



**HAL**  
open science

# Rédaction de l'avant-projet de la mission de maîtrise d'œuvre pour la restauration et la protection contre les inondations sur le bassin versant du ruisseau de Vallières

Alice Robert

## ► To cite this version:

Alice Robert. Rédaction de l'avant-projet de la mission de maîtrise d'œuvre pour la restauration et la protection contre les inondations sur le bassin versant du ruisseau de Vallières. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2020. dumas-03578453

**HAL Id: dumas-03578453**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03578453v1>**

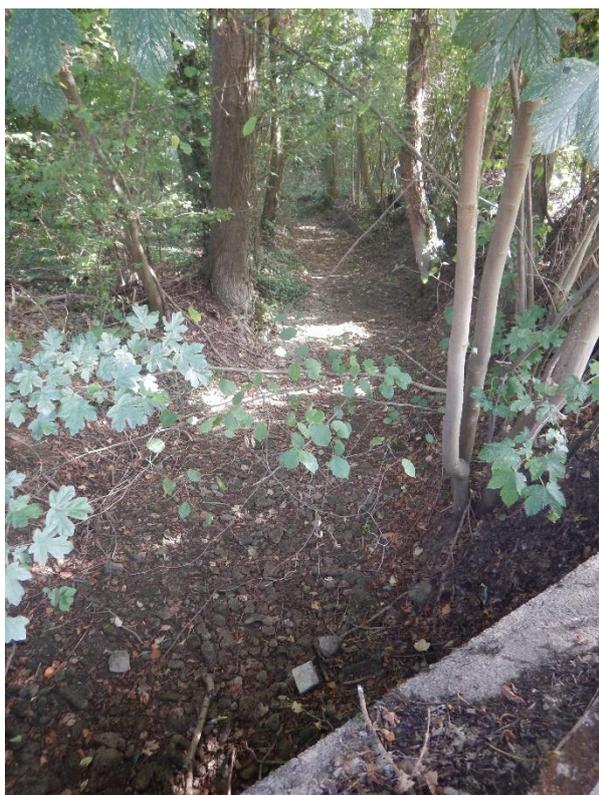
Submitted on 17 Feb 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Mémoire de fin d'études

Rédaction de l'avant-projet de la mission de maîtrise d'œuvre pour la restauration et la protection contre les inondations sur le bassin versant du Ruisseau de Vallières (57)



Alice ROBERT - Promotion Bretagne

*Stage réalisé du 3 février au 14 août 2020*

Mémoire présenté pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur de l'ENGEES

# Remerciements

En premier lieu, je tiens à remercier IRH Ingénieur Conseil pour m'avoir permis de réaliser ce stage. Je tiens également à remercier tout particulièrement ma maître de stage, Carine PARISOT qui a été là pour moi tout au long de mon stage ainsi que Blandine COLLANGE qui m'a été d'un grand soutien. Ces deux personnes m'ont permis de me sentir bien intégrée au sein de l'équipe Eau de Nancy et me donnent l'opportunité de continuer mon travail à leurs côtés.

Je remercie également l'équipe hydraulique d'ANTEA Group, et plus particulièrement Lise MOUCHE, qui m'ont aidée, dès que j'en avais besoin, malgré la distance et les complications du contexte actuel pour la réalisation du modèle hydrologique et hydraulique.

D'une manière générale, je tiens également à remercier toute l'équipe de Nancy qui apporte une bonne ambiance au travail et où l'entraide est très largement présente.

# Résumé

Rédaction de l'avant-projet de la mission de maîtrise d'œuvre pour la restauration et la protection contre les inondations sur le bassin versant du Ruisseau de Vallières (57)

Les communes de Retonfey et Montoy-Flanville ainsi que la CCHCPP, assistées par le MATEC, ont sélectionné le bureau d'études IRH Ingénieur Conseil afin de réaliser l'étude de maîtrise d'œuvre pour la restauration et la protection contre les inondations sur le bassin versant du Ruisseau de Vallières près de Metz.

La phase d'Avant-Projet s'effectue en quatre grandes phases : le diagnostic du bassin versant en s'appuyant sur les études préalables, réalisées par ARTELIA, et sur une reconnaissance terrain ; l'étude hydrologique s'appuyant de la précédente étude, des données trouvées proches de la zone d'étude pour monter un modèle hydrologique HEC-HMS ; l'étude hydraulique avec le logiciel MIKE FLOOD à partir des résultats d'hydrogramme de crue obtenu avec le modèle hydrologique ; et la phase de dimensionnement, l'estimation du montant des travaux avec le programme de travaux. Cette dernière phase n'a pas pu être réalisée dans cette étude à cause du contexte actuel qui a retardé l'étude.

Les inondations obtenues avec le logiciel MIKE FLOOD présentées dans ce rapport sont les résultats à l'état initial, mais ce ne sont pas les résultats finaux du projet, car il est encore nécessaire d'affiner la topographie du secteur avec des levés topographiques. Les résultats présentés ici permettent de choisir la période de retour de crue pour le dimensionnement des bassins de rétention et des aménagements d'hydraulique douce.

# Abstract

Drafting of the pre-project for the project management mission for the restoration and protection against flooding in the catchment area of the Vallières stream (57)

The communes of Retonfey and Montoy-Flanville and the CCHCPP, assisted by MATEC, selected the IRH Ingénieur Conseil engineering office to carry out the project management study for the restoration and flood protection on the Ruisseau de Vallières catchment area near Metz.

The Preliminary Project phase is carried out in four main phases: the diagnosis of the catchment area based on the preliminary studies, carried out by ARTELIA, and on a field survey; the hydrological study based on the previous study, data found close to the study area to set up a HEC-HMS hydrological model; the hydraulic study with the MIKE FLOOD software from the flood hydrograph results obtained with the hydrological model; and the sizing phase, estimation of the amount of work with the work programme. This last phase could not be carried out in this study because of the current context which delayed the study.

The floods obtained with the MIKE FLOOD software presented in this report are the results in their initial state, but they are not the final results of the project, as it is still necessary to refine the topography of the sector with topographic surveys. The results presented here make it possible to choose the flood return period for the dimensioning of retention ponds and soft-hydraulic facilities.

# Sommaire

Remerciements .....	2
Résumé .....	3
Abstract .....	4
Sommaire .....	5
Symboles et abréviations .....	7
Table des figures, tableaux et équations .....	8
Introduction.....	11
1. Contexte de l'étude.....	12
1.1. Problématique de la CCHCPP .....	12
1.2. Présentation des acteurs de l'étude .....	12
1.3. Situation géographique de l'étude .....	13
1.4. Déroulement de l'étude et sujet du stage.....	14
2. Diagnostic du bassin versant du Ruisseau de Vallières.....	14
2.1. Les ouvrages hydrauliques.....	14
2.2. L'occupation du sol .....	15
3. Etude hydrologique .....	16
3.1. Détermination des débits de pointe .....	16
3.1.1. Ajustement statistique des débits.....	17
3.1.2. Méthode du Gradex.....	23
3.1.3. Synthèse.....	26
3.2. Modélisation hydrologique.....	27
3.2.1. Présentation du logiciel de modélisation .....	27
3.2.2. Construction du modèle .....	27
3.2.3. Calage du modèle .....	31
3.2.4. Détermination des hydrogrammes de crues de référence .....	32
4. Modélisation hydraulique .....	34
4.1. Choix et présentation du logiciel hydraulique utilisé .....	34
4.2. Architecture du modèle .....	35
4.3. Données topographiques utilisées .....	36
4.4. Description du modèle.....	37
4.4.1. Modèle 1D .....	37

4.4.2.	Modèle 2D .....	37
4.4.3.	Singularités .....	38
4.4.4.	Rugosité .....	44
4.4.5.	Etude de l'impact du changement climatique sur le secteur d'étude .....	44
4.4.6.	Conditions aux limites .....	46
4.5.	Limites de la modélisation .....	47
4.6.	Calage .....	48
4.6.1.	Principe du calage .....	49
4.6.2.	Données pour le calage .....	49
4.7.	Résultats du modèle à l'état initial .....	50
4.7.1.	Crue de période de retour 10 ans .....	51
4.7.2.	Crue de période de retour 30 ans .....	51
4.7.3.	Crue de période de retour 50 ans .....	53
4.7.4.	Crue de période de retour 100 ans .....	54
4.7.5.	Volume de stockage .....	55
5.	Finalisation de la modélisation .....	57
5.1.	Réouverture du cours d'eau .....	58
5.2.	Reméandrage .....	58
5.3.	Plantation .....	59
5.4.	Bassins de rétention .....	59
5.5.	Zone d'expansion de crue .....	59
	Conclusion .....	60
	Bibliographie .....	61
	Annexes .....	63

## Symboles et abréviations

DCE : Directive Cadre sur l'Eau (Commission européenne, s.d.)

CCHCPP : Communauté de Communes du Haut Chemin Pays de Pange

AMO : Assistant à Maîtrise d'Ouvrage

MATEC : Moselle Agence Technique

CCTP : Cahier des Clauses Techniques Particulières

HEC : Hydrologic Engineering Center

HMS : Hydrologic Modeling System

QTVAR : Débit à pas de temps variable

USACE : U.S. Army Corps of Engineers

SCS : Soil Conservation Service

CEMAGREF : Centre d'Etude du Machinisme Agricole et du Génie Rural des Eaux et Forêts

DHI : Danish Hydraulic Institute

MNT : Modèle Numérique de Terrain

LIDAR : Light Detection And Ranging

FV : Fossé de Vallières

FE : Fossé de l'Etang

RB : Ruisseau du Breuil

RV : Ruisseau de Vallières

ITV : Inspections TéléVisuelles

CNRM: Centre National de Recherches Météorologiques

RCP : Representative Concentration Pathways ou profils représentatifs d'évolution des concentrations

GIEC : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

COFIL : COmité de PILotage

## Table des figures, tableaux et équations

Figure 1 : Organigramme du projet.....	12
Figure 2 : Localisation de la zone d'étude (source Géoportail).....	13
Figure 3 : Identification des ouvrages (extrait des données d'ARTELIA) .....	15
Figure 4 : Occupation du sol (CORINE Land Cover 2018 - Mappea) .....	16
Figure 5 : Répartition occupation du sol .....	16
Figure 6 : Localisation de stations hydrométriques et de la zone d'étude .....	17
Figure 7 : Ajustement de Gumbel sur les débits de pointe à la station la Nied française à Condé-Northen sur la période de 1969 à 2019 .....	19
Figure 8 : Ajustement de Gumbel sur les débits de pointe à la station la Nied Allemande à Varize sur la période 1969 à 2019.....	19
Figure 9 : Mise en évidence d'une anomalie pour les données de la Nied française .....	20
Figure 10 : Localisation des stations hydrométriques sélectionnées pour les hydrogrammes de crue.....	24
Figure 11 : Découpage du secteur d'étude en sous-bassins versants pour le logiciel HEC-HMS .....	28
Figure 12 : Curve Number des différents sous-bassins versants du secteur d'étude.....	31
Figure 13 : Pluies de projet injectées dans le modèle hydrologique .....	33
Figure 14 : Hydrogrammes de crue à l'exutoire du bassin versant de l'étude pour différentes périodes de retour de crue .....	34
Figure 15 : Emprise du modèle hydraulique couplé 1D/2D .....	36
Figure 16 : Emprise du LIDAR (m NGF) et des levés topographiques .....	37
Figure 17 : Vue globale du maillage du modèle couplé 1D/2D.....	38
Figure 18 : Localisation des ouvrages de la zone d'étude pour le modèle 2D.....	39
Figure 19 : Représentation de la fiche de l'ouvrage O3 dans MIKE.....	40
Figure 20 : Photos d'ouvrages hydrauliques du secteur d'étude.....	41
Figure 21 : Schématisation du réseau fluviale au niveau de la Place du Gué (source INERA). 42	
Figure 22 : Explication de la pertinence d'extruder certains bâtiments à Montoy-Flanville pour une crue de période de retour 100 ans .....	43
Figure 23 : Répartition des coefficients de Strickler pour le modèle hydraulique MIKE.....	44
Figure 24 : Evolution du bilan radiatif de la terre ou "forçage radiatif" en W/m <sup>2</sup> sur la période de 1850-2250 selon les différents scénarios (Météo France, 2020).....	45
Figure 25 : Evolution de la pluviométrie de 2006 à 2100 - Scénario CNRM RCP 4.5 -.....	46
Figure 26 : Localisation des apports intermédiaires .....	47
Figure 27 : Localisation des anomalies du LIDAR .....	48
Figure 28 : Témoignage sur les hauteurs d'eau de l'événement du 9 février 2016 .....	50
Figure 29 : Résultats des inondations pour une crue de période de retour 10 ans .....	51
Figure 30 : Résultats des inondations pour une crue de période de retour 30 ans .....	52
Figure 31 : Inondations pour une crue de période de retour 30 ans à Montoy-Flanville .....	52
Figure 32 : Inondations pour une crue de période de retour 30 ans au niveau de la rue de Tulipes à Retonfey.....	53
Figure 33 : Résultats des inondations pour une crue de période de retour 50 ans .....	54

