle : 40,7 m³/s

L'évaluation du débit centennal peut également être obtenue à partir du débit décennal en appliquant un coefficient de corrélation : $Q_{100} = a \times Q_{10}$ avec $a = 2$ au minimum. En utilisant ce ratio multiplicatif, le débit centennal est estimé à 55,4 m³/s. Ce débit est plus pénalisant.

Le débit centennal de la Rosselle retenu dans l'étude relative au PPRI de Rosbruck est de :

- au niveau du pont d'Emmersweiler 55 m³/s (juste en aval de la station d'épuration)
- au niveau du pont de Guensbach, en amont de la confluence avec le Morsbach, de 48 m³/s.

Par la suite le débit retenu sera de 55 m³/s pour le débit de pointe de la crue centennal de la Rosselle, valeur arrondie du débit estimé ci-dessus et valeur retenue dans l'étude hydrologique ayant servie de base au PPRI de Rosbruck.

I.2.3 Les affluents de la Rosselle

I.2.3.1 Les temps de concentration

	Muhlbach	Bruchgraben	Grohbruchbach	
Tc, temps de concentration en minutes				
S, aire du bassin versant en km ² ,	15.071	4.697	10.20	
L, longueur du plus long parcours hydraulique en km,	5.78	4.14	5.81	
i, pente moyenne en m/m.	3.1%	2.5%	2.16%	
coef de ruissellement	0.39	0.38	0.16	
Temps de concentration selon les formules de :				
<i>Passini</i>	157	110	172	minutes
<i>Giandotti</i>	138	110	144	minutes
<i>Ventura</i>	168	104	166	minutes
<i>Turraza</i>	253	141	208	minutes
<i>Richards</i>	115	98	229	minutes
<i>moyenne</i>	166	113	180	minutes

Tableau 3 : calcul du temps de concentration

Le temps de concentration retenu sera de 166 minutes (soit environ 1h45) pour le Muhlbach, 113 minutes pour le Bruchgraben (soit environ 1h50) et 180 minutes pour le Grohbruchbach (3 heures).

I.2.3.2 Estimation du débit décennale

Les résultats du calcul du débit décennal par la formule de Crupedix, la formule régionalisée et la formule rationnelle sont repris dans le tableau suivant :

	Surface en km ²	Pluie journalière décennale	Crupedix	Crupedix régionalisée (région 10)	rationnelle	transition
Muhlbach	15.071	55 mm	4.8	6.2	15.8	
Bruchgraben	4.679	55 mm	1.9	2.4	7.8	5.4
Grohbruchbach	10.20	55 mm	3.5	4.5	4.8	

Tableau 4 : le débit décennal

Pour le Bruchgraben, le débit décennal retenu par la suite est celui issu de la formule de transition soit 5.4 m³/s. Pour le Muhlbach, le bassin versant est supérieur à 10 km². La formule de transition ne s'applique pas. Le débit retenu devrait être celui de Crupedix régionalisé soit 6.2 m³/s. Ce débit semble sous-estimé par rapport à celui du Bruchgraben.

La formule de transition peut être étendue jusqu'à un bassin versant de 20 km². Le débit du Muhlbach est avec cette méthodologie estimée à 7.7 m³/s.

Les débits retenus sont les suivants

$$Q_{10} \text{ Bruchgraben} = 5.4 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{10} \text{ Muhlbach} = 7.7 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{10} \text{ Grohbruchbach} = 4.8 \text{ m}^3/\text{s}$$

I.2.3.1 Estimation du débit centennale

Deux approches sont menées pour le calcul de la crue centennale.

En première approche, afin d'obtenir un ordre de grandeur, on peut estimer $Q_{100}^i = 2 \times Q_{10}^i$. Le débit centennal est estimé à respectivement 15.4 et 10.8 m³/s pour le Muhlbach et le Bruchgraben.

En seconde approche, le calcul du débit centennal peut être basé sur la formule rationnelle avec prise en compte d'une rétention initiale et ajustement du coefficient de ruissellement pour tenir compte de la saturation progressive des terrains.

$$\text{Rétention initiale : } P_0 = \left(1 - \frac{C_{10}}{0.8}\right) \times P_{10}$$

$$\text{Coefficient de ruissellement : } C_{100} = 0.8 \times \left(1 - \frac{P_0}{P_{100}}\right)$$

	Muhlbach	Bruchgraben	Grohbruchbach	Unité
Surface	15.07	4.70	10.20	km ²
P ₁₀ =	30.4	27.6	31.5	mm
P ₀ =	18.2	14.5	25.2	mm
P ₁₀₀ =	47.5	42.8	49.4	mm
C ₁₀ =	0.32	0.38	0.16	
C ₁₀₀ =	0.494	0.530	0.39	
i ₁₀₀	18.4	24.5	16.5	mm/h
Q ₁₀₀ =	38.0	17.0	15.7	m ³ /s
Rapport Q ₁₀₀ /Q ₁₀	2.4	2.2	3.3	

Tableau 5 : Estimation du débit centennal

L'estimation du débit centennale par la formule rationnelle montre que la simple utilisation d'un facteur 2 entre la crue décennale et centennale tend à légèrement sous-estimer le débit de pointe de la crue centennale.

Le rapport entre le débit de pointe de la crue décennale et centennale calculé par la méthode rationnelle est respectivement de 2.2, 2.4 et 3.3. Ce rapport est conservé. Le débit de pointe de la crue centennale est estimé à 18,5 m³/s pour le Muhlbach, 11,8 m³/s pour le Bruchgraben et 15.7 m³/s pour le Grohbruchbach.

1.2.4 Composition des hydrogrammes

Du fait de la taille des bassins versants très différente entre la Rosselle d'une part et ses trois affluents d'autre part, il n'est pas possible d'additionner les débits de pointes des crues des différents cours d'eau. Cela conduirait à une surestimation des débits.

Plus le bassin versant est grand et son temps de concentration élevé, plus l'eau mettra du temps à atteindre son exutoire. À l'inverse, un petit bassin réagira plus rapidement aux précipitations. La forme et la durée des hydrogrammes sont très différentes. Par conséquent, les réponses hydrologiques des bassins ne seront pas synchrones, rendant la simple addition des débits de pointes incohérente.

Les hydrogrammes qui seront utilisés pour la modélisation sont les suivants :