Figure 34 : Résultats des inondations pour une crue de période de retour 100 ans .....	55
Figure 35 : Exemple d'hydrogramme de crue et du calcul du stockage .....	56
Figure 36 : Hydrogramme de crue de décembre 1981 mesuré par la station A9737310 .....	64
Figure 37 : Hydrogramme de crue de février 1990 mesuré par la station A9737310 .....	64
Figure 38 : Hydrogramme de crue de janvier 1991 mesuré à la station A9737310 .....	65
Figure 39 : Hydrogramme de crue de septembre 1983 mesuré à la station A9612010 .....	65
Figure 40 : Hydrogramme de crue d'octobre 1981 mesuré à la station A9612010 .....	66
Figure 41 : Hydrogramme de crue de juillet 1980 mesuré par la station A9612010.....	66
Figure 42 : Données pour les stations hydrométriques A9612010 et A9737310 .....	67
Figure 43 : Présentation des différentes formules de calcul du temps de concentration (AREAS, 2013).....	67
Figure 44 : Présentation de la méthode de Mockus (Université McGill, 2007) .....	68
Tableau 1 : Stations hydrométriques proche de la zone d'étude .....	17
Tableau 2 : Débits de pointe de la station hydrométrique 49862010 calculé par ajustement statistique ou provenant de la Banque Hydro .....	20
Tableau 3 : Débits pour différentes périodes de retour à l'exutoire du bassin-versant de l'étude .....	21
Tableau 4 : Débits décennaux avec différentes méthodes de calcul.....	22
Tableau 5 : Stations hydrométriques sélectionnées pour les hydrogrammes de crue .....	24
Tableau 6 : Résultat de la durée caractéristique et du coefficient d'affinité par différentes méthodes.....	25
Tableau 7 : Résultat du Gradex brutal et progressif .....	26
Tableau 8 : Curve Number unitaires retenus .....	30
Tableau 9 : Caractéristiques des sous-bassins versants.....	30
Tableau 10 : Comparaison des résultats de la modélisation hydrologique et de l'étude d'ARTELIA (ARTELIA, juin 2018).....	32
Tableau 11 : Présentation des ouvrages hydrauliques introduit dans le modèle MIKE .....	41
Tableau 12 : Coefficients de rugosité (Strickler) retenus.....	44
Tableau 13 : Volume de stockage pour différentes périodes de retour.....	55
Tableau 14 : Volume de stockage d'ARTELIA et IRH pour une période de retour de 30 ans ..	56
Équation 1 : Fonction de répartition de la loi de Gumbel.....	18
Équation 2 : Fonction de répartition de la loi de Gumbel avec la fréquence empirique de Hazen .....	18
Équation 3 : Loi de Gumbel appliquée pour le calcul théorique de débit .....	18
Équation 4 : Formule de Myers .....	21
Équation 5 : Formule de CRUPEDIX.....	21
Équation 6 : Formule rationnelle .....	22
Équation 7 : Formule du GRADEX .....	23
Équation 8 : Formule pour calculer la durée caractéristique par la méthode de SOCOSE.....	25
Équation 9 : Formule du Gradex progressif .....	26

Équation 10 : Formule de calcul du Gradex des débits de crue d'occurrence comprise entre 2 et 10 ans ..... 26

# Introduction

La gestion des inondations est une préoccupation de plus en plus importante à l'échelle communale ou intercommunale. Les effets du réchauffement climatique poussent les communes à faire les démarches nécessaires pour essayer de protéger au mieux la population de ces catastrophes naturelles. De plus, la directive européenne cadre sur l'eau (DCE) (Commission européenne, s.d.), établie en 2000, ayant pour objectif l'atteinte du « bon état des masses d'eau » initialement prévu pour 2005, et reconduit pour 2027 comme dernière échéance, ainsi que les aides financières du gouvernement français incitent les communes à réaliser des études de gestion des inondations couplées à de la restauration des cours d'eau.

C'est pour ces raisons que les communes de Retonfey et de Montoy-Flanville avec la Communauté de Communes du Haut Chemin Pays de Pange (CCHCPP) se sont associées et ont entamées les démarches, en 2016, pour gérer les inondations et dans un même temps restaurer les cours d'eau de leurs bassins versant du Ruisseau de Vallières. A la suite de ces démarches, un diagnostic de tous les cours d'eau du bassin versant du Ruisseau de Vallières a donc été réalisé par le bureau d'étude ARTELIA de 2017 (ARTELIA, juin 2017) à 2018 (ARTELIA, juin 2018).

Actuellement, le projet de gestion des inondations et de restauration des cours d'eau du bassin versant du Ruisseau de Vallières est au stade Avant-Projet, depuis 2019, avec le bureau d'étude IRH Ingénieur Conseil comme maître d'œuvre. Ainsi, le présent rapport va détailler les premières étapes du projet avec en premier lieu un retour rapide sur le diagnostic réalisé dans l'étude préalable puis dans un second temps la présentation de l'étude hydrologique puis hydraulique. Le contexte actuel n'a pas permis de réaliser l'étude dans son intégralité sur la période des 6 mois.

## 1. Contexte de l'étude

### 1.1. Problématique de la CCHCPP

À la suite d'un événement pluvieux important survenu le 9 février 2016 les maires de Montoy-Flanville et Retonfey ont décidé d'agir pour mettre en place un projet de renaturation situé sur le bassin versant du Ruisseau de Vallières. L'événement du 9 février 2016 a marqué les esprits avec de fortes inondations dans le village provoquant « un mètre d'eau au cœur du village » selon le journal local Lorrain (L.L., 2017).

### 1.2. Présentation des acteurs de l'étude

Cette étude est au stade Avant-Projet ce qui signifie qu'un diagnostic préalable a été réalisé et que la phase Projet et les travaux suivront. Voici un organigramme (Figure 1) présentant les différentes phases du projet de restauration et de gestion des inondations du Ruisseau de Vallières ainsi que les acteurs y interagissant.

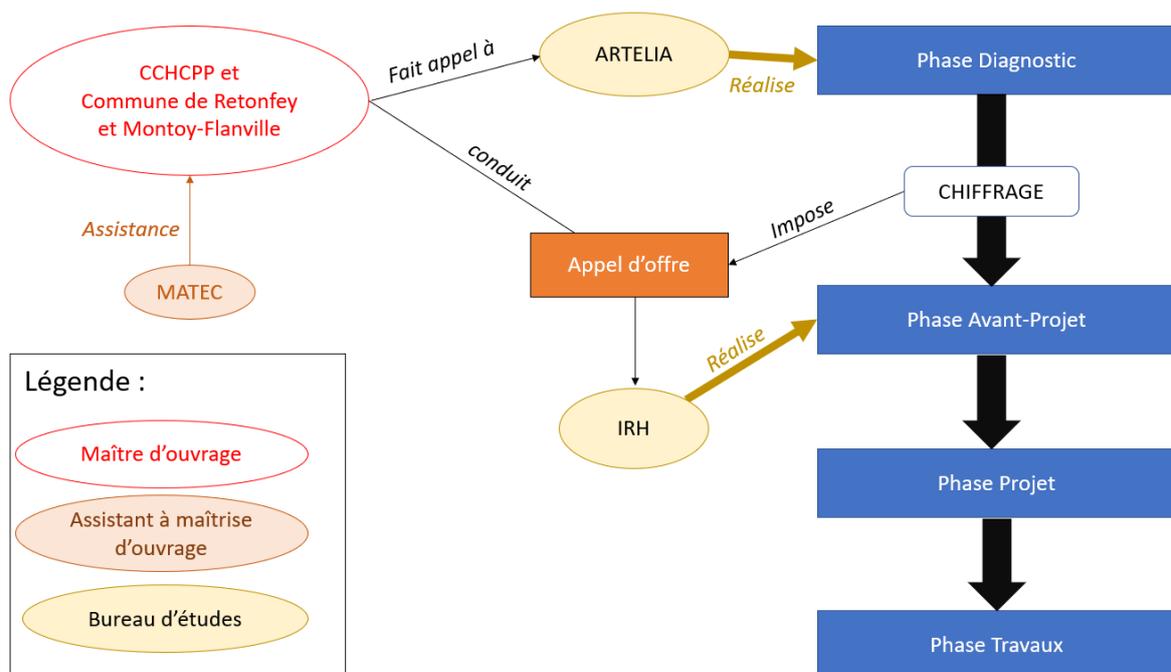


Figure 1 : Organigramme du projet

La Communauté de Communes du Haut Chemin Pays de Pange (CCHPP) a fait appel au bureau d'études ARTELIA afin de réaliser un diagnostic du bassin versant du Ruisseau de Vallières ainsi qu'une étude hydrologique et hydraulique comprenant également l'élaboration d'un programme de travaux du bassin versant du Ruisseau de Vallières (ARTELIA, juin 2018). Suite à cette étude globale, le maître d'ouvrage a lancé une consultation pour une mission de maîtrise d'œuvre pour la restauration et la protection contre les inondations sur le bassin versant du Ruisseau de Vallières. C'est le bureau d'études IRH Ingénieur Conseil du groupe ANTEA qui a remporté l'appel d'offres en novembre 2019. Tout au long de l'étude la CCHPP,

maître d'ouvrage du projet, est appuyé par un Assistant à Maîtrise d'Ouvrage (AMO) le MATEC, établissement public administratif (MATEC, 2020).

Ce rapport présente donc la phase Avant-Projet réalisée au sein d'IRH Ingénieur Conseil, membre d'Antea Group.

Antea Group est une société internationale d'ingénierie et de conseil en environnement qui rassemble plus de 3 300 collaborateurs en Europe, en Amérique et en Asie. Elle est présente dans les domaines de l'environnement, de l'eau, des infrastructures, de l'aménagement du territoire et de la mesure pour des clients publics et privées. Antea Group peut intervenir sous les marques suivantes (Antea Group, s.d.) :

- IRH Ingénieur conseil, spécialisé dans la gestion et le traitement de l'eau ;
- ICF, marque spécialisée dans le domaine des sites et sols pollués, les dossiers réglementaires et la due diligence environnementale ;
- Géohyd, marque spécialisée dans la gestion de la donnée environnementale.

### 1.3. Situation géographique de l'étude

Les villes de Montoy-Flanville et Retonfey se situent dans le département de la Moselle (57), région Grand Est (cf. Figure 2). Le bassin versant du Ruisseau de Vallières est inclus dans le sous-bassin Moselle – Sarre, qui est dans le grand bassin versant Rhin-Meuse.

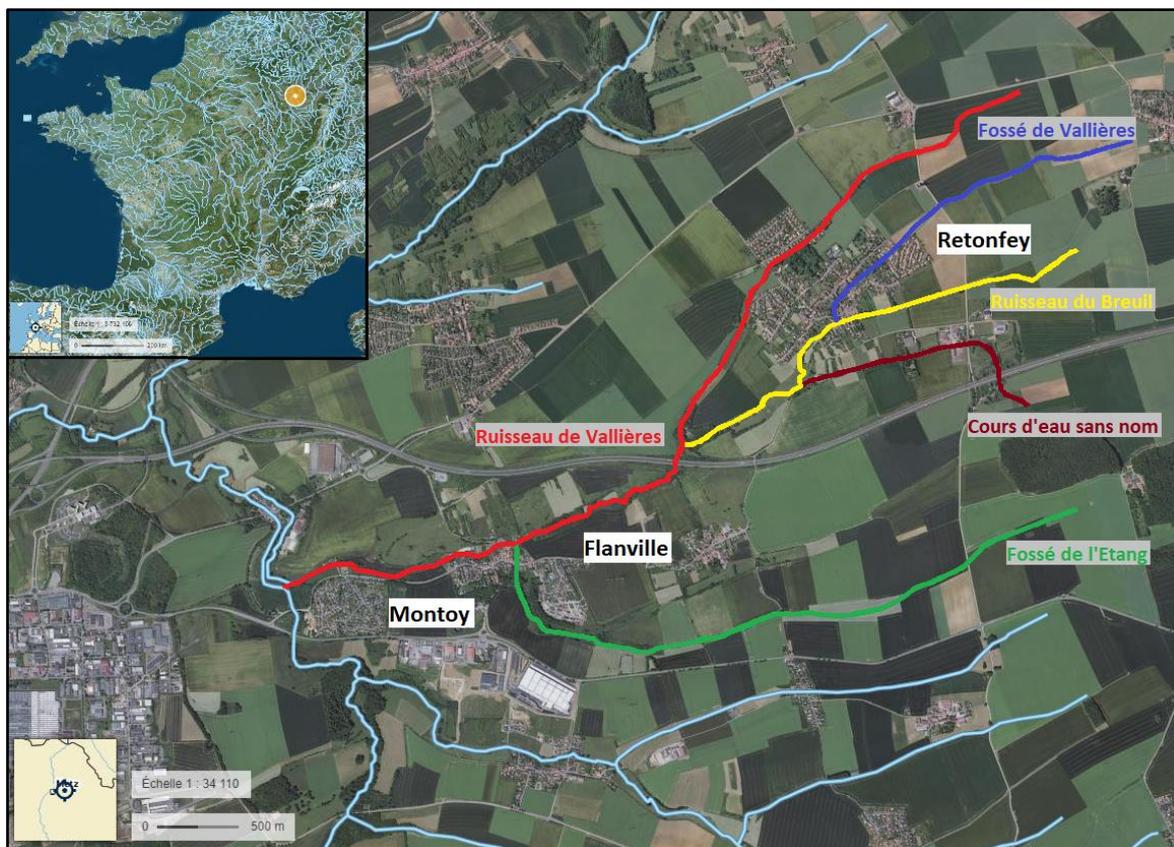


Figure 2 : Localisation de la zone d'étude (source Géoportail)

Le Ruisseau de Vallières, d'environ 13 km<sup>2</sup> est alimenté par quatre affluents (cf. Figure 2) :

- Le Fossé de Vallières ;
- Le Ruisseau du Breuil ;
- Le Fossé au sud du Ruisseau du Breuil (nommé « cours d'eau sans nom ») ;
- Le Fossé de l'Étang.

#### 1.4. Déroulement de l'étude et sujet du stage

Ce projet est repris par IRH Ingénieur Conseil en phase avant-projet. La première partie de cette étude est de s'imprégner du diagnostic réalisé préalablement pour faire une reconnaissance terrain afin de se représenter au mieux le bassin versant de l'étude. La deuxième partie consiste à récolter les données pour réaliser une étude hydrologique puis hydraulique pour qu'à partir de ces études, on puisse identifier les zones inondables et ainsi proposer des aménagements chiffrés répondant aux objectifs du CCTP.

Le présent rapport de stage ne porte que sur la partie de l'étude hydrologique et hydraulique, car le contexte actuel n'a pas permis de réaliser l'étude d'avant-projet dans son intégralité.

## 2. Diagnostic du bassin versant du Ruisseau de Vallières

Le diagnostic du bassin versant du Ruisseau de Vallières a été réalisé par le bureau d'études ARTELIA (ARTELIA, juin 2017; ARTELIA, juin 2018). A la suite de ce diagnostic, le bureau d'études ARTELIA a proposé des actions à mettre en place (ARTELIA, juin 2018). Conformément au CCTP, il a été nécessaire de réaliser un parcours exhaustif du terrain permettant ainsi de valider et d'actualiser les propositions faites dans l'étude préalable et le cas échéant, de proposer d'autres aménagements que le maître d'ouvrage jugera plus pertinents ou mieux adaptés à la situation.

Seuls les ouvrages hydrauliques et l'occupation du sol sont présentés ici, car ces informations sont importantes pour la suite de la modélisation. Les autres éléments du diagnostic sont présentés dans le rapport d'ARTELIA (ARTELIA, juin 2018) et les compléments observés lors de la reconnaissance terrain sont dans le rapport d'étude d'Avant-projet (IRH Ingénieur Conseil, 2020).

### 2.1. Les ouvrages hydrauliques

Les ouvrages présents sur les cours d'eau de l'étude, ont été identifiés par le bureau d'étude ARTELIA. Ils sont répertoriés sur la Figure 3, ci-dessous. L'identification et la localisation de ces ouvrages s'appuient sur les reconnaissances terrains d'ARTELIA ainsi que sur l'étude ASPECT. Les ouvrages ainsi identifiés (et comptés) sont les suivants :

- Buse (32)
- Modification du tracé (2)

- Passage à gué (2)
- Passerelle (3)
- Plan d'eau (1)
- Pont (5)

Il est également important de noter qu'aucun ouvrage n'est répertorié dans le Référentiel des Obstacles à l'Écoulement (ROE).

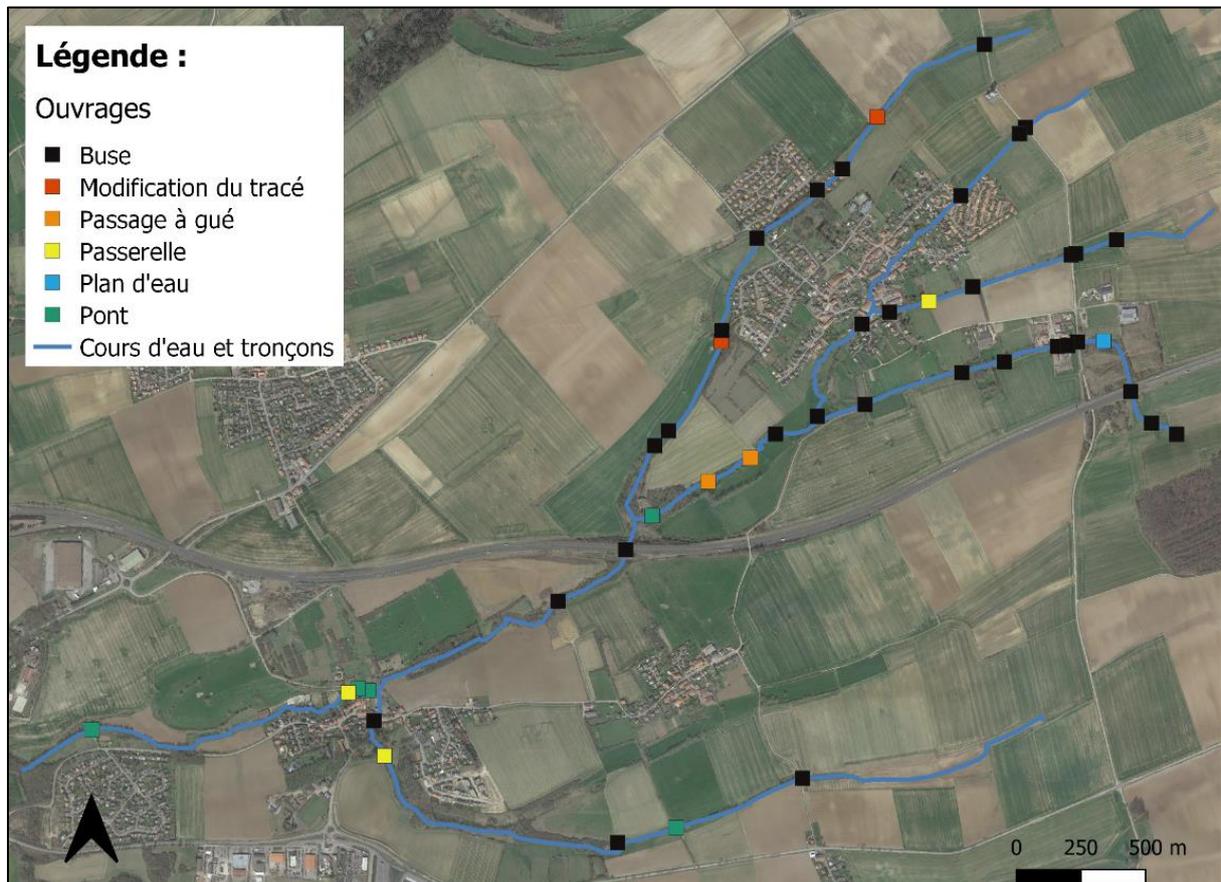


Figure 3 : Identification des ouvrages (extrait des données d'ARTELIA)

Lors de la reconnaissance terrain il est important de regarder ces différents ouvrages pour déterminer s'ils font obstacle à la continuité écologique et sédimentaire des cours d'eau. Le bureau d'étude ARTELIA a identifié quelques ouvrages problématiques (ARTELIA, juin 2017) :

- Passage busé du Ruisseau de Vallières sous l'autoroute A4 ;
- Cours d'eau busé dans Retonfey et Montoy-Flanville ;
- Passages busés ponctuellement (passage engins ou troupeaux) ;
- Trois seuils réalisés par des particuliers dans le lit mineur.

## 2.2. L'occupation du sol

L'occupation du sol est principalement agricole (terres arables, zones agricoles et prairies), sa répartition est représentée sur la Figure 5, ci-dessous. Il a été défini à partir des données

issues de Corine Land Cover et affiné avec les orthophotographies. Il est primordial de prendre en compte l'occupation du sol de la zone d'étude afin d'identifier les zones à enjeux et les zones où il est possible de réaliser des aménagements.



Figure 4 : Occupation du sol (CORINE Land Cover 2018 - Mapped)

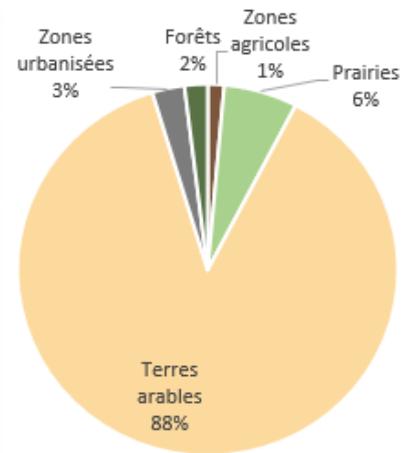


Figure 5 : Répartition occupation du sol

L'étude du bassin versant du Ruisseau de Vallières va permettre de répondre à la problématique d'inondation et de restauration des cours d'eau. Ainsi l'objectif est d'étudier, à l'aide d'une modélisation hydraulique, le comportement du bassin versant et de proposer des solutions adaptées en s'appuyant sur les propositions qui ont été faites lors des études préalables. Pour cela, une première modélisation hydrologique a été réalisée afin d'obtenir des hydrogrammes de crues pour différentes périodes de retour qui sont ensuite injectés dans un modèle hydraulique, MIKE. L'utilisation du modèle hydraulique permet ainsi d'observer les inondations pouvant avoir lieu sur le bassin versant et d'étudier les solutions les plus pertinentes en observant leurs impacts sur le bassin versant.

### 3. Etude hydrologique

Cette étude a été réalisée en deux étapes. En premier lieu, une détermination des débits de pointe avec un ajustement statistique des débits et l'application de la méthode du Gradex. Dans un second temps, une modélisation hydrologique pluie-débit avec le logiciel HEC-HMS.

#### 3.1. Détermination des débits de pointe

Le bassin versant de l'étude ne possède pas de station hydrométrique. Ainsi pour le calcul des débits de pointe il a été choisi de prendre des stations de mesures proches géographiquement de la zone d'étude et si possible ayant des caractéristiques similaires.

### 3.1.1. Ajustement statistique des débits

Les stations hydrométriques choisies sont les suivantes :

Tableau 1 : Stations hydrométriques proche de la zone d'étude

Nom de la station	Code de la station	Taille bassin versant (km <sup>2</sup> )
La Nied française à Condé-Northen [Pontigny]	A9752010	488
La Nied Allemande à Varize	A9862010	364

Pour rappel, la taille du bassin versant de la zone d'étude est de seulement 13 km<sup>2</sup> ce qui est bien inférieur aux stations choisies. Cependant, aucune autre station proche du secteur d'étude n'a une taille proche avec des données en quantités suffisantes. La carte ci-dessous localise ces deux stations vis-à-vis du secteur d'étude.

Légende

— Cours d'eau

Stations hydrométriques

- A9752010
- A9862010



Figure 6 : Localisation de stations hydrométriques et de la zone d'étude

Sur cette carte, en Figure 6, on peut remarquer que les stations de mesures sont assez proches de la zone d'étude et semblent assez similaires vis-à-vis de l'occupation du sol. Une autre station de mesure est également plus proche de la zone d'étude mais n'a pas été retenue, car il n'y avait que très peu de données de débits (de 2015 à 2019) et cette station est située à Metz donc sur un bassin versant plus urbanisé et de taille beaucoup plus importante (1280 km<sup>2</sup>).

Les données de débits des deux stations hydrométriques vont de 1969 à 2019 ; elles sont récupérées sur le site de la Banque Hydro (Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, 2020). L'ajustement statistique a été réalisé, selon la loi de Gumbel sur les débits maximums annuels. La fonction de répartition de cette loi est la suivante :

$$F(x) = \exp\left(-\exp\left(-\frac{x-a}{b}\right)\right)$$

*Équation 1 : Fonction de répartition de la loi de Gumbel*

Avec la variable réduite suivante :  $u = \frac{x-a}{b}$  où a et b sont les paramètres du modèle de Gumbel. La fréquence empirique de Hazen permet d'obtenir la fonction de répartition de la loi de Gumbel suivante :

$$F(r) = \exp\left(-\exp\left(\frac{r-0.5}{n}\right)\right)$$

*Équation 2 : Fonction de répartition de la loi de Gumbel avec la fréquence empirique de Hazen*

Avec :

- $r$  : le rang de la valeur de débit maximal annuel après un tri de la série dans l'ordre croissant ;
- $n$  : la taille de l'échantillon.

Ainsi, en pratique, le débit maximum théorique calculé avec la loi de Gumbel est le suivant :

$$Q_{théorique,maximum} = U(F) \times g + X_0$$

*Équation 3 : Loi de Gumbel appliquée pour le calcul théorique de débit*

Avec :

- $U(F) = -\ln(-\ln(F))$  Où  $F = \frac{r-0.5}{n}$  ;
- $g = 0.78 \times \sigma$  Où  $\sigma$  est l'écart-type des débits maximaux annuels de 1969 à 2019 ;
- $X_0 = \bar{x} - 0.577 \times g$  Où  $\bar{x}$  est la moyenne des débits maximaux annuels de 1969 à 2019.