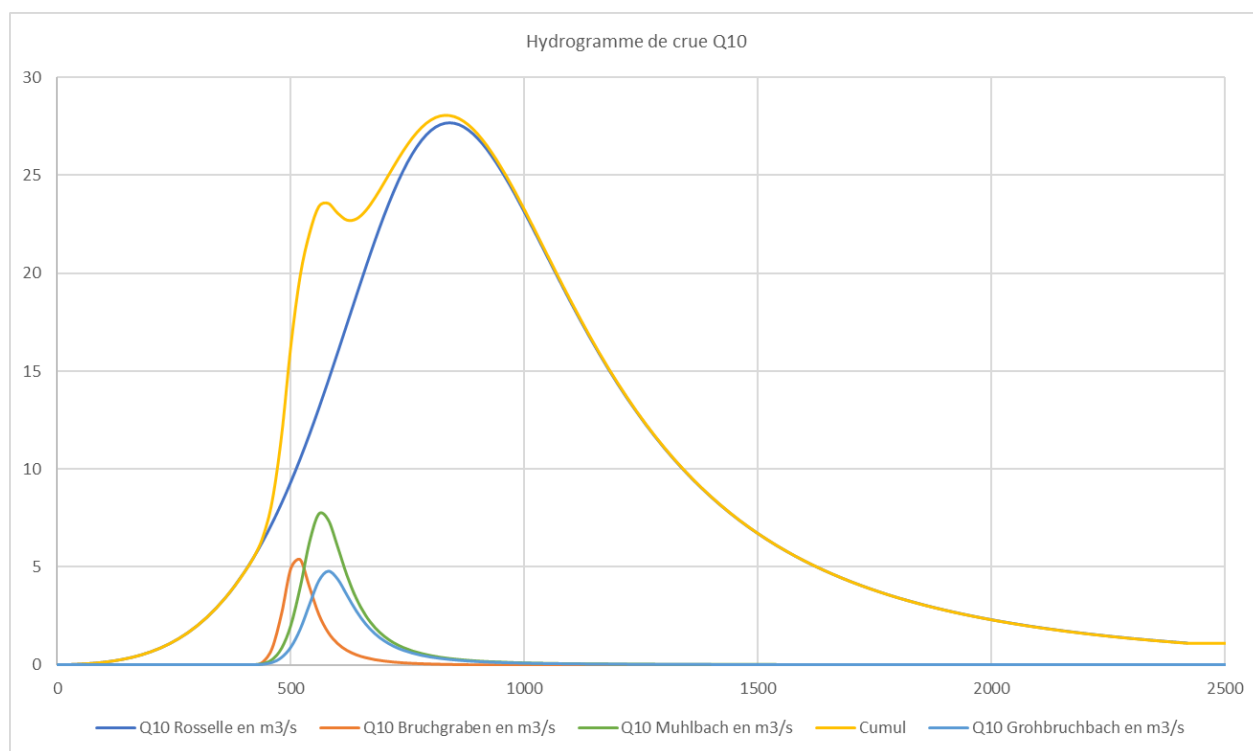


Figure 6 : hydrogramme de crue décennale

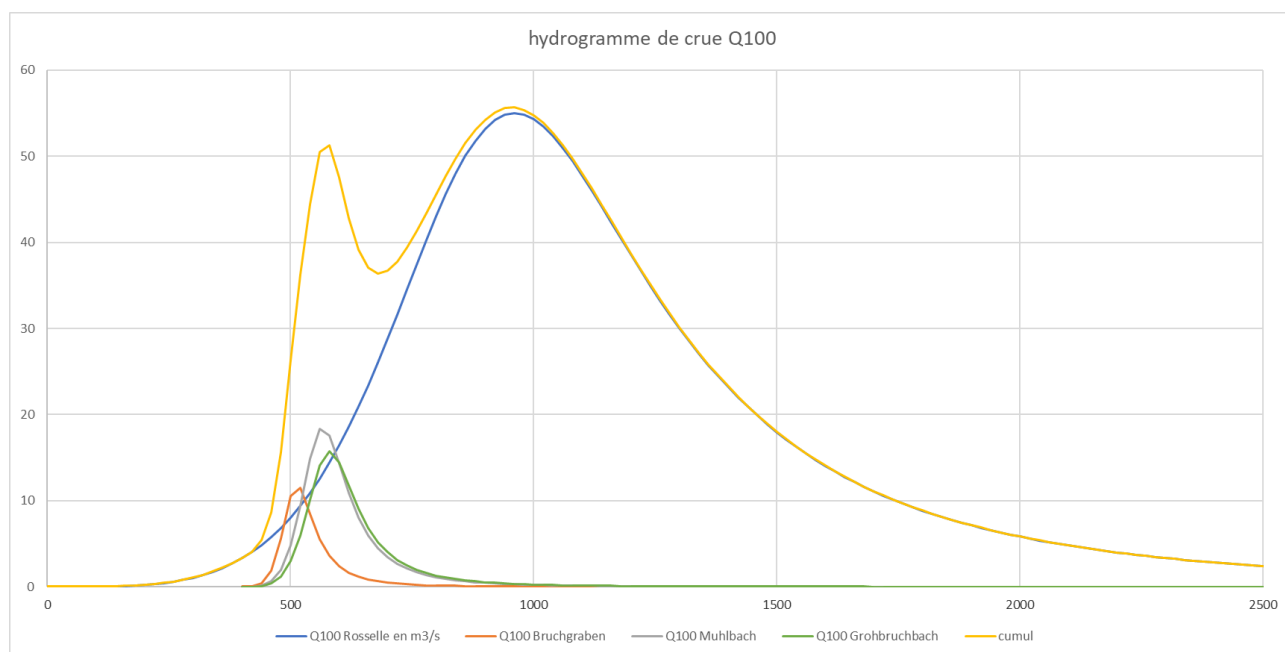


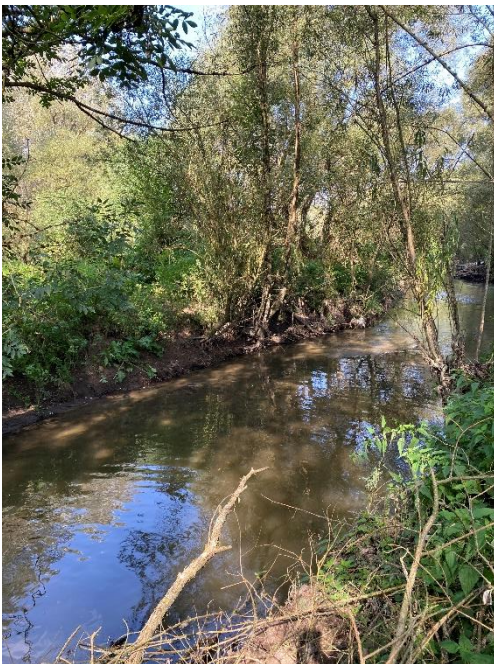
Figure 7 : hydrogramme de crue centennale

II. Modélisation des écoulements

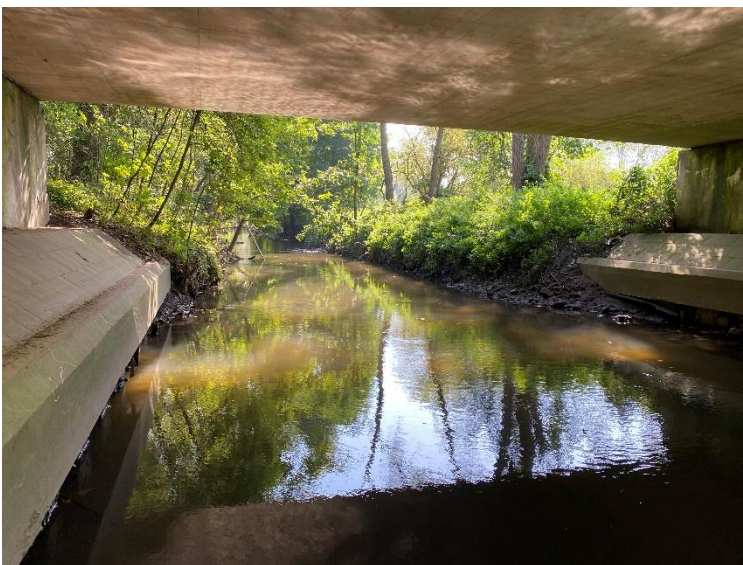
II.1 LES CONDITIONS D'ÉCOULEMENTS

II.1.1 La Rosselle

La Rosselle présente un lit relativement homogène sur l'emprise du modèle avec une largeur de lit de l'ordre de 7 à 8 m.



La Rosselle au droit de la station d'épuration



Pont en aval de la station d'épuration



écoulement en aval du pont

II.1.2 Le Bruchgraben

L'écoulement du Bruchgraben se fait par une succession de tronçons à l'air libre et de tronçons busés. Sur les secteurs à l'air libre, le cours d'eau est difficilement perceptible en raison d'une végétation buissonnante en berge très dense. Le lit est envahi par la végétation.



1. Passage à l'air libre au niveau de la station d'épuration
2. Tronçon en aval de la rue Principale Marienau



3. Entrée du busage en amont de la rue du chemin Creux
4. Cours d'eau en amont de la rue du chemin Creux

II.1.3 Le Muhlbach

L'écoulement du Muhlbach est busé sur l'intégralité de son linéaire au droit de la station d'épuration et en amont. L'écoulement se fait dans un ovoïde de 2400x1500 puis 2500x1600 en aval de la rue principale Marienau.

L'ovoïde dépasse du sol et est visible sur une partie de son tracé.



Ovoïde 2400x1500

II.1.4 Le PPRI

Le PPRI de Forbach est relativement ancien. Il a été approuvé le 23 juillet 2002 et révisé le 28 décembre 2010. La carte des zones inondables a été établie à partir d'une modélisation effectuée sur le logiciel Carima. Le débit de pointe de la Rosselle utilisé est de $55 \text{ m}^3/\text{s}$ au pont d'Emmersweiler, juste en aval de la station d'épuration de Forbach.

Sur la base des lignes d'eau du PPRI et du plan topographique de la station d'épuration de Forbach, on peut observer que celle-ci n'est pas inondable par les crues de la Rosselle.

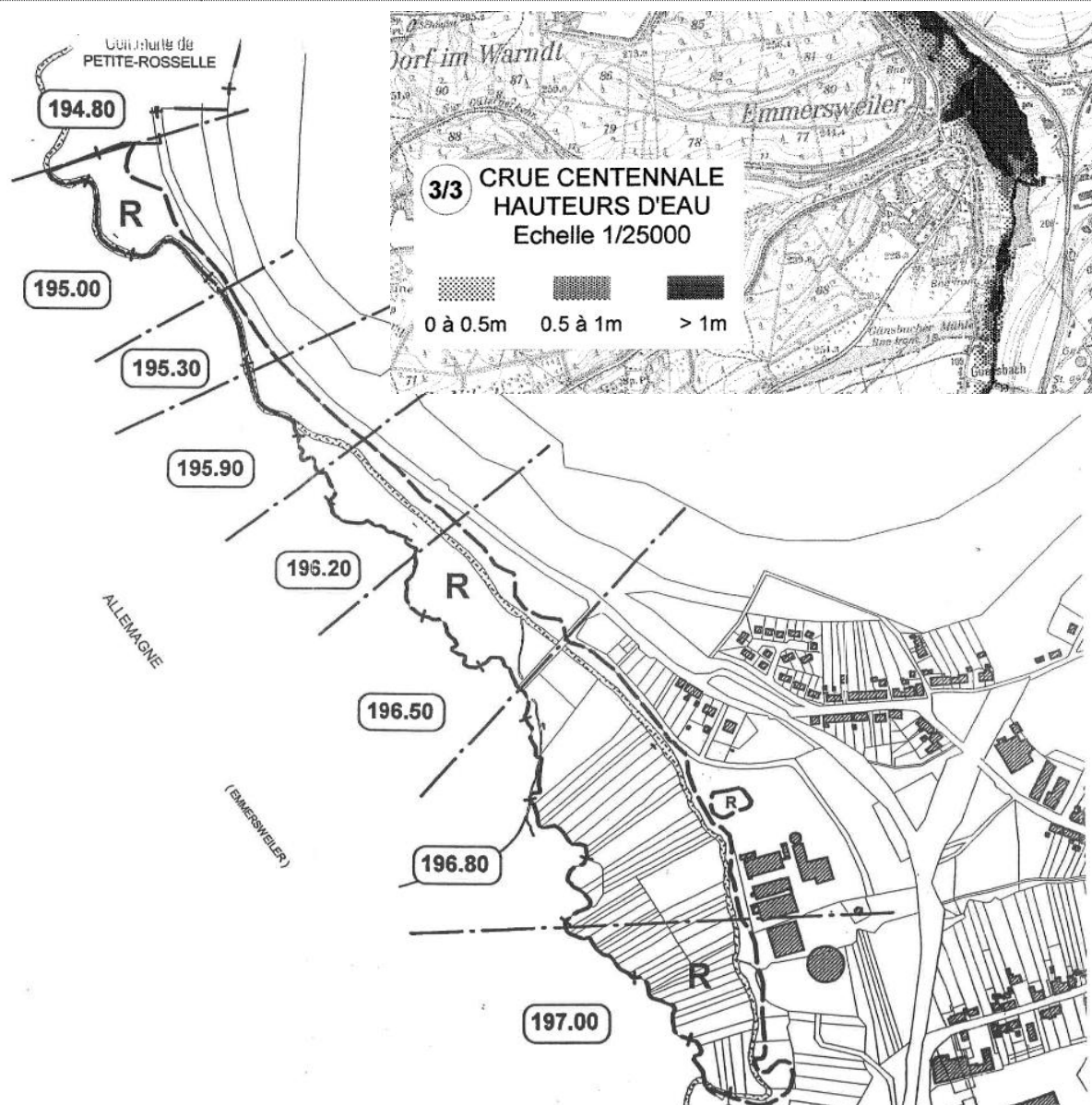


Figure 8 : extrait du PPRI

II.2 CONSTRUCTION DU MODELE

II.2.1 Etendue du modèle

La topographie a été extraite du site IGN. Il s'agit d'un levé LIDAR (télédétection par LASER) avec un maillage de 1m. Le Lidar est complété par le lever topographique réalisé au niveau de la station d'épuration

Pour construire le MNT servant à la modélisation, on a utilisé le LIDAR sur lequel on a superposé le MNT de la rivière.

Les éléments « particuliers » (ouvrages, ...) rencontrés sur le secteur modélisé ont été représentés dans la mesure des données disponibles. Il s'agit notamment du franchissement de la Rosselle en aval de la station d'épuration et des busages des ruisseaux du Bruchgraben.

Dans la modélisation, le Muhlbach est uniquement considéré comme un apport d'eau au niveau de son exutoire. Ce cours d'eau est intégralement busé sur l'emprise du modèle.