L'ajustement statistique avec la loi de Gumbel est réalisé pour chacune des stations de mesures. Les résultats suivants sont obtenus :

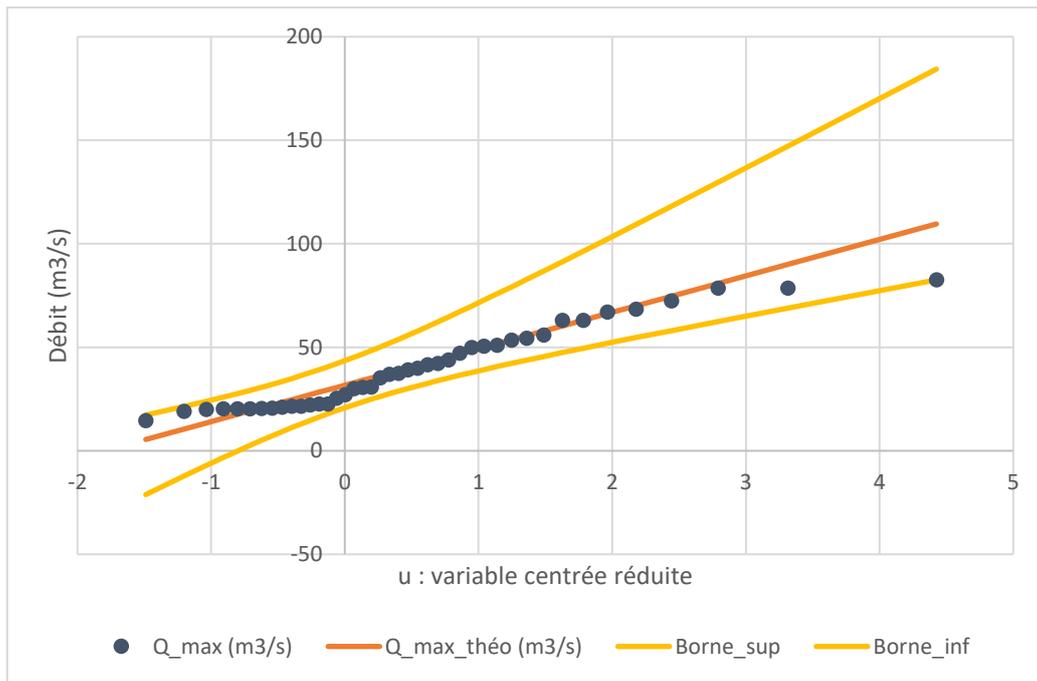


Figure 7 : Ajustement de Gumbel sur les débits de pointe à la station la Nied française à Condé-Northen sur la période de 1969 à 2019

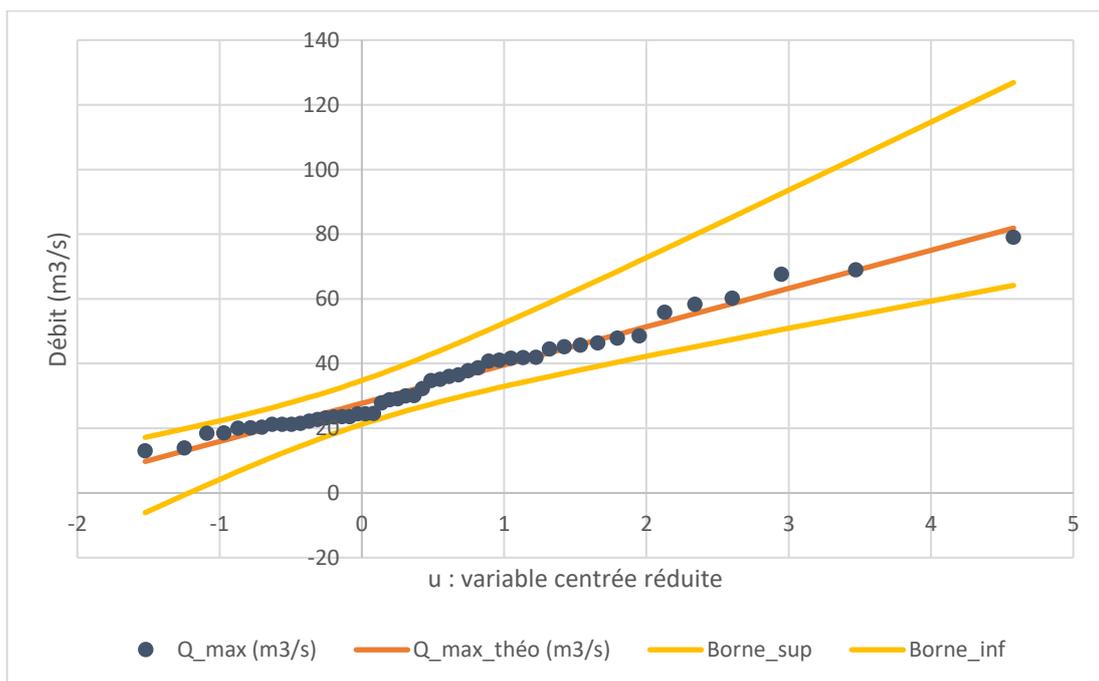


Figure 8 : Ajustement de Gumbel sur les débits de pointe à la station la Nied Allemande à Varize sur la période 1969 à 2019

Ces deux courbes permettent de vérifier la fiabilité des résultats obtenus avec l'ajustement statistique de Gumbel en comparant les débits maximums théoriques obtenus par le calcul de la loi de Gumbel et les débits réels de la Banque Hydro (Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, 2020). Cet ajustement met en évidence un problème au niveau des données pour la Nied Française. La Figure 9, ci-dessous, illustre mieux ces propos.

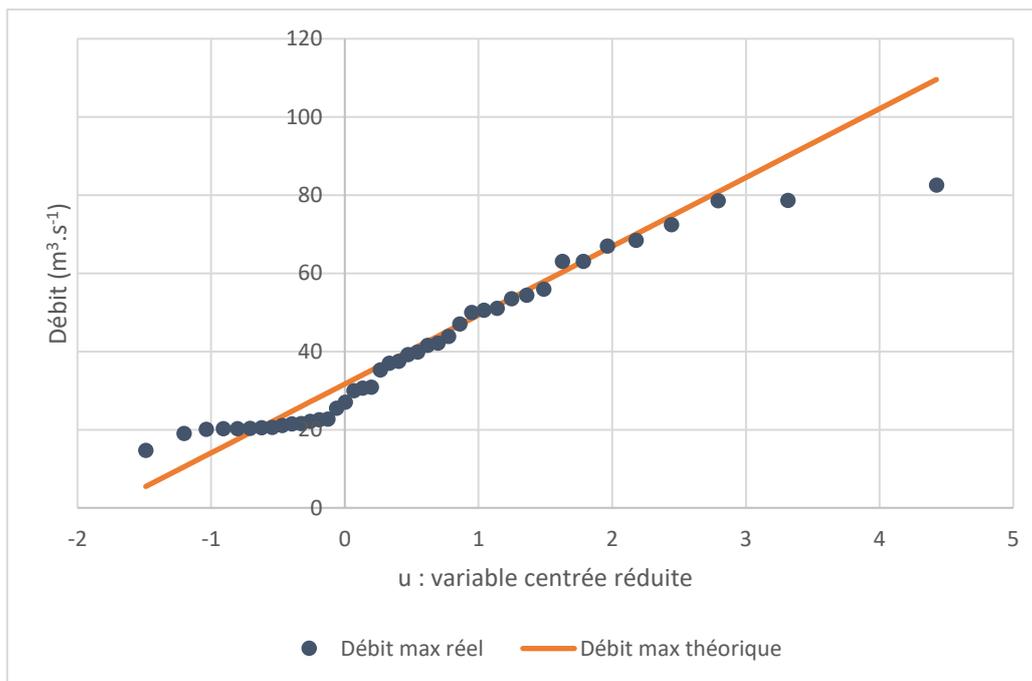


Figure 9 : Mise en évidence d'une anomalie pour les données de la Nied française

Ce graphique met en évidence une sorte de saturation autour de  $80 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ , ce qui signifie que la station hydrométrique semble avoir un problème. Elle ne semble pas réussir à mesurer les débits supérieurs à  $80 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ . Ainsi, il n'est pas possible de retenir cette station, car l'étude se porte pour des crues importantes.

Comme les débits réels sont plutôt proches des débits théoriques et suivent ainsi la même évolution, on peut ainsi considérer que les valeurs obtenues par l'ajustement statistiques sont cohérentes. Ces données sont ensuite également comparées aux valeurs calculées de la Banque Hydro (Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, 2020). Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 2 : Débits de pointe de la station hydrométrique 49862010 calculé par ajustement statistique ou provenant de la Banque Hydro

Code Station	A9862010 (364 km <sup>2</sup> )	
	Ajustement stat. (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	Banque Hydro (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )
2 ans	32	32
5 ans	45	45
10 ans	54	54
20 ans	63	62
30 ans	68	-
50 ans	74	72
100 ans	82	-

La formule de Myers permet ensuite de transposer les valeurs de débit de la Nied Allemande d'une surface de  $364 \text{ km}^2$  aux débits du site d'étude d'une surface d'environ  $13 \text{ km}^2$ . L'équation est la suivante :

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^{0,8}$$

Équation 4 : Formule de Myers

Avec :

- $Q_x$  : le débit correspondant au bassin versant x ;
- $S_x$  : la surface du bassin versant x.

Le coefficient de Myers est variable, selon le type de débit que l'on souhaite calculer. Dans le cas de débit de crue le coefficient de Myers est de 0,8. Ainsi les débits de crue à l'exutoire du bassin versant de l'étude sont les suivants :

Tableau 3 : Débits pour différentes périodes de retour à l'exutoire du bassin-versant de l'étude

	Débit à l'exutoire du site d'étude (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )
<b>2 ans</b>	2,20
<b>5 ans</b>	3,12
<b>10 ans</b>	3,73
<b>20 ans</b>	4,31
<b>30 ans</b>	4,65
<b>50 ans</b>	5,07
<b>100 ans</b>	5,64

En comparaison avec les débits présentés par le bureau d'ARTELIA ces débits sont beaucoup plus faibles. Afin de vérifier la fiabilité des données, il est nécessaire de faire le calcul de débit avec différentes formules. Il a été choisi de faire le calcul pour le débit de période de retour 10 ans. Les débits sont déterminés à partir :

- La formule de CRUPEDIX car la surface du bassin versant est supérieure à 10 km<sup>2</sup> ;

$$Q_{10} = S^{0,8} \times \left(\frac{P}{80}\right)^2 \times R$$

Équation 5 : Formule de CRUPEDIX

Avec :

- P : pluie journalière décennale en mm ;
- S : superficie du bassin versant en km<sup>2</sup> ;
- Q<sub>10</sub> : débit de pointe décennal en m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> ;
- R : coefficient régional, valant généralement 1, sauf dans certains secteurs (Annexe 1).

Cette formule a été établie par le ministère de l'agriculture français en 1980 à partir d'une synthèse sur 630 bassins versants.

- Le débit issu de la Banque Hydro (Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, 2020) pour une autre station de mesure proche, avec une similarité au niveau de la surface et qui contient au moins 20 ans de donnée. Puis

est ramener au débit de la zone d'étude par transposition avec la formule de Myers ;

- La formule rationnelle, valable pour des petits bassins-versants de moins un km<sup>2</sup>.

$$Q_p = \frac{1}{3,6} \times Cr \times I \times S$$

Équation 6 : Formule rationnelle

Avec

- $Q_p$  : débit de pointe de fréquence décennale (m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>)
- $Cr$  : coefficient de ruissellement pour une pluie orageuse de fréquence décennale ( $0 < Cr < 1$ )
- $I$  : intensité de pointe de la pluie de durée égale au temps caractéristique du bassin versant (mm.h<sup>-1</sup>)
- $S$  : surface du bassin versant (km<sup>2</sup>)

L'intensité de pointe de la pluie de durée égale au temps caractéristique du bassin versant (75 minutes (ARTELIA, juin 2018)) a été déterminée avec les coefficients de Manning Strickler correspondant. Le coefficient de ruissellement choisi correspond au coefficient de ruissellement moyen du bassin versant de l'étude (0,35) proche de celui de l'étude d'ARTELIA (ARTELIA, juin 2018).

Afin de pouvoir comparer les résultats obtenus à ceux d'ARTELIA les calculs ont été faits sur une partie du bassin versant en considérant comme exutoire le Ruisseau de Vallières à l'entrée de Montoy-Flanville, c'est-à-dire pour une surface de 8,6 km<sup>2</sup>. Les résultats sont les suivants :

Tableau 4 : Débits décennaux avec différentes méthodes de calcul

	Débit décennale (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )
<b>Loi de Gumbel</b>	2,72
<b>Formule de CRUPEDIX</b>	1,8
<b>Banque Hydro pour la station A9612010</b>	1,97
<b>Formule rationnelle</b>	9,5
<b>ARTELIA</b>	6,1

L'analyse régionale, avec ces différentes formules, met en évidence que les débits d'ARTELIA semblent fort. Cependant, l'analyse de ce bassin versant montre qu'il est à forte pente et donc sa réaction est rapide et intense ce qui n'est pas le cas des autres bassins versants pris pour l'analyse malgré leurs proximités géographiques. De plus, les estimations d'ARTELIA ont été validées par une analyse avec une crue historique, celle du 9 février 2016. On peut ainsi dire que les résultats proposés par ARTELIA sont cohérents et que l'analyse régionale et le calcul avec la loi de Gumbel sous-estiment les valeurs de débit du bassin versant de l'étude.

### 3.1.2. Méthode du Gradex

Afin d'affiner les résultats pour des crues de périodes de retour plus importantes la méthode du Gradex est appliquée. Cette méthode repose sur le fait qu'à partir d'un certain débit on peut considérer que le sol est saturé et, qu'à partir de ce débit, toute la pluie supplémentaire tombant sur le bassin versant se traduit directement en débit. La méthode du Gradex est applicable pour des bassins versant de taille très variable allant de quelques km<sup>2</sup> à plusieurs milliers de km<sup>2</sup>.

La formule des débits caractéristiques pour différentes périodes de retour est la suivante :

$$Q_p(T) = Q_p(T_0) + G_Q(d) \times (u_T - u_{T_0}) \times R_d$$

*Équation 7 : Formule du GRADEX*

Avec :

- $Q_p(T)$  : le débit de pointe pour la période de retour  $T$  ;
- $Q_p(T_0)$  : le débit de pointe pour la période de retour  $T_0$ , constituant le point « pivot » ;
- $G_Q(d)$  : le Gradex des débits calculés sur la durée «  $d$  » ;
- $u_T$  : la variable de Gumbel pour la période de retour  $T$ , avec  $u_T = -\ln(-\ln(1 - \frac{1}{T}))$  ;
- $u_{T_0}$  : la variable de Gumbel pour la période de retour  $T_0$  ;
- $R_d$  : le coefficient d'affinité.

Pour déterminer ces différents paramètres, il est nécessaire d'appliquer une méthodologie bien précise, selon les données disponibles pour l'étude. Il est important d'avoir en tête que pour pouvoir appliquer la formule du Gradex de manière rigoureuse il est nécessaire d'avoir à disposition des hydrogrammes de crue soit sur des stations de mesure sur le site d'étude ou à défaut des hydrogrammes de crue historique sur des stations de mesure proches géographiquement, mais ayant également des caractéristiques proches, telles que la taille du bassin-versant et l'occupation du sol. Dans le cas de la présente étude, une nouvelle recherche de station a été réalisée afin de trouver des stations correspondant aux critères souhaités (Figure 10). Pour ces stations il n'est pas nécessaire d'avoir beaucoup de données, car l'objectif n'est pas de faire une étude statistique comme pour la loi de Gumbel, mais de récupérer des données de débits mesurées au moment de période de crue. Ainsi, les données qu'il est nécessaire de récupérer sur le site de la Banque Hydro (Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, 2020) sont des données de débit à pas de temps variable (QTVAR).



Figure 10 : Localisation des stations hydrométriques sélectionnées pour les hydrogrammes de crue

Ces deux stations de mesures semblent correspondre aux caractéristiques du bassin versant de l'étude et ont suffisamment de données pour pouvoir observer des hydrogrammes de crue.

Tableau 5 : Stations hydrométriques sélectionnées pour les hydrogrammes de crue

Nom de la station	Code de la station	Taille bassin versant (km <sup>2</sup> )
La Bisten à Creutzwald	A9612010	55,8
L'Elvon à Bazoncourt	A9737310	16,2

Après une étude des hydrogrammes de crue de ces deux stations, la station de l'Elvon à Bazoncourt, malgré une taille proche, a un fonctionnement hydrologique différent. Les crues sur ce bassin versant sont provoquées par une saturation du sol et non par des pluies orageuses courtes du fait que ses hydrogrammes de crue soient plus étalés et non des pics fins. Ainsi, pour le calcul du Gradex seule la station de la Bisten à Creutzwald est conservée. Pour que le calcul soit le plus juste possible une moyenne de trois crues a été sélectionnée afin de déterminer la durée caractéristique « D » et le coefficient d'affinité « R ». Tous ces hydrogrammes de crue sont visibles en Annexe 2.

En parallèle, une autre méthode permettant de calculer la durée caractéristique « D » est également appliquée afin de vérifier la justesse des résultats. Cette estimation est réalisée par la méthode de SOCOSE, de formule suivante :

$$\ln D = -0.69 + 0,32 \ln S + 2,2 \sqrt{\frac{P_A}{P_{j10} \times t_A}}$$

Équation 8 : Formule pour calculer la durée caractéristique par la méthode de SOCOSE

Avec :

- D : durée caractéristique (h) ;
- S : surface du bassin versant (km<sup>2</sup>) ;
- P<sub>A</sub> : pluie annuell
- e moyenne (mm/an) ;
- P<sub>j10</sub> : pluie journalière décennale (mm) ;
- t<sub>A</sub> : température annuelle moyenne réduite au niveau de la mer (°C).

La pluie annuelle moyenne et la température annuelle moyenne ont été obtenues à partir des données de Météo France sur la fiche des caractéristiques de la station de Metz-Frescaty, seule station météorologique proche de l'étude, choisie également par ARTELIA. La température annuelle moyenne est obtenue au niveau de la station, afin de la réduire au niveau de la mer, il faut utiliser la norme indiquant que pour une diminution de 100 mètres d'altitude il y a une perte de 0,65°C (Météo France). La pluie journalière décennale est calculée à partir des coefficients de Montana de la station de Metz-Frescaty pour une durée de 3 h à 24 h.

Les résultats de durée caractéristique avec les deux méthodes et le coefficient d'affinité obtenu avec l'estimation par analyse des hydrogrammes des principales crues sont les suivants :

Tableau 6 : Résultat de la durée caractéristique et du coefficient d'affinité par différentes méthodes

	Durée caractéristique (h)	Coefficient d'affinité
<b>Méthode de SOCOSE</b>	4,1	-
<b>Méthode par analyse des hydrogrammes de crue</b>	3,9	1,6

La période de retour du point pivot choisi pour l'étude est de 10 ans. Les données obtenues avec la loi de Gumbel n'a pas permis d'observer de cassure particulière au niveau de l'évolution des débits. Il a donc été choisi de prendre la valeur usuelle d'une période de retour de 10 ans. Comme les données de débit obtenues avec la loi de Gumbel sont faibles, du fait de la faible pente du bassin versant de la Nied Allemande, le débit choisi a été celui d'ARTELIA en première approche puis dans un deuxième temps le calcul a été fait avec les débits issus du modèle hydrologique.

La première approche de calcul du Gradex, appelé Gradex brutal, a tendance à surestimer les valeurs de débit. Ainsi une autre formule du Gradex, appelé Gradex progressif, permet d'apporter une correction et d'obtenir des débits moins surestimés. La formule du Gradex progressif est la suivante :

$$Q_T = Q_{10} + g_{P\ 10 \rightarrow 100\ \text{ans}} \times \ln \left( 1 + \frac{g_{Q\ 2 \rightarrow 10\ \text{ans}}}{g_{P\ 10 \rightarrow 100\ \text{ans}}} \left( \frac{T - 10}{10} \right) \right)$$

Équation 9 : Formule du Gradex progressif

Avec :

- $Q_T$  est le débit de pointe d'occurrence T ;
- $Q_{10}$  est le débit de pointe d'occurrence décennale ;
- $g_{P\ 10 \rightarrow 100\ \text{ans}}$  est le GRADEX des pluies de crue d'occurrence comprise entre 10 et 100 ans ;
- $g_{Q\ 2 \rightarrow 10\ \text{ans}}$  est le GRADEX des débits de crue d'occurrence comprise entre 2 et 10 ans. Il est estimé à partir des débits de pointe d'occurrence 2 et 10 ans, connus aux stations hydrométriques puis transposés au droit du projet :

$$g_{Q\ 2 \rightarrow 10\ \text{ans}} = \left( \frac{Q_{10}(\text{projet}) - Q_2(\text{projet})}{u_{10} - u_2} \right)$$

Équation 10 : Formule de calcul du Gradex des débits de crue d'occurrence comprise entre 2 et 10 ans

Avec :

- $Q_{10(\text{projet})}$  est le débit de pointe au droit du projet d'occurrence décennale ;
- $Q_{2(\text{projet})}$  est le débit de pointe au droit du projet d'occurrence biennale ;
- $u_{10}$  ou  $u_2$  sont les variables de Gumbel d'occurrences 2 et 10 ans.

Les débits sélectionnés pour le calcul du Gradex des débits sont les débits issus du modèle hydrologique comme aucune autre donnée n'est possible. Les résultats du Gradex sont les suivants :

Tableau 7 : Résultat du Gradex brutal et progressif

Période de retour (ans)	Gradex Brutal ( $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ )	Gradex progressif ( $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ )
<b>10</b>	12,00	12,00
<b>20</b>	18,81	13,61
<b>30</b>	22,73	14,81
<b>50</b>	27,63	16,57
<b>100</b>	34,24	19,31

### 3.1.3. Synthèse

La détermination des débits de pointe par les différentes méthodes (Gumbel, Gradex, analyse régionale) n'est pas évidente, car il n'y aucune station de mesure hydrométrique et météorologique sur le secteur d'étude. Ainsi, les calculs ont été effectués sur des stations proches et qui semblaient similaires en première approche. L'étude plus poussée des données de ces stations a révélé une différence de certains paramètres, tel que la pente, qui finalement

impactent beaucoup les résultats de débit du fait que la réaction du bassin versant est différente.

Il a donc été choisi de s'appuyer sur les débits d'ARTELIA validés par la crue historique ainsi que les données du modèle hydrologique qui sont présentées dans la partie 3.2 suivante.

Ces résultats de débit de crue, obtenus par la méthode du Gradex, ne sont finalement qu'indicatif dans les résultats hydrologiques. Ils ne peuvent pas servir de calage pour les débits obtenus avec le modèle hydrologique, vu que les débits avec la méthode du Gradex sont obtenus avec les résultats du modèle hydrologique.

## 3.2. Modélisation hydrologique

Le principe du modèle hydrologique est de pouvoir créer des hydrogrammes de crues nécessaires au modèle hydraulique à partir soit de données réelles de pluie ou à partir d'événements pluvieux théoriques basés sur une étude statistique. A cette étape, la période de retour n'étant pas fixée par le maître d'ouvrage le modèle a été construit pour des crues de période de retour 10, 30, 50 et 100 ans.

### 3.2.1. Présentation du logiciel de modélisation

Le logiciel choisi pour cette étude est HEC-HMS. Ce logiciel a été développé par le Hydrologic Engineering Center (HEC) de l'U.S. Army Corps of Engineers (USACE). Ce logiciel permet d'appliquer plusieurs types de modèles de transformation pluie/débit en fonction de la nature des bassins versants.

Le comportement hydrologique d'un bassin versant, avec HEC-HMS, est déterminé en prenant en compte les paramètres suivants :

- Les précipitations ;
- Les pertes par infiltration, retenue ou évapotranspiration ;
- Les ruissellements directs qui prennent en compte les écoulements de surface, les stockages et les pertes de charge ;
- L'hydrologie fluviale, c'est-à-dire le comportement de l'eau lorsqu'elle se trouve dans les fonds de talweg, Fossé ou dans le lit de la rivière ;
- Les ouvrages hydrauliques de stockage existants ou projetés en prenant en compte leur capacité ainsi que leur débit de fuite ;
- Les apports du sous-sol, en intégrant les aspects hydrogéologiques des bassins versants.

Ces paramètres sont intégrés dans le logiciel et modélisés par un ensemble d'équation mathématique pour obtenir une réponse hydrologique globale du bassin versant et de ses sous-bassins versant selon les événements pluvieux souhaités.

### 3.2.2. Construction du modèle

#### 3.2.2.1. Découpage du secteur d'étude

Dans un premier temps il est nécessaire de découper le bassin versant du Ruisseau de Vallières en sous-bassins versants selon les besoins. Les paramètres à prendre en compte pour le choix du découpage sont les suivants :

- La localisation des potentiels bassins de rétention et leurs emprises proposé en phase diagnostic (ARTELIA, juin 2018) ;
- Le changement d'occupation du sol (rural ou urbain) ;
- Les confluences ;
- Le ruissellement des surfaces imperméables (routes, toits, ...).

La définition des sous-bassins versants du secteur d'étude s'effectue avec l'aide des orthophotographies, des cartes SIG, des données topographiques du LIDAR et des visites de terrain. La zone d'étude a ainsi été découpée en 22 sous-bassins versants.

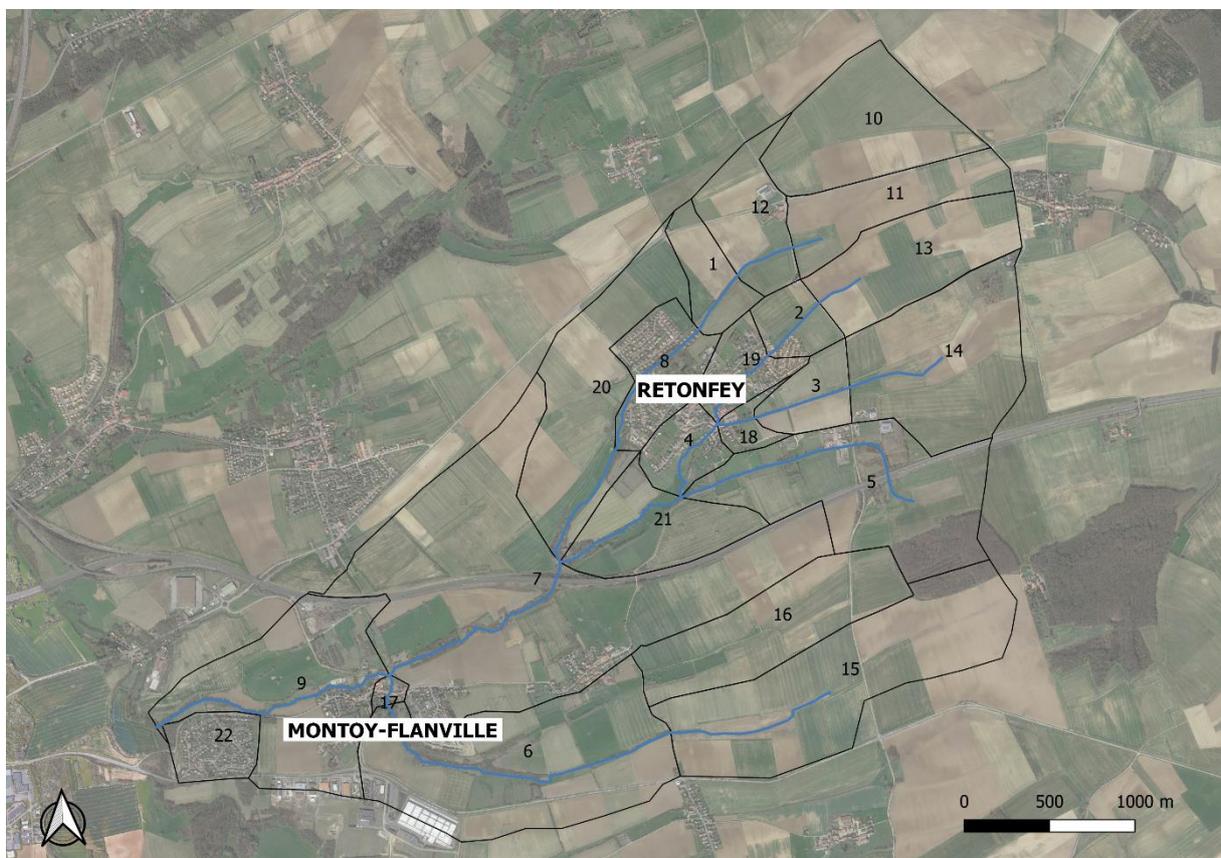


Figure 11 : Découpage du secteur d'étude en sous-bassins versants pour le logiciel HEC-HMS

Chaque sous-bassin versant est caractérisé par les éléments suivants :

- Superficie ;
- Temps de concentration (permettant de définir le lag time<sup>1</sup>) ;
- Occupation du sol (permettant de définir le Curve Number<sup>2</sup> et le pourcentage d'imperméabilisation).