II.2.2 Présentation du logiciel

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System) est un logiciel développé par l'US Army Corps of Engineers, destiné à la modélisation hydraulique des écoulements fluviaux et à l'analyse des systèmes hydrauliques. HEC-RAS permet de simuler les écoulements en rivière, les inondations, ainsi que d'évaluer les impacts des infrastructures hydrauliques. Le logiciel se distingue par sa capacité à modéliser les écoulements en 1D (une dimension) et en 2D (deux dimensions), offrant ainsi une approche détaillée pour la gestion et la planification des ressources en eau.

Dans le cas présent, la modélisation a été réalisée en régime 2D. La modélisation 2D dans HEC-RAS est particulièrement utile pour analyser les écoulements complexes dans les plaines inondables ou les bassins versants avec des topographies variées. Contrairement à la modélisation 1D qui simplifie le problème en suivant un tracé de rivière linéaire, la modélisation 2D en régime transitoire permet de calculer les variations spatiales des écoulements et l'amortissement de l'onde de crue au niveau du champ d'expansion.

HEC-RAS utilise les équations de Saint-Venant pour la modélisation 2D.

La zone d'étude est discrétisée en un maillage 2D, où chaque cellule du maillage représente une unité de calcul. Des conditions aux limites sont imposées avec en amont l'hydrogramme de crue et en aval la hauteur d'eau normale de l'écoulement.

II.2.1 Spatialisation des Manning et Stricker

Au niveau de chaque maille est défini un point de calcul ainsi qu'une rugosité (Manning). La figure qui suit montre la répartition spatiale des Manning. Au niveau du lit mineur, il est retenu une valeur de Manning plutôt faible de 0.04 à 0.06 (soit un Strickler de 16 à 20). En lit majeur, la répartition des Manning a été réalisée sur la base de la carte d'occupation des sols. Il en résulte la répartition suivante :

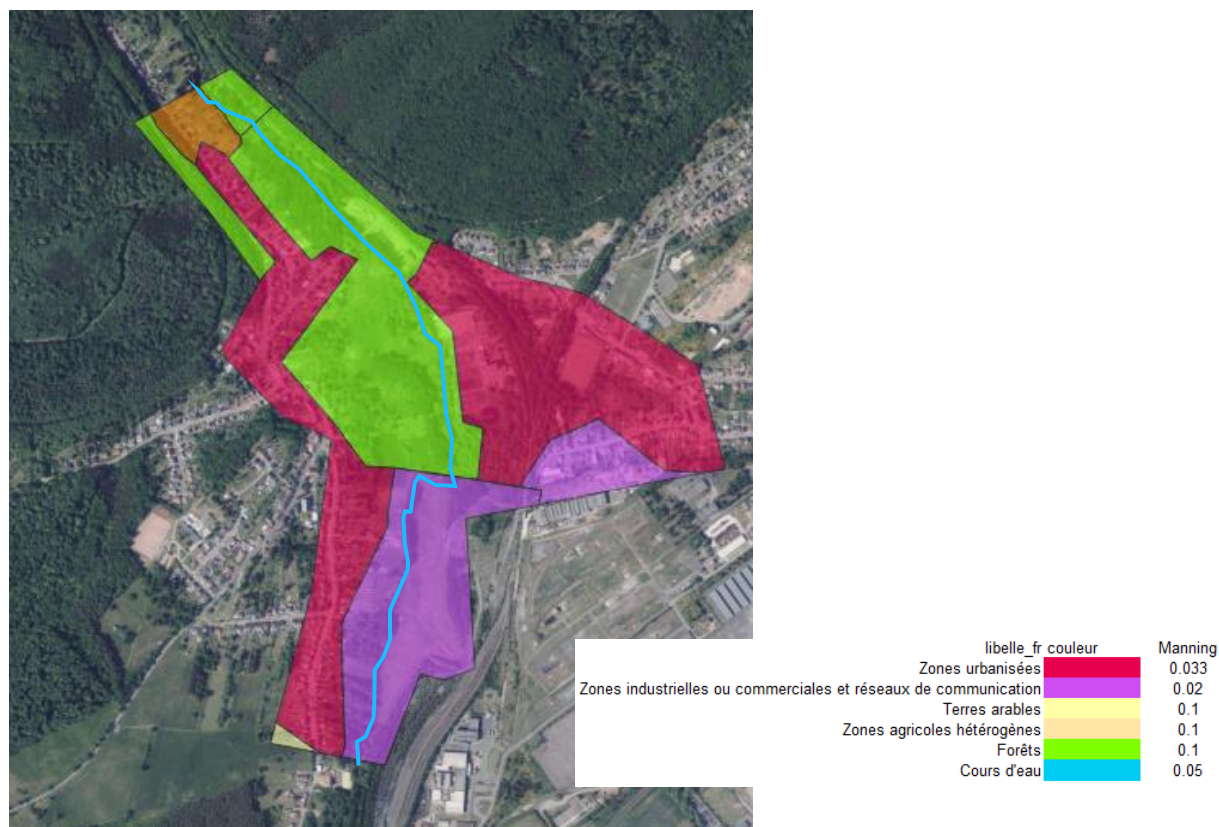


Figure 9 : Choix des Manning au sein du modèle de la Rosselle

II.2.1 Modélisation des ouvrages

Le Modèle Numérique de Terrain inclut les remblais au niveau des ouvrages de franchissement (routier ou voie ferrée). L'ensemble des ouvrages sont modélisés.

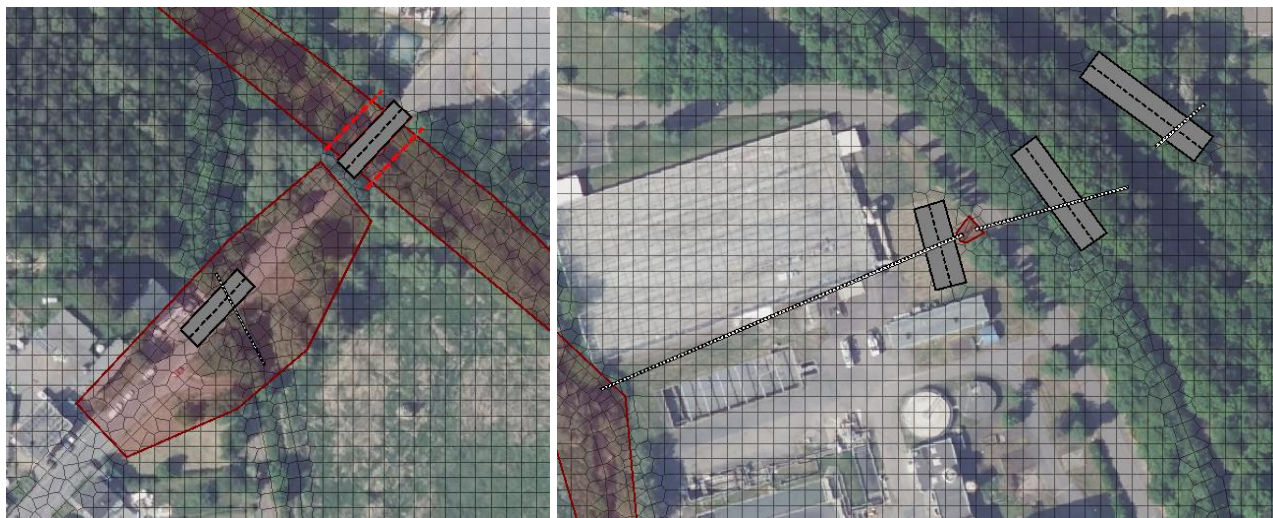


Figure 10 : Exemple d'ouvrages de franchissement

II.2.2 Conditions aux limites

2 conditions à la limite amont et 1 condition à la limite aval sont définies dans le cadre du modèle. Au niveau des conditions aux limites amont sont injectés les hydrogrammes de crues définis dans le cadre de l'étude hydrologique au niveau de la Rosselle et du Bruchgraben et il est imposé une loi hauteur normale. En sortie du modèle, une loi hauteur normale est imposée.

A cela il faut rajouter une condition interne au modèle avec l'injection de l'hydrogramme du Muhlbach.

Ci-après les différents hydrogrammes de crues injectés dans le modèle pour la crue Q100.

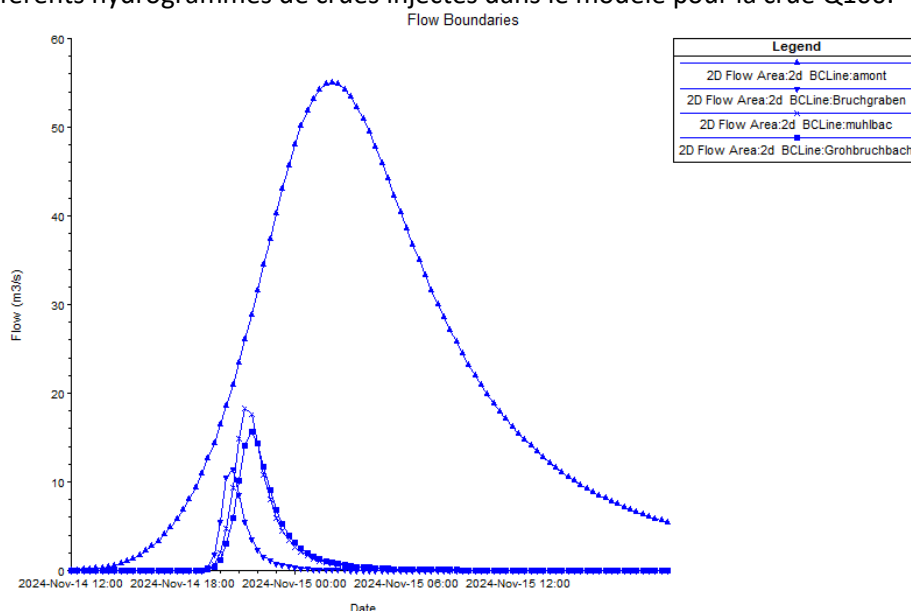


Figure 11 : Hydrogrammes injectés dans le modèle pour la crue centennale

Ci-après la localisation des frontières liquides décrites précédemment. Les frontières liquides intermédiaires correspondent aux apports des sous bassins définis dans l'étude hydrologique.

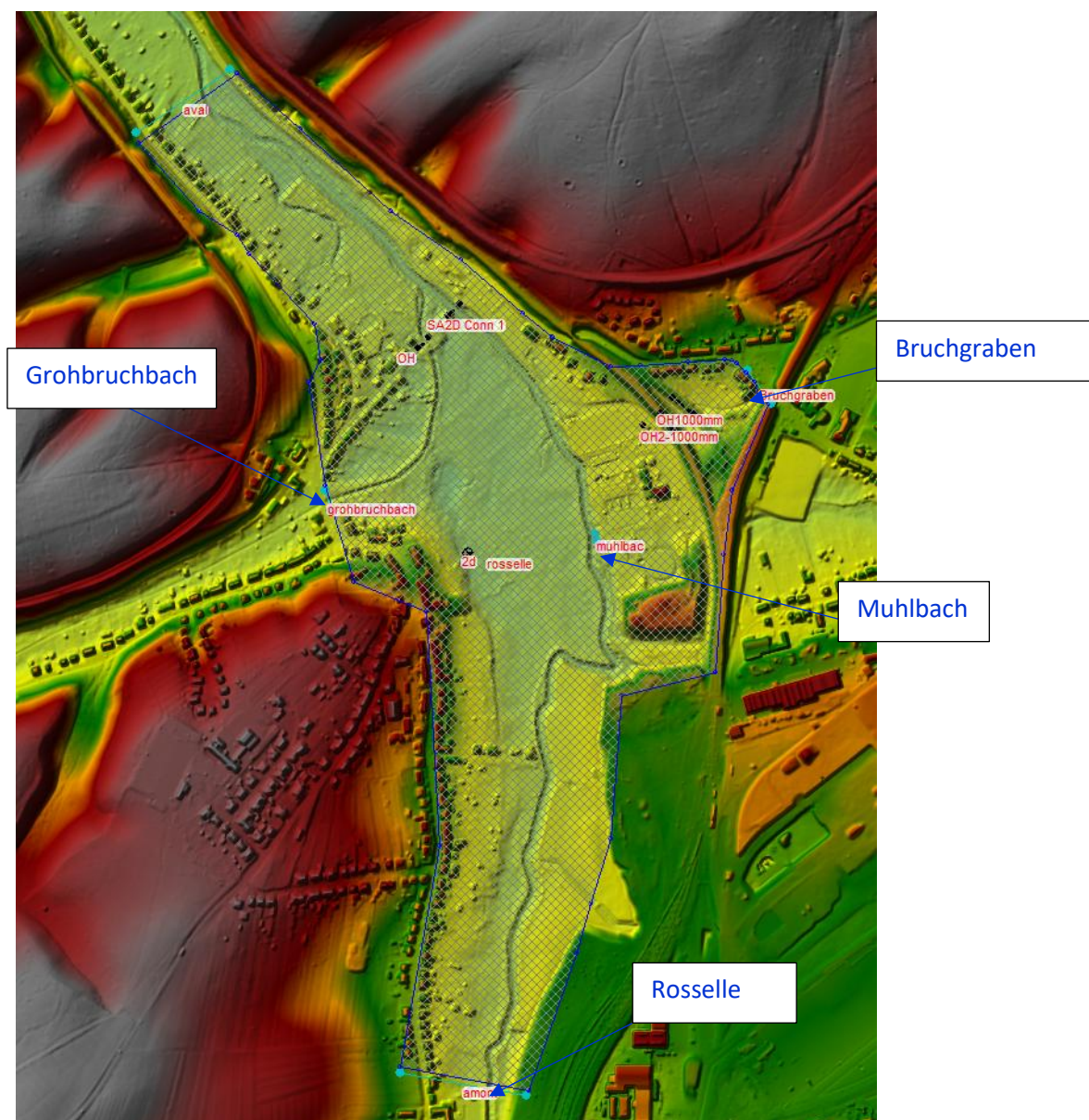


Figure 12 : Localisation des frontières liquides du modèle

II.3 RESULTATS DE LA MODELISATION – ETAT ACTUEL

Les résultats de la modélisation sont présentés sous la forme de carte des hauteurs d'eau et carte des vitesses des écoulements pour les crues.

II.3.1 Crue décennale

Pour la crue décennale de la Rosselle, la modélisation montre des débordements en rive gauche important. Les débordements se produisent pour des débits assez faibles

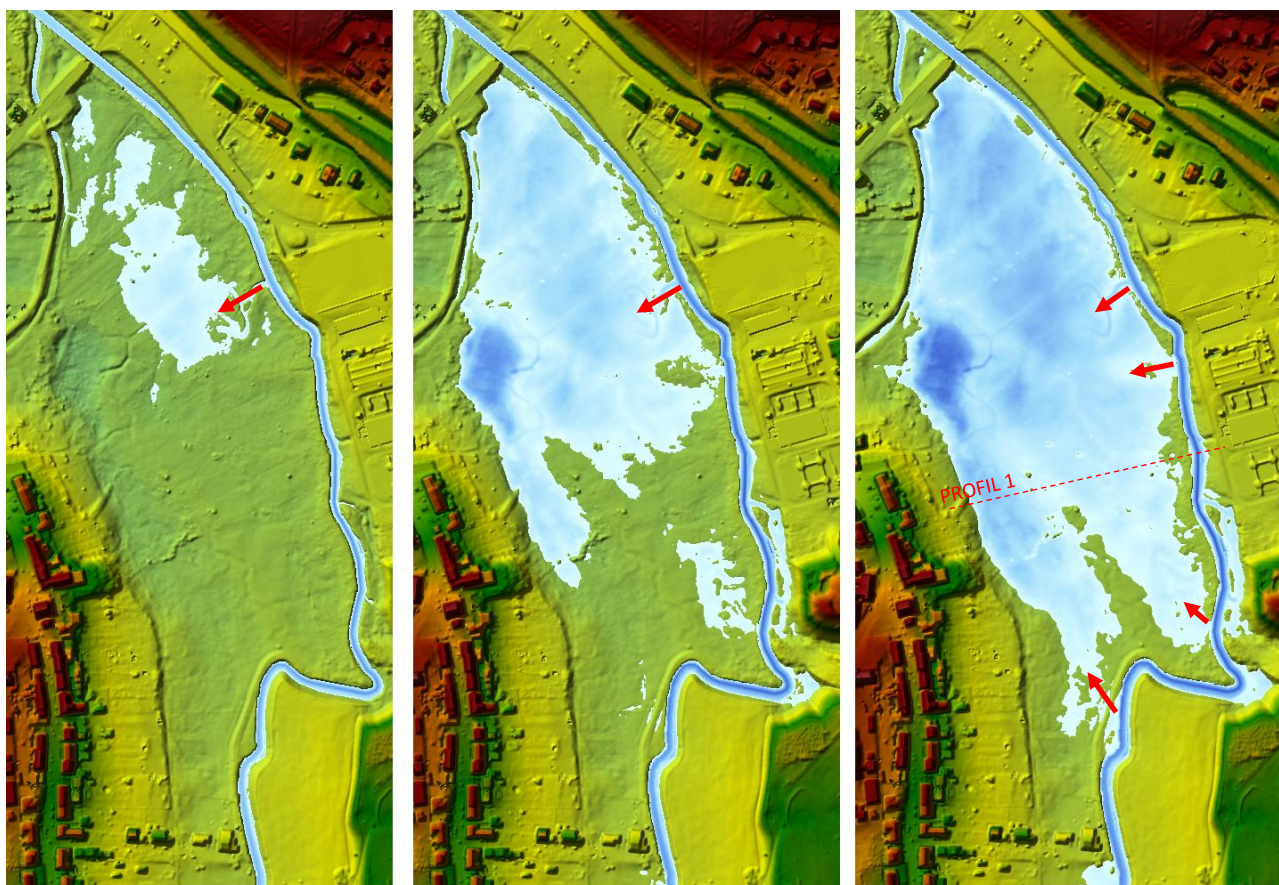


Figure 13 : propagation de l'onde de crue en rive gauche de la Rosselle.

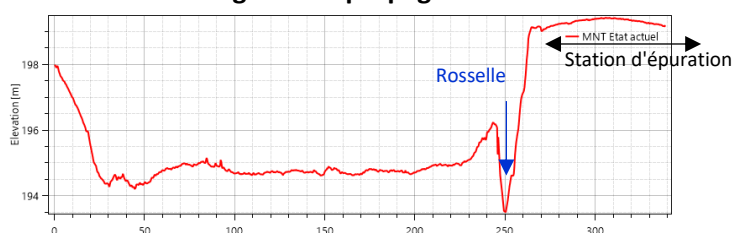
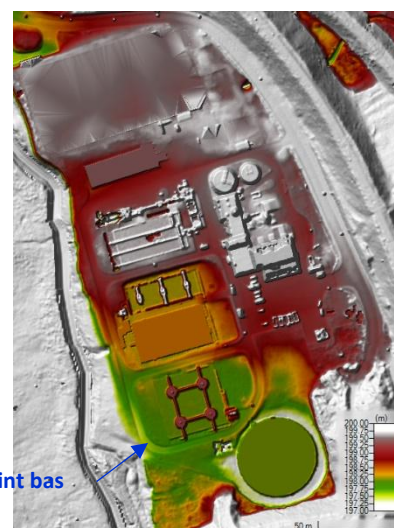


Figure 14 : Coupe du lit de la Rosselle selon le profil 1

Le lit majeur rive gauche joue le rôle de casier de stockage et permet de ralentir la propagation de l'onde de crue.

Pour la crue décennale, les habitations ne sont pas inondées. La station d'épuration est située sur une plate-forme callée entre 197.50 et 199.00 mNGF. Le point bas est situé sur la route qui ceinture la station d'épuration côté sud-ouest. A ce niveau, le débit de la Rosselle en crue décennale est de 196.40 mNGF ce qui laisse une revanche de plus de 1m.

Les ouvrages hydrauliques présents sur le ruisseau du Bruchgraben sont insuffisants pour la crue décennale. On note des débordements en amont de la station d'épuration au niveau de la voie ferrée. Ces débordements sont donnés à titre indicatifs car le modèle ne remonte pas assez en amont pour être représentatif de ce secteur. Des débordements plus en amont sont en effet susceptible de limiter le débit de pointe à ce niveau.



L'écoulement du Bruchgraben au niveau de la station d'épuration se fait par contre sans inondation. Le débit qui est entonné dans le busage 1000 mm amont s'écoule ensuite dans le busage aval sans débordement sur le secteur de quelques mètres à l'air libre.