---

<sup>1</sup> Intervalle de temps qui sépare le centre de gravité de la pluie nette (ou parfois le centre de gravité de l'hydrogramme dû à l'écoulement de surface) de la pointe de crue. Il est considéré égal à 60% du temps de concentration.

<sup>2</sup> Nombre sans dimension qui intervient ensuite dans le calcul de la lame ruisselée (Lr) à partir de lame précipitée.

### 3.2.2.2. Hypothèses de calculs

La fonction de production retenue est celle du SCS (SCS Curve Number). Elle consiste à calculer la lame ruisselée de chaque sous-bassin versant à partir de pluie totale, du Curve Number, et des pertes initiales.

La fonction de transfert utilisée est celle de l'hydrogramme unitaire du SCS. Elle calcule le débit de pointe à l'exutoire de chaque sous-bassin versant selon la formule :

$$Q_p = \frac{0,208 \times L_r}{t_p} \times S$$

Avec :

- $Q_p$  : débit de pointe en  $m^3.s^{-1}$
- $t_p$  : temps de montée de l'hydrogramme en heure
- $L_r$  : lame ruisselée en mm
- $S$  : superficie du bassin versant en  $km^2$

Et :

$$t_p = \frac{t_r}{2} \times 0,6 \times t_c$$

Avec :

- $t_c$  : temps de concentration du bassin versant
- $t_r$  : durée de la pluie efficace en heure = durée de l'excès de précipitation

Le temps de concentration des sous-bassins versants est calculé en retenant les valeurs des résultats issus des formules empiriques de Giandotti, Passini, Ventura, du CEMAGREF, Mockus et Turazza adaptées aux caractéristiques des bassins versants. Ces formules sont présentées en Annexe 3.

La fonction de production SCS requiert différents paramètres d'entrée :

- La superficie ;
- Le Curve Number ;
- Le pourcentage de superficie imperméable ;
- Le lag time.

Les Curve Number unitaires seront déterminés sur la base de la bibliographie (grille d'évaluation selon le guide technique du logiciel HEC-HMS notamment). Plusieurs facteurs déterminent les valeurs du Curve Number (pente, type de sol ...) mais l'occupation des sols est le plus déterminant.

Les valeurs de Curve Number unitaires et de pourcentage d'imperméabilisation du sol retenus sur le secteur d'études sont les suivants :

Tableau 8 : Curve Number unitaires retenus

Occupation du sol	Forêt	Terre arable / culture	Zone urbaine	Zone industrielle	Plan d'eau
Curve Number unitaire	53	65	80	90	100
% imperméabilisation	0	0,1	0,8	0,9	1

Les sous-bassins versants contenant des zones urbanisées ou des étangs, du fait de leur imperméabilisation, ont des Curve Number importants. Les zones rurales ont des Curve Number plus faibles car moins favorables au ruissellement. Les arbres, notamment, stoppent une grande partie de la pluie.

Les caractéristiques de chaque sous-bassin versant sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 9 : Caractéristiques des sous-bassins versants

Numéro du BV	Nom du BV	Surface (km <sup>2</sup> )	Curve Number	% imper.	Lag time (min)
1	BV Z1	0,21	65	0,10	19
2	BV_FV	0,16	65	0,10	16
3	BV Z3	0,2	65	0,10	18
4	BV_RB_Retonfey	0,18	80	0,80	17
5	BV Z5	0,97	65	0,10	24
6	BV Z7	1,24	66	0,20	37
7	BV Z8	2,25	66	0,19	44
8	BV_RV_Retonfey	0,32	80	0,80	21
9	BV_RV_aval	0,91	65	0,10	29
10	SBV Z1 (RV1)	0,65	65	0,10	28
11	SBV Z1 (RV2)	0,4	65	0,10	25
12	SBV Z1 (RV3)	0,35	65	0,10	20
13	SBV Z2 (FV)	0,56	65	0,10	28
14	SBV Z3 (BREU)	0,83	65	0,10	30
15	SBV Z8 (FE1)	1,17	65	0,10	53
16	SBV Z8 (FET1)	0,65	65	0,10	40
17	BV_FE	0,03	80	0,80	8
18	BV_RB	0,08	70	0,33	11

19	BV_FV_Retonfey	0,2	80	0,80	13
20	BV_RV_amont	0,79	65	0,10	26
21	BV_RB_aval	0,43	65	0,10	21
22	BV_Village_aval	0,2	80	0,80	11

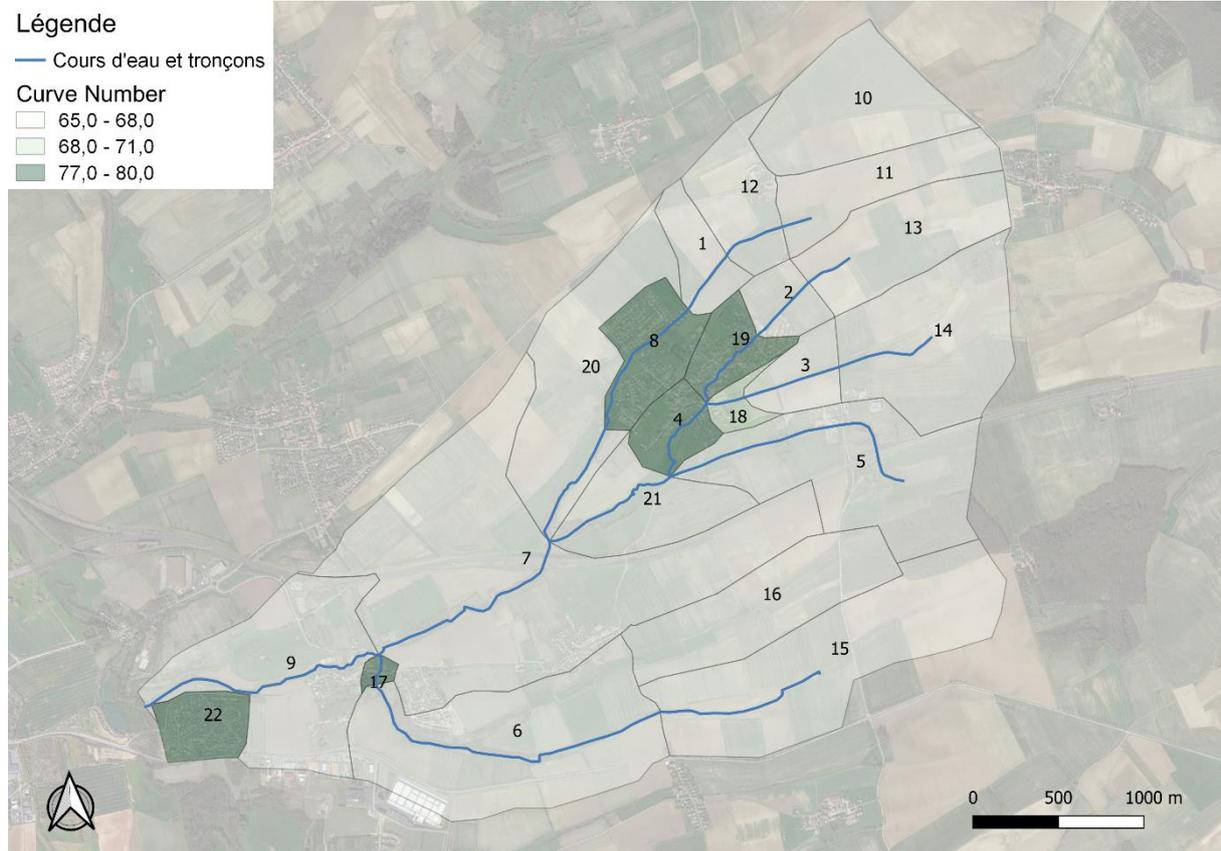


Figure 12 : Curve Number des différents sous-bassins versants du secteur d'étude

### 3.2.3. Calage du modèle

Le calage du modèle hydrologique s'appuie sur l'événement historique du 9 février 2016 ayant engendré des inondations à Montoy-Flanville et Retonfey. Cet événement historique a été enregistré à la station de l'aéroport de Metz-Frescaty.

Ainsi, les données de débit de référence choisi pour le calage sont ceux proposés par le bureau d'études qui a réalisé le diagnostic. Ces données de débit sont à différents points du bassin versant de l'étude pour des crues de période de retour de 10, 30, 50 et 100 ans.

Tableau 10 : Comparaison des résultats de la modélisation hydrologique et de l'étude d'ARTELIA (ARTELIA, juin 2018)

LOCALISATION (nom du tronçon)	DEBIT (m3/s)											Moyenne diff / tronçon
	pdr 10 ans			pdr 30 ans			pdr 50 ans		pdr 100 ans			
	ARTELIA	IRH	Diff.	ARTELIA	IRH	Diff.	ARTELIA	IRH	ARTELIA	IRH	Diff.	
Ruisseau de Vallières à la Rue des Tulipes (A2)	1.4	1.3	7%	2.5	2.3	8%	-	3.1	4.1	4.6	15%	9%
Fossé de Vallières à l'entrée de Retonfey (B3)	0.8	0.7	13%	1.3	1.2	8%	-	1.6	2.2	2.4	9%	10%
Ruisseau du Breuil à la Place du Gué (C3)	1.1	0.9	18%	1.8	1.6	11%	-	2.1	3.1	3.2	3%	11%
Fossé de l'Etang à Montoy (E3)	2.5	2.6	4%	4.2	4.3	2%	-	5.6	7	8.1	16%	7%
Ruisseau de Vallières à Montoy (A6)	6.1	6.5	7%	10.9	11	1%	-	14.5	18.6	21.6	16%	8%
Moyenne diff / pdr			10%			6%					11%	<b>9%</b>

Le nom du tronçon correspond au nom attribué lors de la modélisation hydrologique. La différence de débit est assez faible et peut-être due au fait que le calcul du débit n'a pas été réalisé exactement au même endroit.

### 3.2.4. Détermination des hydrogrammes de crues de référence

#### 3.2.4.1. Pluies de projet

Une fois calé, le modèle hydrologique est exploité pour fournir les hydrogrammes de crue en différents points sur les cours d'eau du secteur d'étude pour les périodes de retour caractéristiques retenues :

- 10 ans ;
- 30 ans ;
- 50 ans ;
- 100 ans.

Les pluies de projets ont été construites sur la base des données de coefficients de Montana fournies par la méthode de renouvellement à Metz-Frescaty acquises auprès de Météo France pour les besoins de l'étude.

Les pluies de projets sont de type double triangle avec une durée de l'épisode intense égale à 75 minutes et une durée globale de 4h (durée proche du temps de concentration du bassin versant du Ruisseau de Vallières).

L'intensité des pluies de projet a été définie par une corrélation directe entre la période de retour des pluies et les débits. C'est-à-dire qu'on considère qu'un débit  $Q_i$  est associé à une période de retour  $i$ .

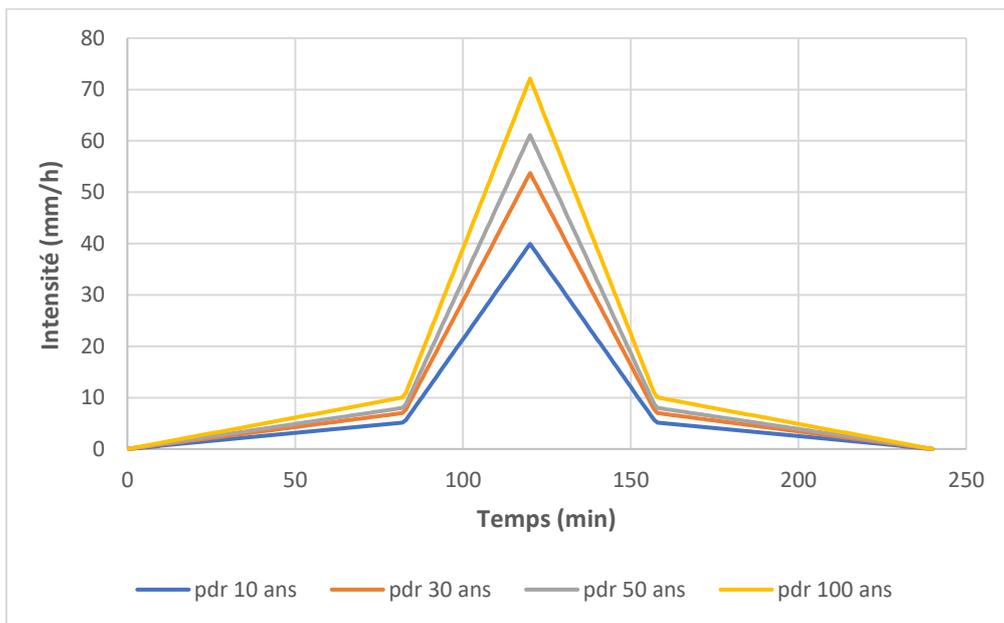


Figure 13 : Pluies de projet injectées dans le modèle hydrologique

#### 3.2.4.2. Hydrogrammes de crue

Les hydrogrammes de crue d'exutoire du bassin versant du Ruisseau de Vallières via le modèle hydrologique sont présentés sur la Figure 14, suivante. Ces hydrogrammes de crue obtenue en différents points du secteur de l'étude et pour différentes périodes de retour sont utilisés pour le modèle hydraulique comme donnée initiale.