Figure 15 : carte des zones inondables – Q10 – état actuel (fond de plan photo aérienne bing satellite)

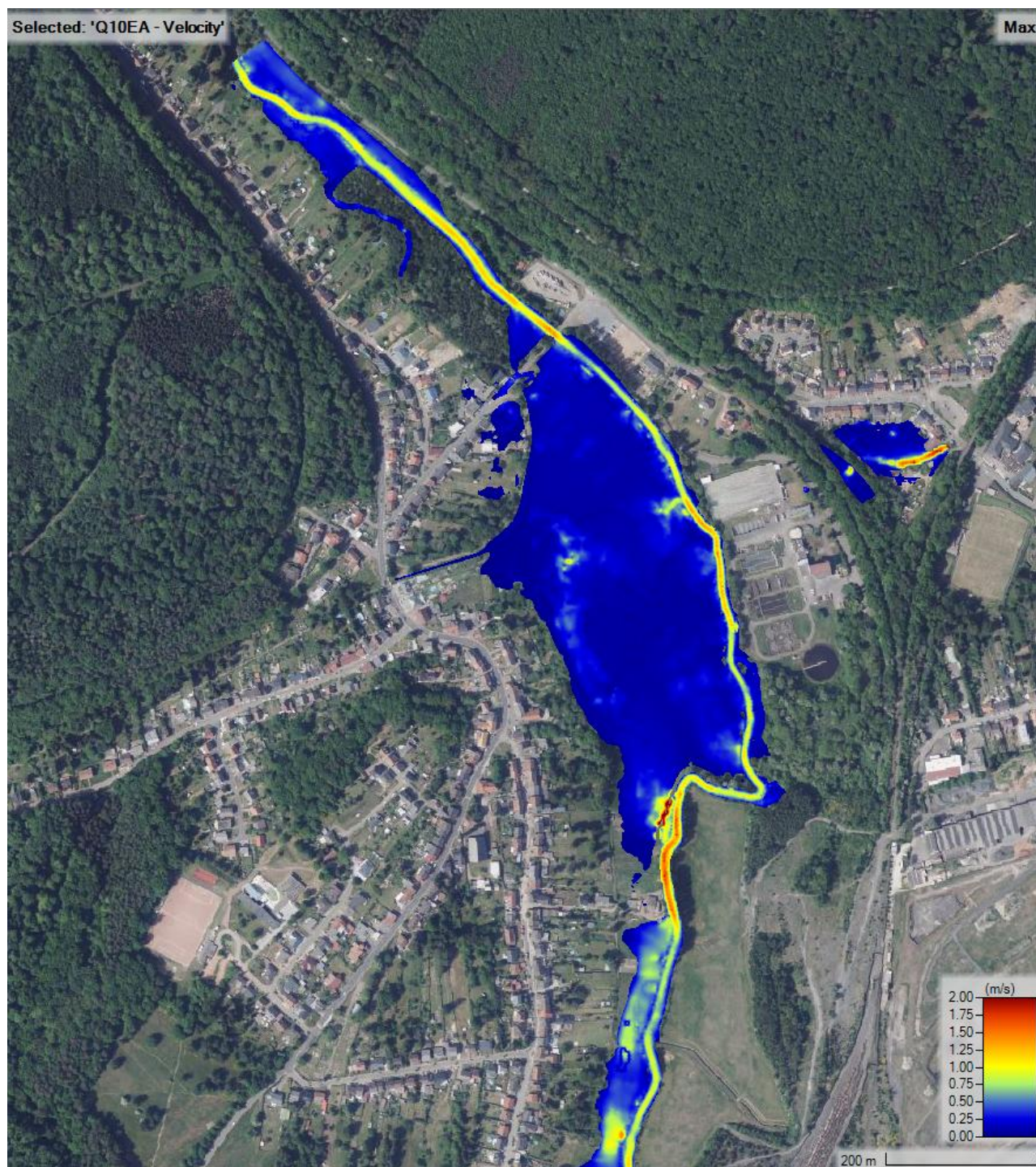


Figure 16 : carte des vitesses – Q10 – état actuel (fond de plan photo aérienne bing satellite)

II.3.2 Crue centennale

La dynamique de l'écoulement de la crue centennale reste similaire à celui de la crue décennale avec des débordements en lit majeur rive gauche. Le niveau de l'eau est par contre plus important de 20 à 35 cm environ selon les secteurs. La modélisation met en évidence une mise en charge du pont sur la Rosselle en aval de la station d'épuration et des débordement sur cet axe.

La station d'épuration est légèrement inondable par le Bruchgraben. La crue centennale déborde en amont de la voie ferrée, cela permet de limiter fortement les débits qui transitent dans la buse 1000 mm.

L'hydrogramme de crue au niveau de la voie ferrée est le suivant :

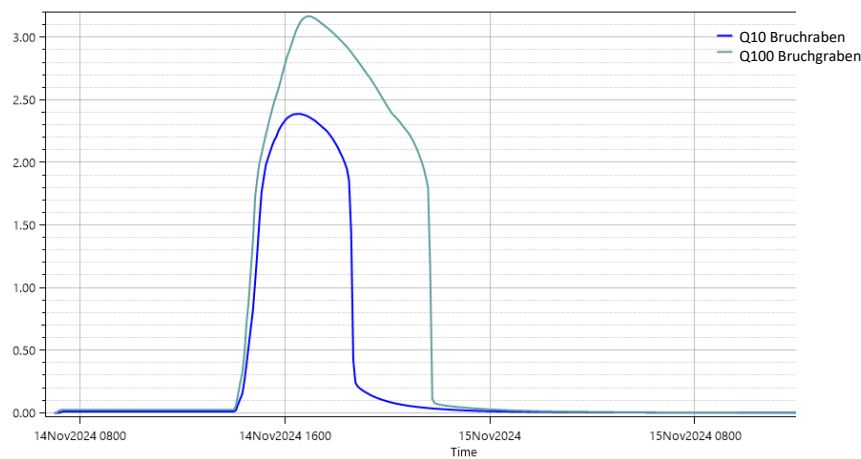


Figure 17 : hydrogramme de crue du Bruchgraben au droit de la station d'épuration

Le débit de pointe en crue centennale est de l'ordre de $3.2 \text{ m}^3/\text{s}$ au maximum mais le passage de la crue est plus long avec une durée de 8 heures. Une partie du débit qui s'écoule dans la buse 1000 mm sous la voie ferrée déborde au niveau de l'emprise de la station d'épuration. La hauteur d'eau reste faible, environ 10 cm au maximum et les vitesses d'écoulements sont également réduites et globalement inférieures à 0.25 m/s .

Les cartes pages suivantes montrent les zones inondables avec indication des hauteurs d'eau et des vitesses au maximum de la crue centennale.

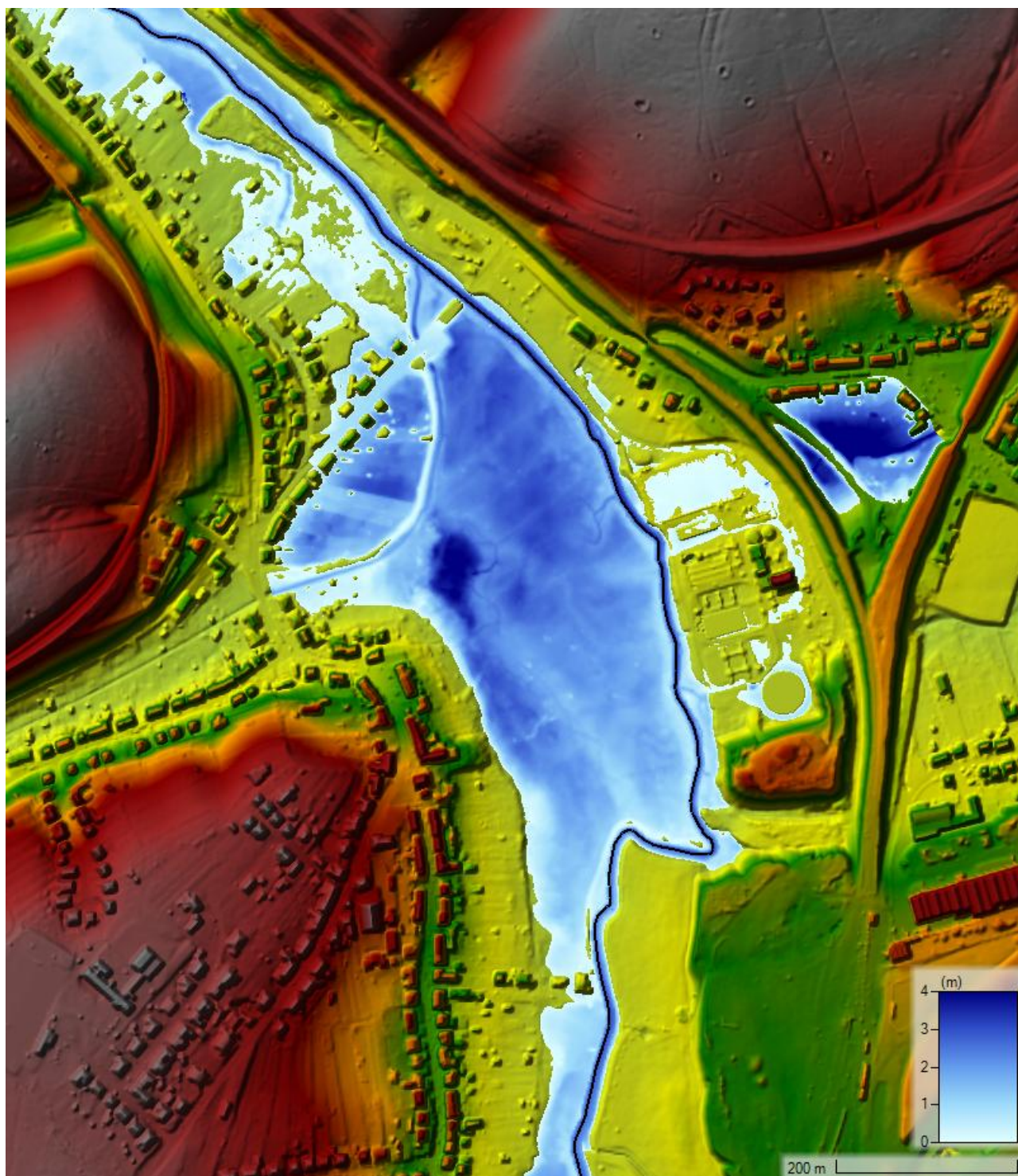


Figure 18 : carte des zones inondables – Q100 – état actuel (fond de plan MNT)



Figure 19 : carte des zones inondables – Q100 – état actuel (fond de plan photo aérienne bing satellite)

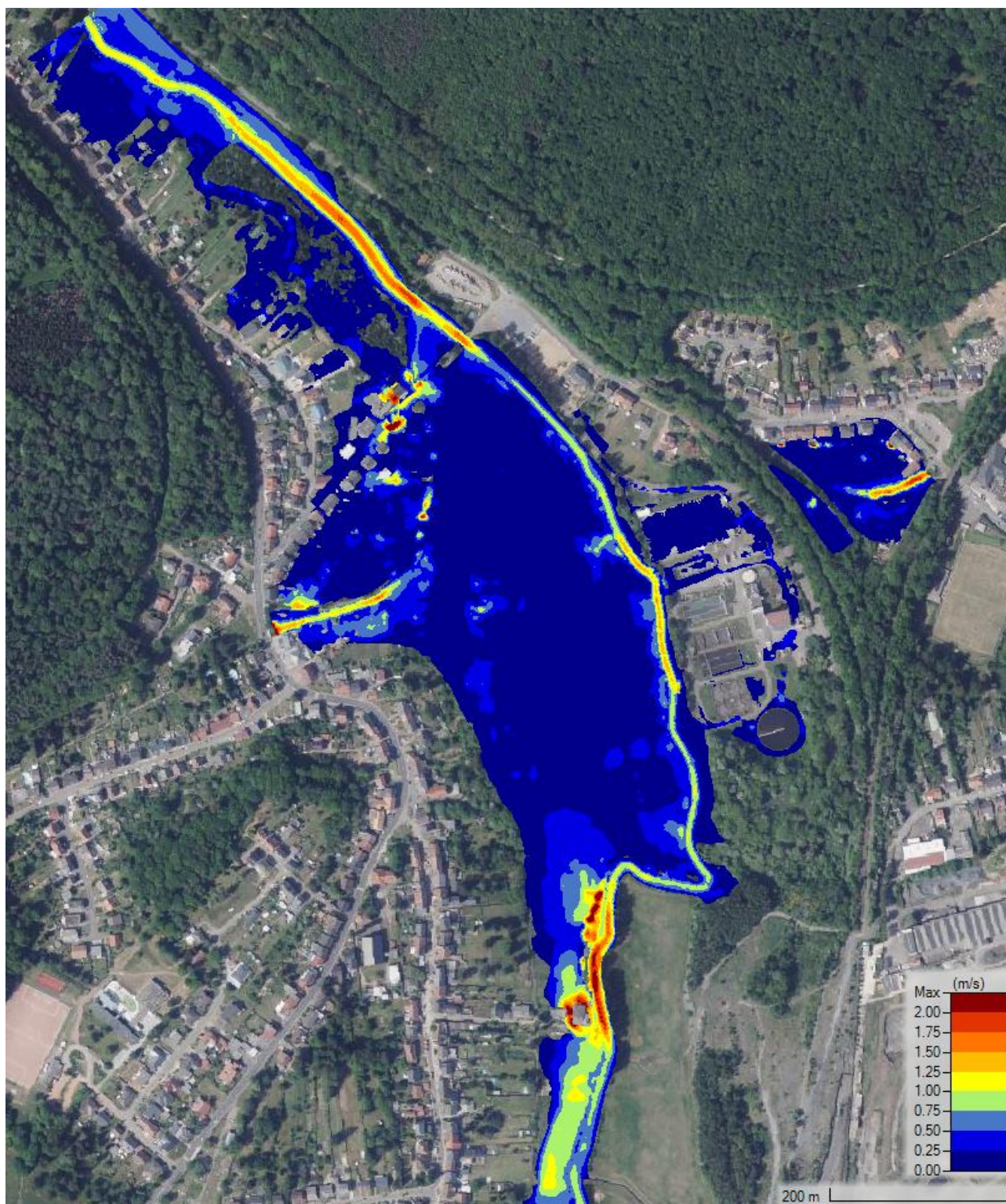


Figure 20 : carte des vitesses – Q100 – état actuel (fond de plan photo aérienne bing satellite)

II.3.3 Ligne d'eau

La ligne d'eau en crue décennale et centennale est reprise sur le graphique suivant. Le niveau de la Rosselle au droit de la station d'épuration reste inférieur à 197mNGF. La plate-forme n'est pas inondable par les crues de la Rosselle.

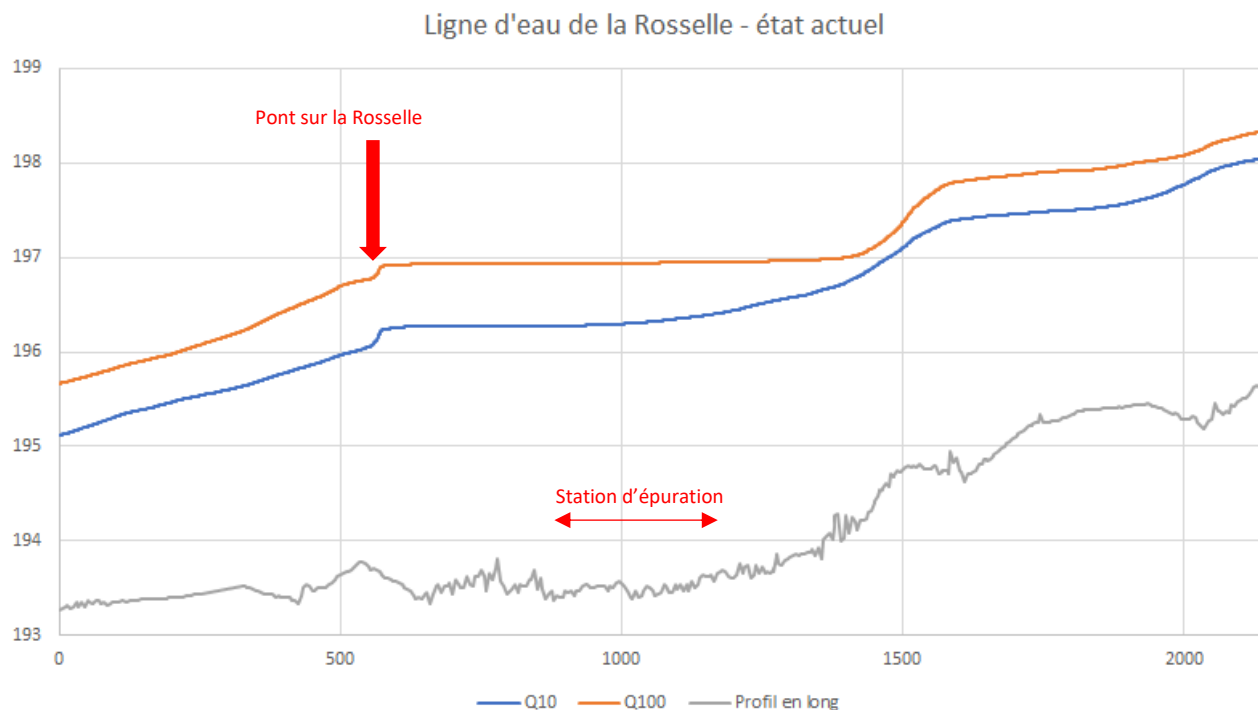


Figure 21 : Profil en long de la Rosselle – Q10 et Q100 – état actuel

Le graphique suivant reprend les contraintes tangentielles sur la Rosselle pour la crue centennale. Elles sont inférieures à 50 N/m^2 au niveau de la station d'épuration de Forbach.

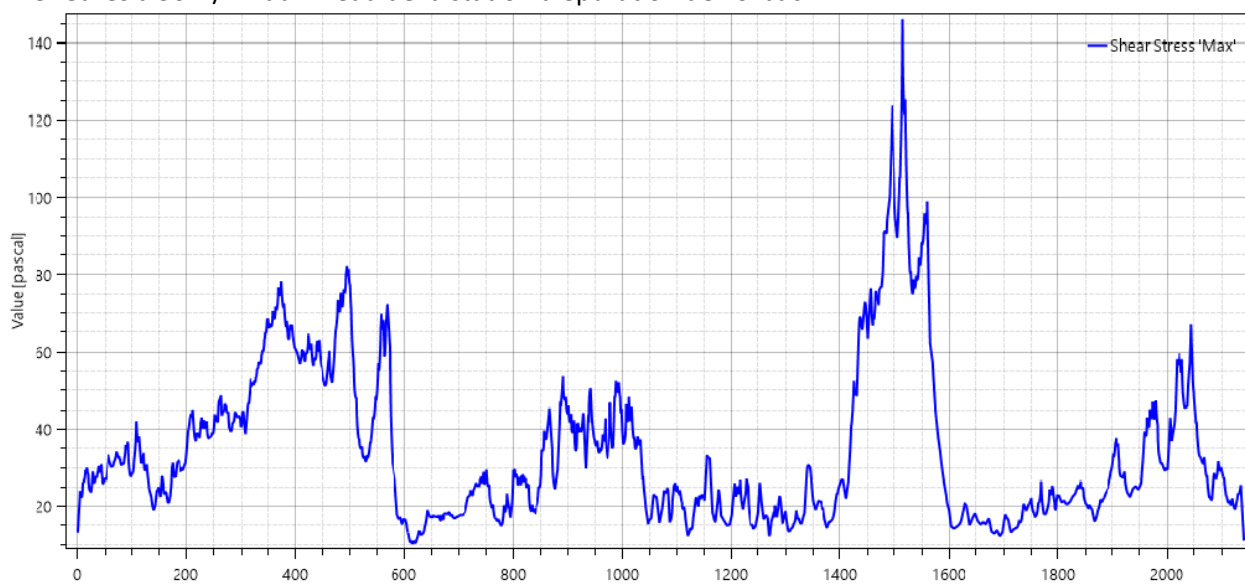


Figure 22 : Les contraintes tangentielles sur la Rosselle –Q100 – état actuel

II.4 MODELISATION DE L'ETAT PROJET

II.4.1 Proposition de remise à l'air libre du Bruchgraben et du Muhlbach

Le projet consistait initialement en la remise à ciel ouvert du Muhlbach et du Bruchgraben avec la restauration des fonctionnalités écologiques associées.

Après échange avec le maître d'ouvrage, il a été décidé de ne retenir que la remise à l'air libre du Bruchgraben. C'est donc ce scénario qui sera modélisé à l'état projet.

Le projet de remise à l'air libre a fait l'objet d'une étude spécifique. Seules les conclusions de l'étude sont reprises ci-après.

La largeur du fond de terrassement du chenal se basera sur la valeur haute mesurée sur l'IGN à savoir 1.5 m pour le Bruchgraben. Au sein de cette emprise, un lit mouillé permettant de concentrer les eaux sera définie. Il est souhaité qu'il joue le rôle de concentrer les écoulements jusqu'au module. De fait, un niveau d'eau minimum sera assuré pour la faune aquatique. Ce lit sera formé par la réalisation d'un chenal dissymétrique et la mise en place de fascines d'hélophytes.

Un second lit emboîté est souhaité au-delà du module jusqu'à la crue biennale pour permettre la diversification des micro-habitats et de la végétation. Celui-ci sera formé à l'aide de banquettes végétalisées.

La formation de faciès adaptés à la typologie de cours d'eau (radier – mouilles) sera recherchée par la mise en place de resserrement des écoulements et hauts fonds en matériaux alluvionnaires grossiers.

Le lit mineur pourra lui être diversifié à l'aide d'aménagements hydroécologiques en bois de faible gabarit, il s'agira par exemple de souches.