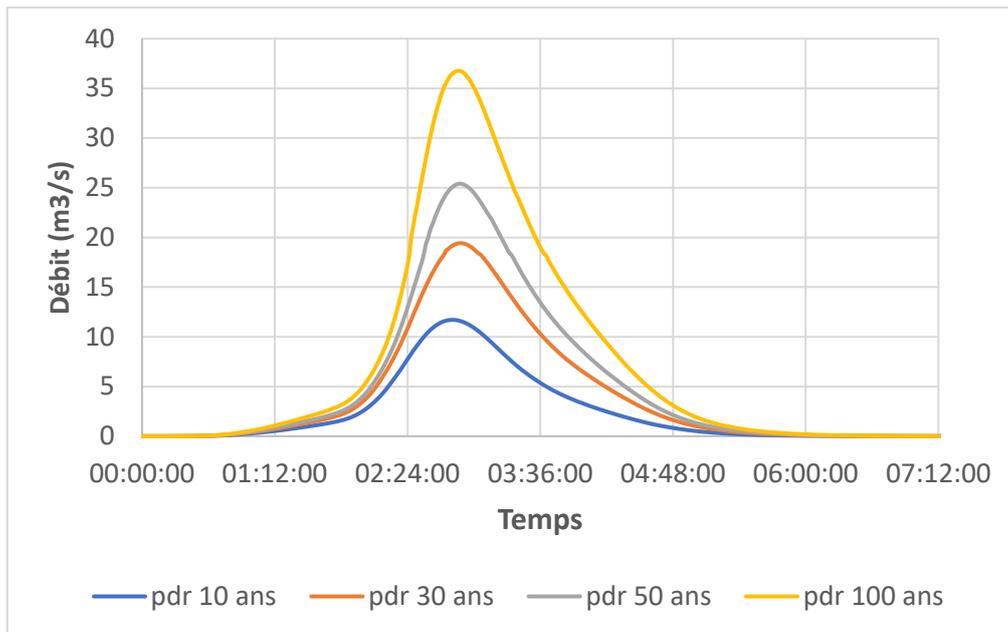


Figure 14 : Hydrogrammes de crue à l'exutoire du bassin versant de l'étude pour différentes périodes de retour de crue

#### 4. Modélisation hydraulique

Après avoir réalisé la modélisation hydrologique et obtenu les hydrogrammes de crues pour des périodes de retour 10, 30, 50 et 100 ans il est possible d'utiliser un modèle hydraulique afin d'étudier les inondations et de pouvoir ainsi prévoir les aménagements nécessaires pour gérer ces inondations. Ce modèle permet également de prendre en compte les effets des aménagements de type hydraulique douce (remise du cours d'eau en fond de talweg, méandrage, réouverture du cours d'eau) pour la partie restauration des cours d'eau.

Il est important de préciser que les résultats présentés ici sont des résultats temporaires car des données topographiques supplémentaires sont en cours de réalisation afin d'affiner le modèle sur des zones manquant de données indispensables pour la justesse des résultats. Le résultat des levés topographiques ne sera fourni à IRH Ingénieur Conseil qu'en septembre 2020. Ainsi, le modèle final ne pourra être obtenu qu'en octobre.

##### 4.1. Choix et présentation du logiciel hydraulique utilisé

Lors d'une étude portant sur la gestion des inondations le choix du logiciel hydraulique dépend principalement de la commande du maître d'ouvrage. Dans le cas de la présente étude, il n'y avait pas de spécification particulière de la part du client. Ainsi, il a été décidé qu'un logiciel avec couplage 1D/2D permettrait de mieux appréhender les inondations et de pouvoir ainsi proposer des aménagements cohérent avec les besoins des communes concernées. Le choix du logiciel hydraulique dépend également de ce que le bureau d'études IRH Ingénieur Conseil utilise couramment. Aux regards de tous ces éléments, il a été convenu d'utiliser le logiciel MIKE FLOOD, développé par le Danish Hydraulic Institute (DHI).

MIKE FLOOD résout les équations de Barré de Saint-Venant en utilisant la méthode des éléments finis ou volumes finis et un maillage de calcul à éléments triangulaires variables. Il peut effectuer des simulations en régime transitoire et permanent. Ce logiciel est utilisé pour simuler des écoulements à surface libre dans les deux dimensions de l'espace horizontal. En chaque point du maillage, le programme calcule la profondeur de l'eau et les deux composantes horizontales de la vitesse (Antea Group, Septembre 2019).

#### 4.2. Architecture du modèle

Le premier élément crucial dans la construction d'un modèle hydraulique est de déterminer les zones à enjeu qui nécessitent d'être représentées en 2D afin de mieux appréhender la réponse du bassin versant en période pluvieuse. Dans le cas de l'étude, il est donc nécessaire de modéliser en 2D le bassin versant dans les cas suivants :

- Secteur ayant des risques d'inondations à enjeu, donc cela signifie au niveau des communes de Retonfey et Montoy-Flanville ;
- Secteur avec des ouvrages hydrauliques complexes pouvant se mettre en charge et déborder ;

Il est important de préciser que la limite du maillage 2D au niveau des cours d'eau doit avoir lieu au droit d'un profil en travers. Ainsi, l'emprise du maillage 2D à une superficie d'environ 3,2 km<sup>2</sup> (Figure 15).

Le réseau hydrographique du secteur d'étude a, quant à lui, été modélisé en 1D. Les cours d'eau du secteur d'étude modélisés en 1D sont les suivants (Figure 15) :

- Ruisseau de Vallières (5 543 m)
- Fossé de Vallières (1 280 m)
- Ruisseau du Breuil (2 853 m)
- Fossé de l'Etang (3 173 m)

Il a été choisi de ne pas représenter le cours d'eau sans nom car il n'y a aucun enjeu ni aménagement de prévu. L'emprise du sous-bassin versant comprenant ce cours d'eau est bien entendu prise en compte lors de la modélisation hydrologique et intégrée dans le modèle hydraulique sous la forme d'un hydrogramme de crue.

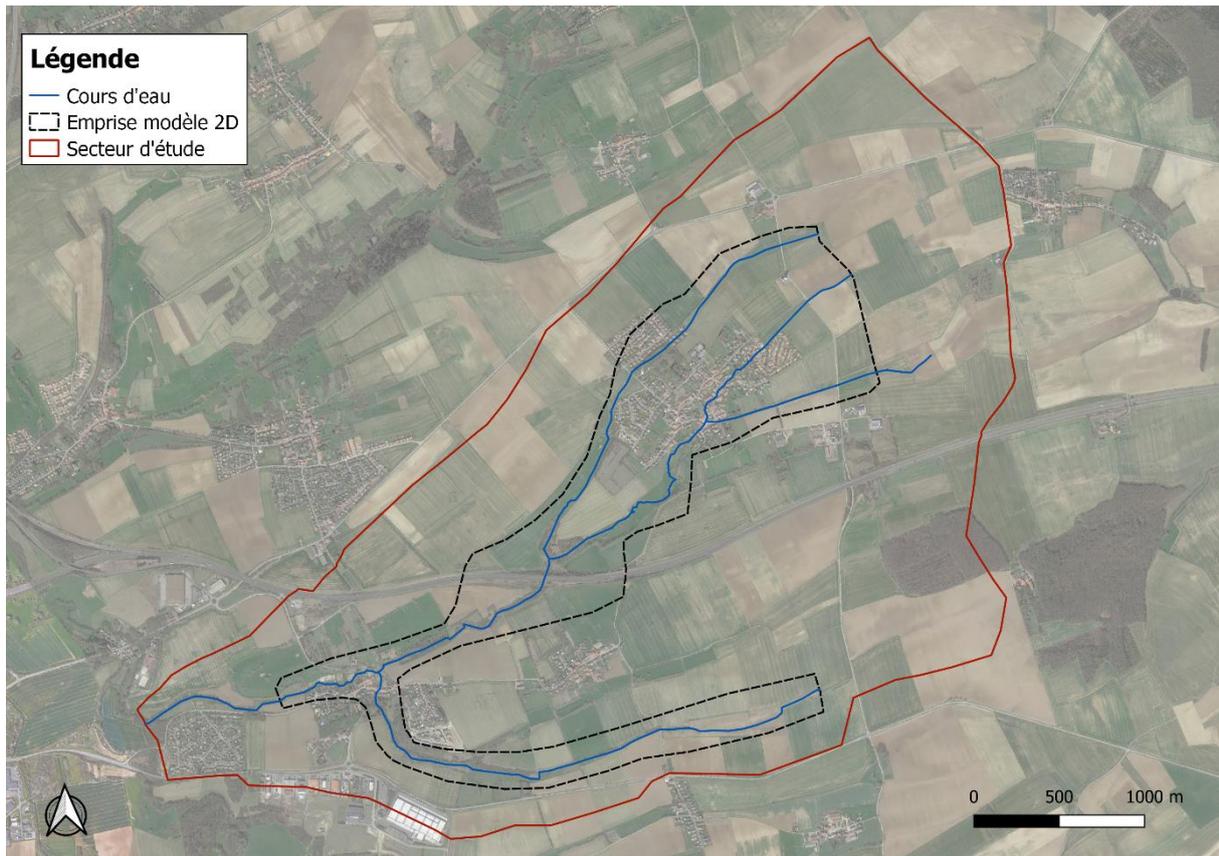


Figure 15 : Emprise du modèle hydraulique couplé 1D/2D

L'emprise du modèle 2D pourra être amenée à évoluer avec les levés topographiques supplémentaires.

#### 4.3. Données topographiques utilisées

Pour la modélisation hydraulique il est nécessaire d'importer un maximum d'éléments topographiques dans le modèle pour une fiabilisation des résultats. Dans le cadre de l'étude les éléments à disposition sont les suivants (Figure 16) :

- MNT produit par IRH Ingénieur Conseil à partir des données LIDAR fournies par le MATEC ;
- Relevés topographiques réalisés par le géomètre expert Meley Strozyna datant de janvier 2018 comprenant : 27 profils en travers, 11 levés d'ouvrages hydrauliques et 6 semis de points ponctuels.

Les données issues des relevés topographiques (plus précises) ont été privilégiées à celles issues du MNT.

**Rappel important :** Des levés topographiques complémentaires ont été commandés pour les besoins de la présente étude et sont en attente de livraison. Le modèle a été réalisé à ce stade sur la base des données partielles disponibles. De fait, la modélisation et ses résultats restent provisoires à ce stade.

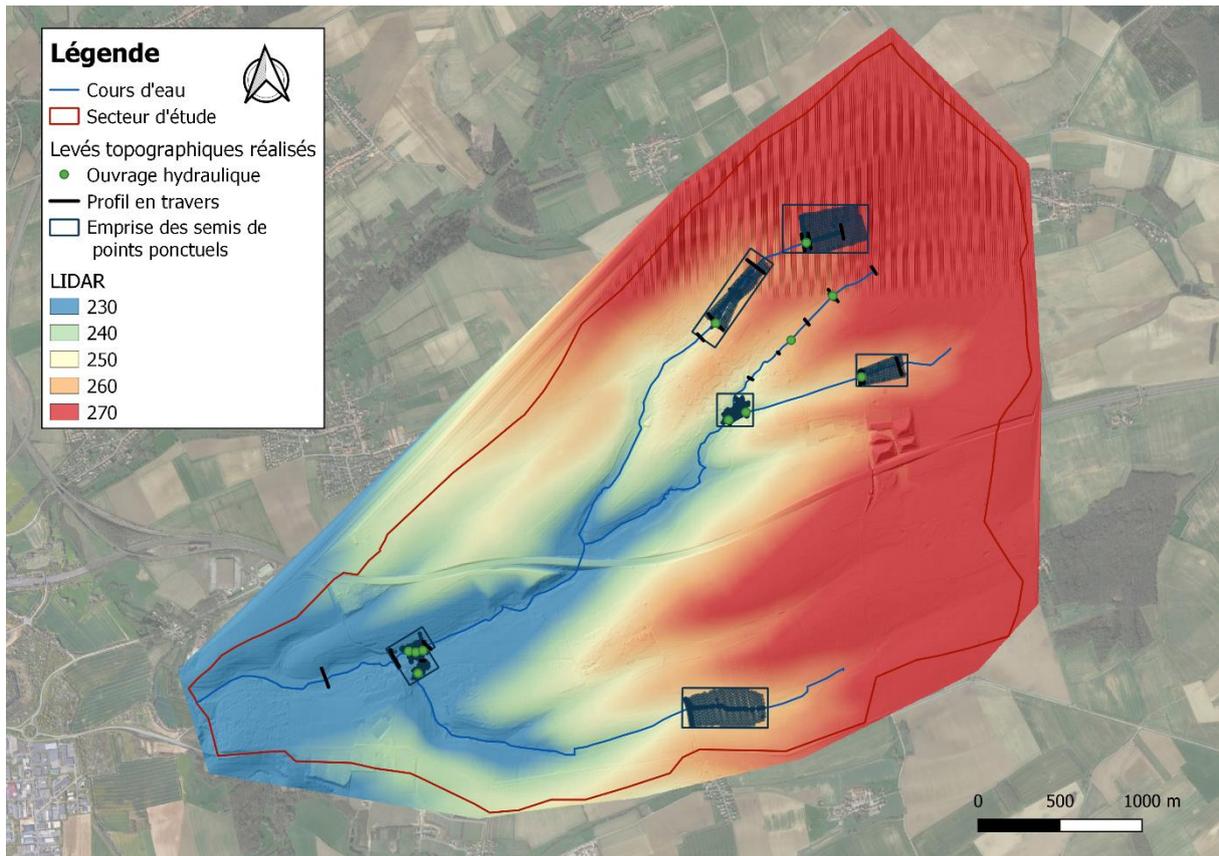


Figure 16 : Emprise du LIDAR (m NGF) et des levés topographiques

#### 4.4. Description du modèle

##### 4.4.1. Modèle 1D

Les lits mineurs des différents cours d'eau sont représentés dans le modèle 1D à partir des levés topographiques existants réalisés en mars 2018 lors de la précédente étude (ARTELIA, juin 2018). Afin de compléter les zones manquantes il est nécessaire de réaliser une interpolation des profils en travers afin d'obtenir un profil en travers environ tous les 100 mètres sur l'intégralité des cours d'eau.