Concernant les berges il sera favorisé des pentes douces en déblai afin de permettre le développement de la végétation. La pente dépendra malgré tout de l'emprise disponible, à savoir 3H/2V pour le Bruchgraben.

L'emprise travaux sera largement végétalisée afin de recréer de la végétation typique de bordure de cours d'eau avec un étagement selon l'hydromorphie du sol.

Le Bruchgraben sera ponctuellement busé pour permettre la traversée de la voirie au sein de la station d'épuration. Les busages se feront par deux dalots de 3m de hauteur et 3m de largeur. Ces dalots seront suffisamment enfoncés afin de permettre de recréer un lit naturel en fond.

Le projet permet la remise à ciel ouvert de 182 ml pour le Bruchgraben.

Il est présenté ci-dessous des extraits de vue en plan du projet et coupes types.



Figure 23 : Extrait de vue en plan pour le Bruchgraben

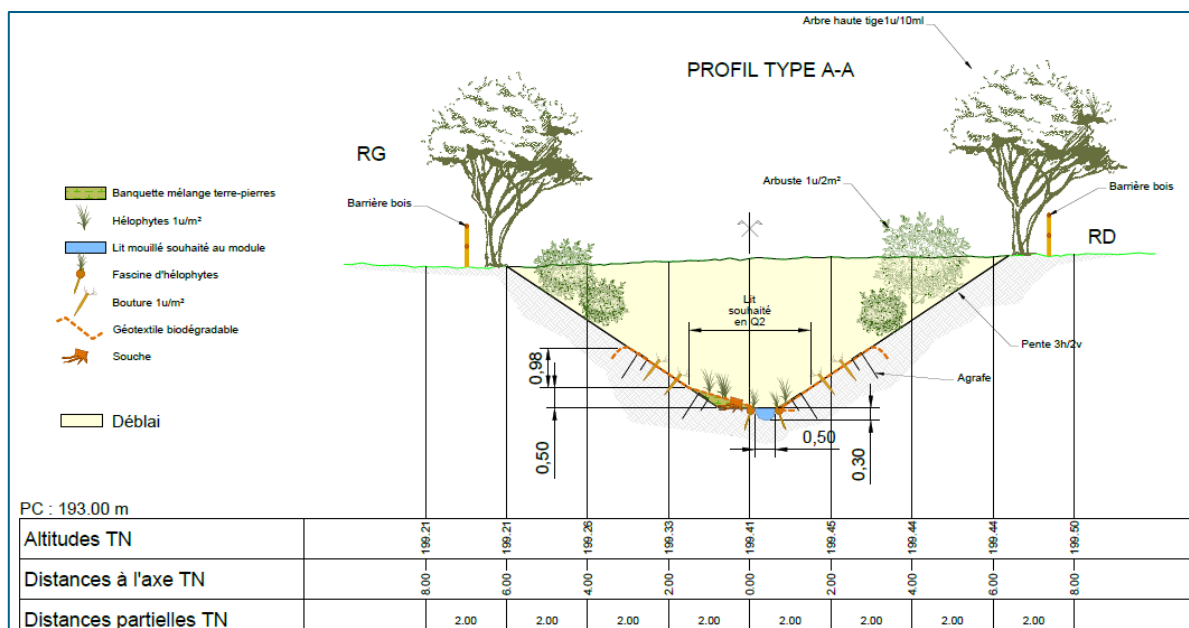


Figure 24 : Extrait de coupe type pour le Bruchgraben

II.4.2 Reprise du MNT

Le MNT servant de base à la modélisation 2D a été repris au niveau de l'emprise de la station d'épuration afin de représenter au mieux les modifications apportées aux écoulements. Pour cela, le nouveau lit du Bruchgraben a été intégré sur la base de l'étude de faisabilité. Ce nouveau lit est composé :

- D'un lit avec un fond de 1m50 de largeur et des berges pentées à 3/2

- Une pente constante avec un cote amont de 196.86 et une cote aval de 194.26. Les banquettes n'ont pas été prises en compte.

Les deux dalots nécessaires pour le rétablissement des accès sont pris en compte avec deux dalots de 3mx3m.



Figure 25 : intégration de la remise à l'air libre du Bruchgraben dans le MNT

Les nouveaux bâtiments de la station d'épuration n'ont pas été pris en compte en raison de l'absence de débordement sur la plate-forme sur laquelle prend place cette infrastructure.

II.4.3 Résultat de la modélisation – état projet

La modélisation a été reprise uniquement pour la crue centennale afin de vérifier le dimensionnement de la remise à l'air libre du Bruchgraben et s'assurer que la plate-forme de la station d'épuration n'est pas inondable avec les modifications apportées.

La carte des zones inondable est présentée ci-après.

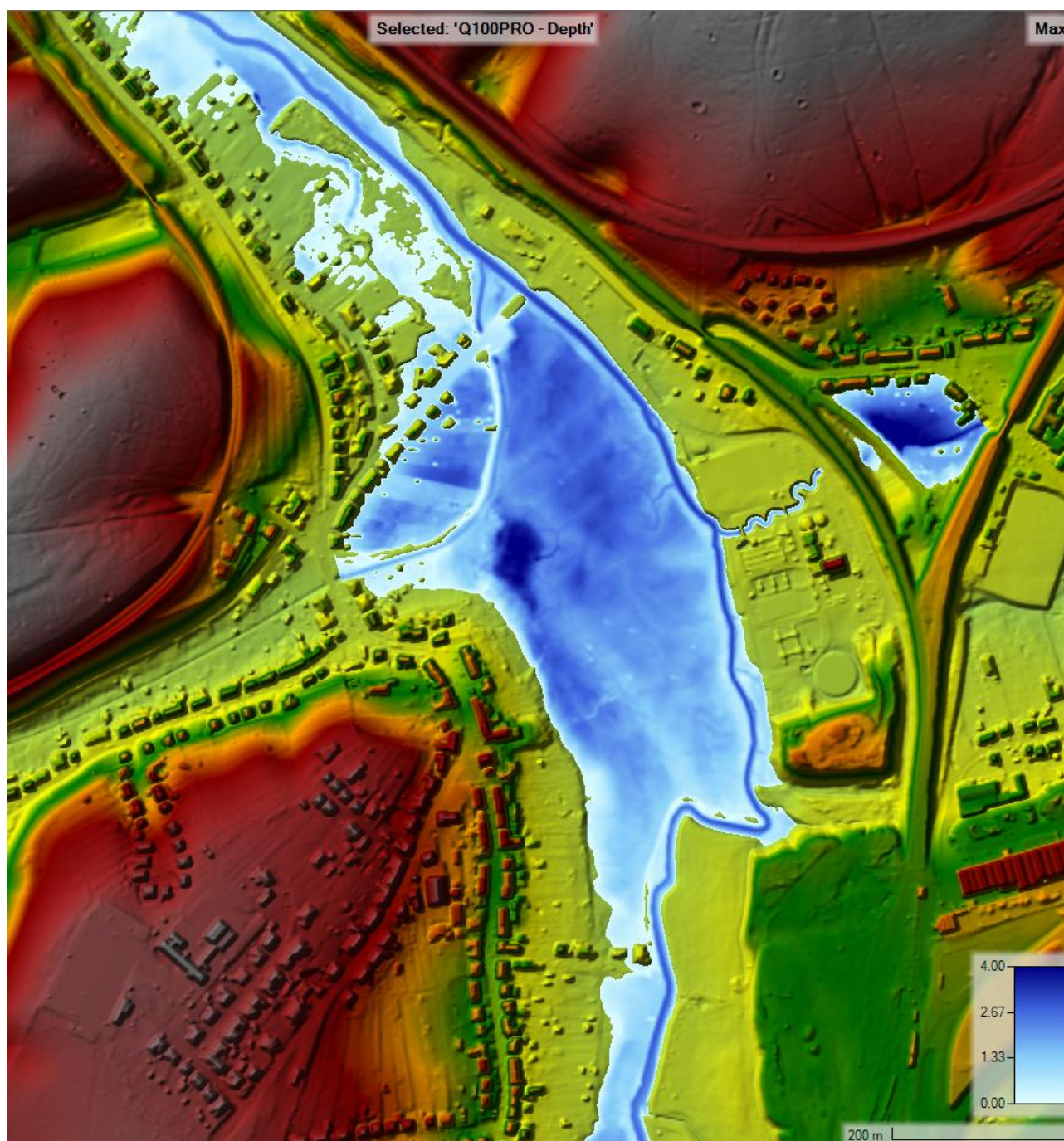


Figure 26 : carte des zones inondables – Q100 – état projet (fond de plan MNT)

L'analyse de cette carte révèle que l'écoulement du Bruchgraben, dans l'emprise de la station d'épuration, reste concentré dans le lit du cours d'eau au niveau du secteur renaturé. Le projet n'apporte aucune sur les écoulements de la Rosselle. Les lignes d'eau et les vitesses restent inchangées.

Le zoom suivant permet de comparer la situation actuelle avec celle après la réouverture du lit, aussi bien au niveau de la station d'épuration qu'en amont, lors d'une crue centennale. Il met en évidence une amélioration des conditions d'écoulement par rapport à l'état initial. La zone inondable située en amont de la voie ferrée, jusqu'à la rue principale Marienau, diminue légèrement en raison des modifications des conditions en aval de la voie ferrée, avec un abaissement d'environ 35 cm.



Figure 27 : carte des zones inondables – Q100 – état projet (fond de plan MNT)

Dans le cadre du projet de renaturation du Bruchgraben, il est primordial d'effectuer une analyse détaillée des vitesses d'écoulement ainsi que des contraintes tractrices exercées sur le lit du cours d'eau lors d'une crue centennale. Ces paramètres sont essentiels pour concevoir des aménagements adaptés aux berges, en déterminant notamment le type de protection végétalisée à privilégier afin d'assurer à la fois la stabilité des rives et la préservation des écosystèmes aquatiques.

L'étude repose sur un scénario dans lequel une crue du Bruchgraben se produit simultanément avec une crue de la Rosselle. Dans cette configuration, l'écoulement du Bruchgraben est fortement conditionné par le niveau aval, entraînant une élévation du niveau d'eau et une réduction des vitesses d'écoulement. Cette situation, bien que générant des niveaux d'eau plus élevés, conduit paradoxalement à une diminution des contraintes tractrices exercées sur le lit du cours d'eau.

Afin d'affiner l'analyse, une nouvelle modélisation a été réalisée en considérant uniquement la crue du Bruchgraben, avec un débit constant de $2 \text{ m}^3/\text{s}$ maintenu dans la Rosselle. Cette approche permet d'évaluer plus précisément les contraintes tractrices dans le lit renaturé du Bruchgraben, fournissant ainsi des éléments essentiels pour orienter les choix techniques en matière d'aménagement écologique et hydraulique.

Les résultats de cette modélisation sont repris ci-après au niveau du Bruchgraben.

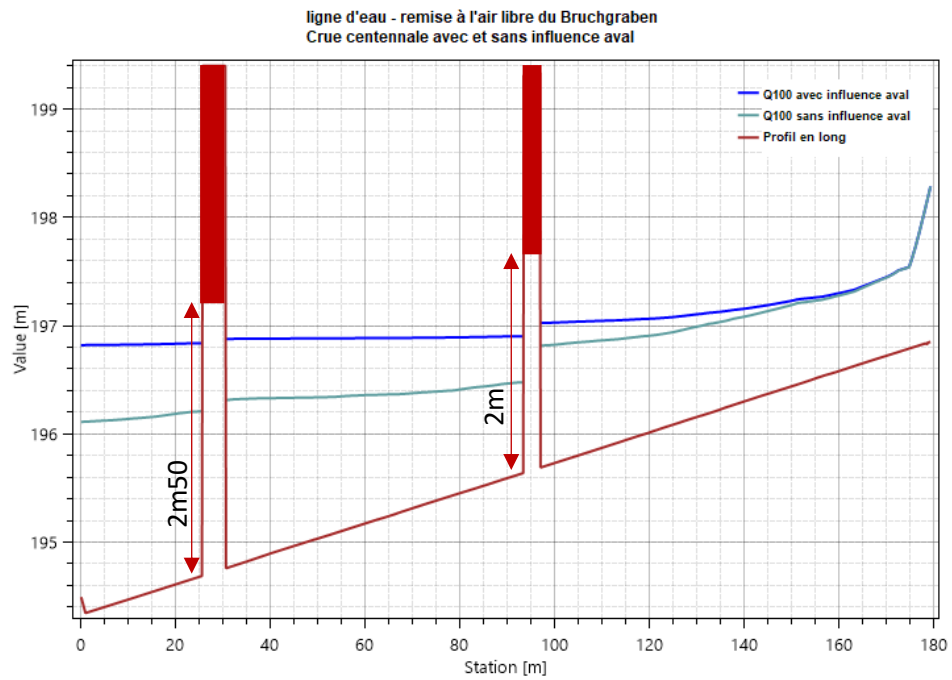


Figure 28 : le profil en long du Bruchgraben renaturé

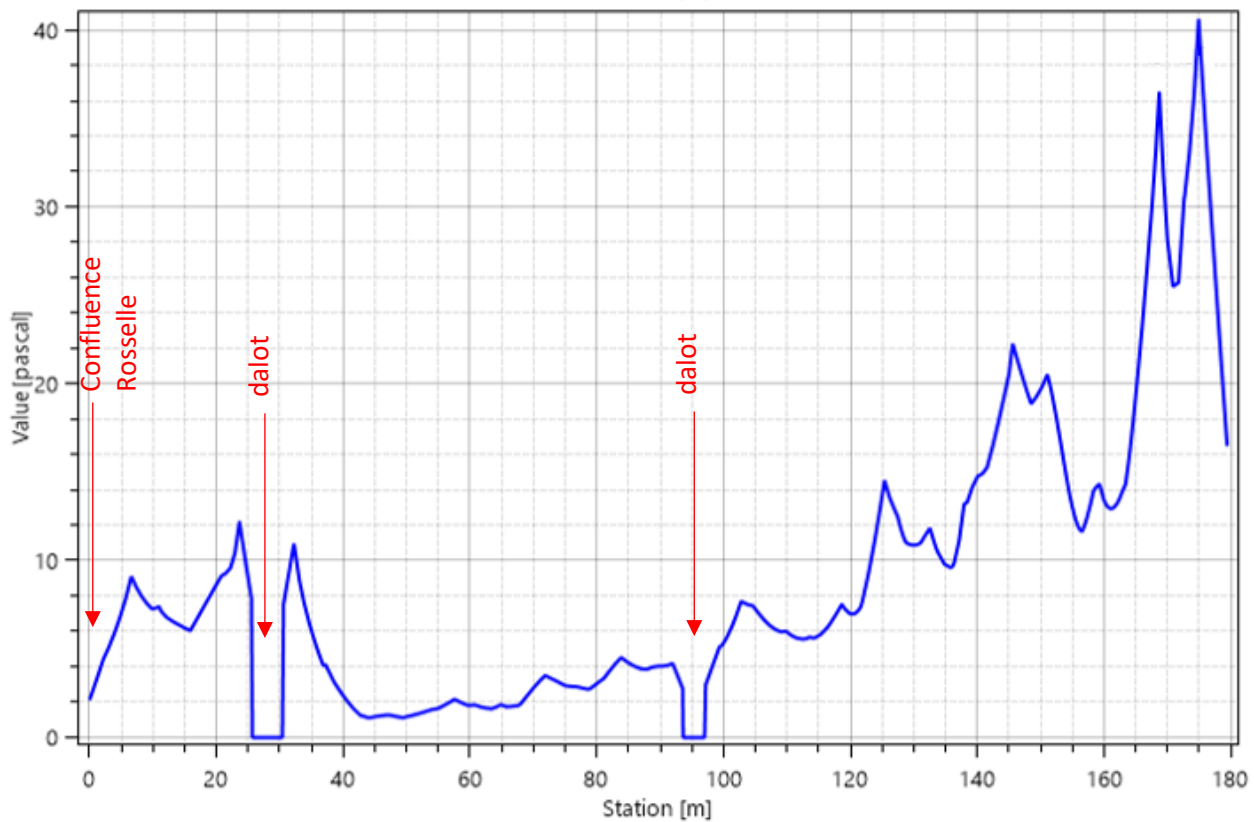


Figure 29 : les contraintes tractrice sur le lit renaturé du Bruchgraben avec l'influence aval de la Rosselle

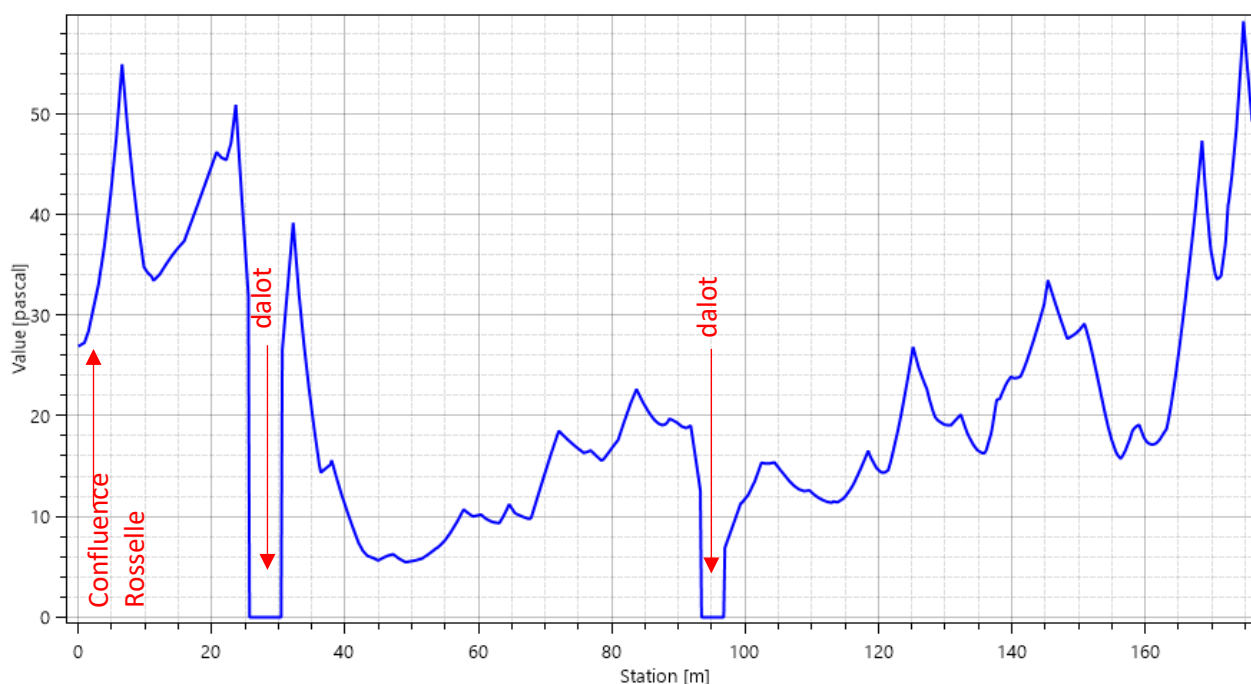


Figure 30 : les contraintes tractrices sur le lit renaturé du Bruchgraben sans l'influence aval de la Rosselle

Les contraintes tractrices restent globalement inférieures à 50 N/m^2 .

La modélisation permet également d'optimiser la taille des dalots. Leur hauteur pourra être abaissée avec :

- Pour le dalot aval, 3m de largeur et 2m50 de hauteur
- Pour le dalot amont : 3m de largeur et 2m de hauteur

II.5 CONCLUSIONS

L'étude hydraulique menée sur la station d'épuration de Forbach et son environnement immédiat met en lumière les dynamiques d'écoulement des crues. Concernant la Rosselle, la modélisation en l'état actuel confirme que la plate-forme sur laquelle repose le projet reste hors d'eau.

L'ouverture à ciel ouvert du Bruchgraben apparaît comme une solution efficace pour remédier aux légers désordres constatés sur la plate-forme de la station d'épuration, où de faibles débordements du cours d'eau sont observés dans l'état actuel.

Par ailleurs, la concomitance des crues de la Rosselle et du Bruchgraben entraîne une élévation du niveau d'eau dans le lit du ruisseau, ce qui réduit les contraintes tractrices. De fait, ce scénario ne constitue pas un facteur dimensionnant pour la protection des berges. Une modélisation avec une crue isolée du Bruchgraben a permis d'estimer les contraintes de cisaillement qui restent globalement inférieures à 50 N/m^2 ce qui permettra d'optimiser les choix techniques pour la renaturation du cours d'eau.

La réouverture du Bruchgraben, combinée à des aménagements écologiques tels que l'installation de banquettes végétalisées permet d'améliorer à la fois les conditions hydrauliques et écologiques du site. Les simulations montrent que ces modifications ne génèrent aucun impact négatif sur la station d'épuration ni sur les écoulements de la Rosselle. Elles permettent même d'améliorer la situation du Bruchgraben en réduisant les débordements en amont de la voie ferrée.

En conclusion, les résultats obtenus valident la pertinence du projet de renaturation du Bruchgraben.