Au global, le modèle hydraulique est constitué de 11 ouvrages hydrauliques, 27 profils levés et de 106 profils.

Le modèle s'étend jusqu'à environ 500 mètres en aval de Montoy-Flanville.

Le modèle 1D représente uniquement le lit mineur des cours d'eau. Lorsque le niveau d'eau dans le lit mineur est supérieur à celui des berges, il se déverse alors dans le lit majeur représenté en 2D.

##### 4.4.2. Modèle 2D

Une modélisation hydraulique 2D doit répondre à deux objectifs. D'une part, le maillage doit être suffisamment dense et précis afin de rendre compte de la réalité des

phénomènes hydrauliques et, d'autre part, celui-ci doit rester relativement simple afin de garder des temps de calcul raisonnables.

Le lit majeur est décrit sur la base d'un maillage triangulaire de taille variable, celle-ci étant adaptée aux enjeux rencontrés. En effet, le maillage triangulaire permet de mieux suivre la forme des cours d'eau sinueux contrairement au maillage rectangulaire.

Sur les secteurs présentant peu d'enjeux, les mailles peuvent atteindre au maximum environ 50 mètres de côté. Tandis que sur les secteurs à enjeux comme le centre-ville de Montoy-Flanville et Retonfey ainsi qu'à l'entrée de Retonfey le maillage a été affiné afin que les mailles soient réduites à environ 5-8 mètres de côté.

Le maillage est par ailleurs contraint par des lignes structurantes de la géométrie du secteur, comme des routes ou infrastructures en remblai.

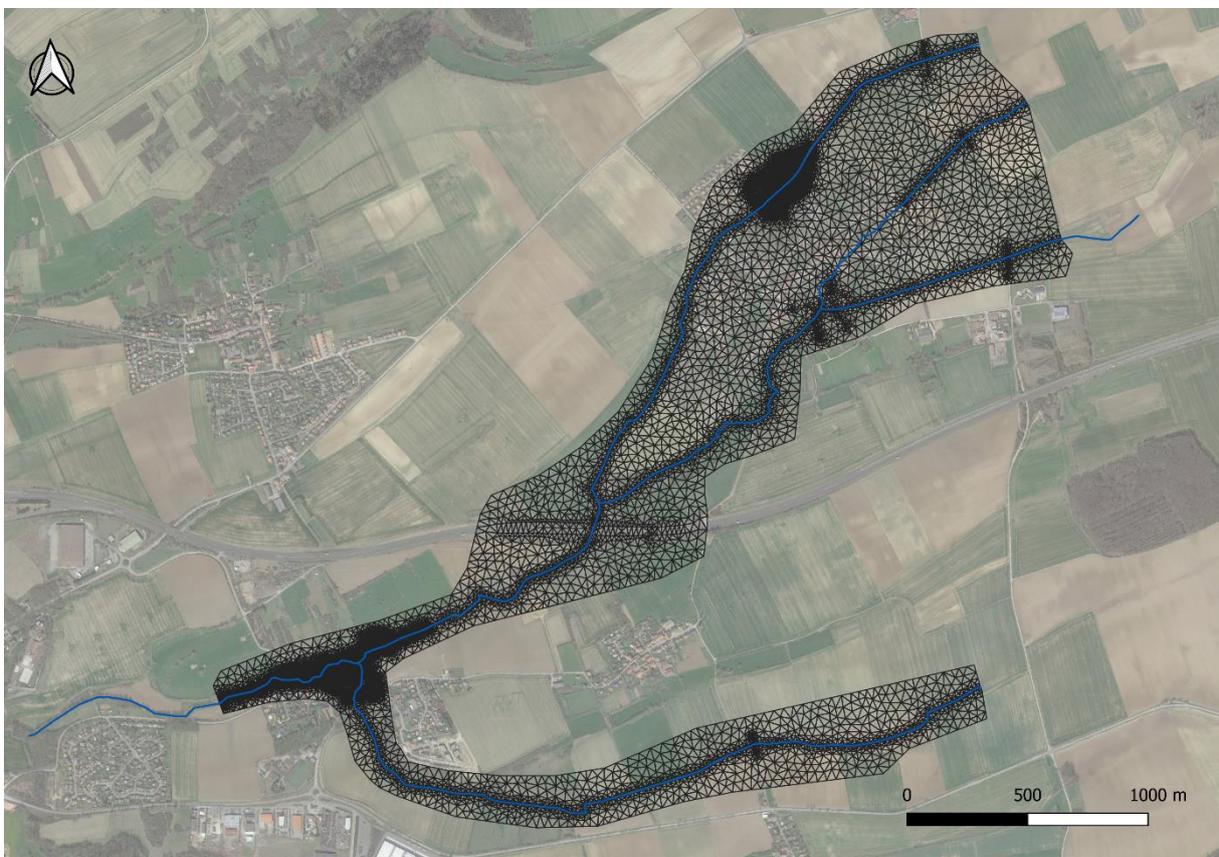


Figure 17 : Vue globale du maillage du modèle couplé 1D/2D

Le maillage obtenu, à ce stade, est constitué d'environ 19 000 mailles et 10 000 nœuds (Figure 17). Avec la commande de levés topographiques supplémentaires ces données vont évoluer.

#### 4.4.3. Singularités

##### 4.4.3.1. Modélisation des ponts et ouvrage hydrauliques

Le logiciel MIKE FLOOD permet d'intégrer des ouvrages hydrauliques tels des ponts, des seuils ou des digues (Figure 18). Tous les ouvrages hydrauliques sont situés dans le lit

mineur du cours d'eau. Ainsi, chaque ouvrage est un couplage 1D/2D. Le modèle 1D permet de générer l'écoulement dans l'ouvrage en lui-même et le modèle 2D permet d'étudier le débordement potentiel de l'ouvrage, en cas de mise en charge. Cette étape de couplage est indispensable pour les ouvrages hydrauliques à enjeux et/ou ayant une longueur importante (Place du Gué, rue des Tulipes et rue des Cerisiers).

Le modèle calcule à chaque pas de temps de simulation et en fonction des caractéristiques géométriques des ouvrages, si l'écoulement se fait en charge ou à surface libre et applique les lois correspondantes.

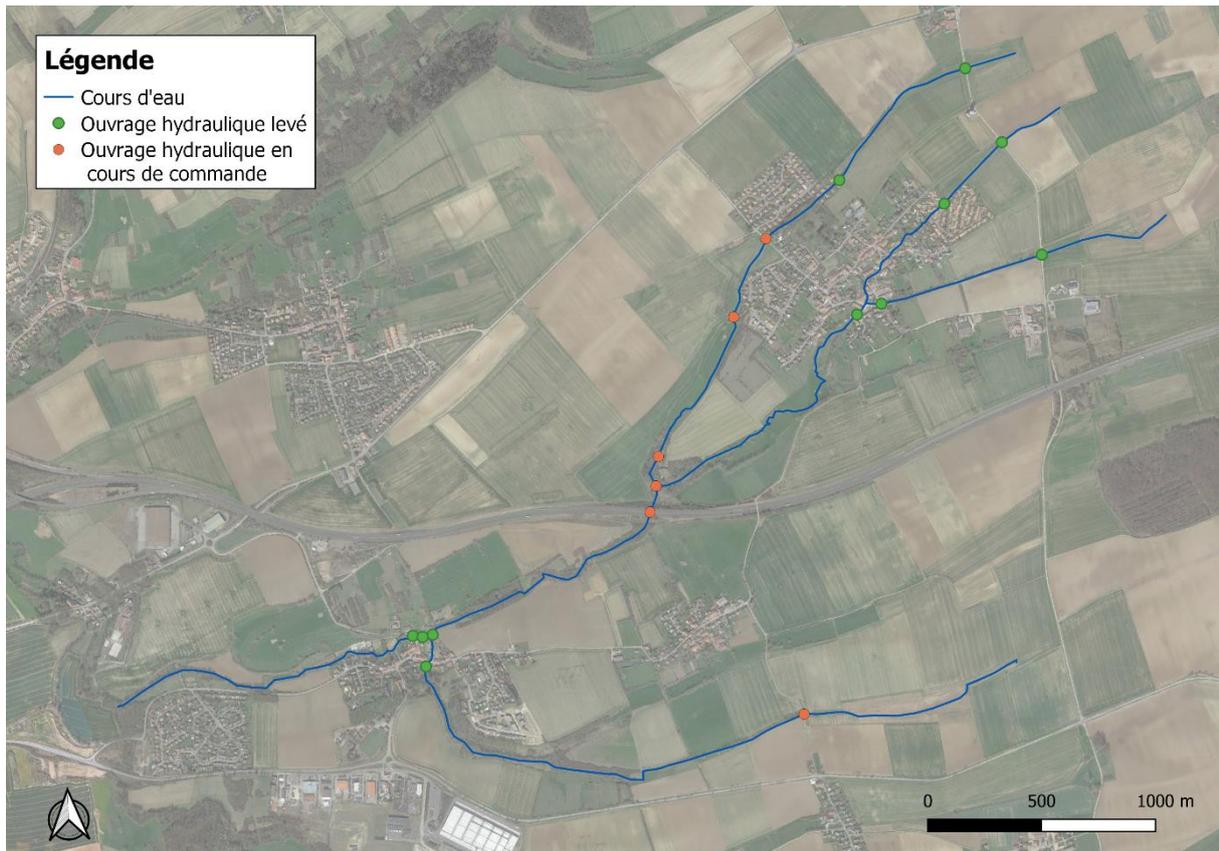


Figure 18 : Localisation des ouvrages de la zone d'étude pour le modèle 2D

Les ouvrages hydrauliques représentés en rose sur la Figure 18 sont les ouvrages qui ne sont pas représentés dans le modèle hydraulique présenté ici. Ces ouvrages sont en cours de commande et le retour de ces levés est prévu pour courant septembre. Il sera donc nécessaire d'ajouter ces ouvrages hydrauliques par la suite.

Les ouvrages hydrauliques comprenant un tablier tel que les ponts ou certaines buses peuvent-être représentés de trois manières différentes :

- Soit en créant sur MIKE deux ouvrages différents : une buse (nommé « Culverts » dans MIKE) et un tablier (nommé « Weirs » dans MIKE). Cette méthode permet de représenter un ouvrage hydraulique qui n'a pas une longueur trop importante et où les débordements de cet ouvrage n'ont pas d'importance pour la modélisation.

- Soit en créant sur MIKE directement un ouvrage pont (nommé « Bridges » dans MIKE). Cet outil n'est pas exploité car en pratique il n'est pas bien représentatif de la réalité pour la modélisation.
- Soit en créant sur MIKE un ouvrage de type buse (nommé « Culverts » dans MIKE) et de représenter le tablier dans le maillage 2D. Cette méthode permet de prendre en compte les ouvrages qui sont busés sur un long linéaire (exemple de la Place du Gué ou de la rue des Tulipes à Retonfey) et également d'observer les débordements de l'ouvrage dans toutes les directions.

Pour l'étude tous les ouvrages ont été représentés de la 3ème manière avec une buse et un couplage au maillage 2D afin de pouvoir observer les inondations dans toutes les directions et d'être le plus proche de la réalité. Ainsi, voici un exemple sur la Figure 19 de fiche d'ouvrage qu'il est nécessaire de remplir pour l'ouvrage O3.

Branch Name: FV, Chainage: 970, ID: O3  
 Type: Regular  
 Edit reservoir storage...  
 Attributes:  
 Upstream Invert: 257.75  
 Down Str. Invert: 238.5  
 Length: 607  
 Manning's n: 0.014  
 No. of Culverts: 1  
 Valve Regulation: None  
 Section Type: Closed  
 Head Loss Factor:  
 Positive Flow: Inflow 0.5, Out Flow 1, Free Overflow 1, Bends 0  
 Negative Flow: Inflow 0.5, Out Flow 1, Free Overflow 1, Bends 0  
 Geometry:  
 Type: Circular  
 Diameter: 0.8  
 Rectangular: Width 0, Height 0  
 Graphic:  
 Horizontal offset from marker 2: 0  
 Plot...  
 Flow Conditions:  
 Q-h relations: Hydraulic Parameters, Orifice Flow Coefficients  
 Table 1:  

	y	Qc, Po	Type
1	0	0	No Flow
2	0.0073	7.3873	Inlet C

 Table 2:  

	y	Qc, N	Type
1	19.25	0	No Flow
2	19.259	7.3873	Outlet C

 No of Q/h-relations: 40  
 Calculate Q-h...

Figure 19 : Représentation de la fiche de l'ouvrage O3 dans MIKE

Pour chaque ouvrage il est nécessaire de renseigner les informations suivantes :

- La distance de l'ouvrage sur la branche du cours d'eau où il se trouve ;
- Les côtes de l'ouvrage en amont et en aval ;
- La longueur de l'ouvrage ;
- Le type d'ouvrage : circulaire, rectangulaire ou particulier ;
- La rugosité du fond de l'ouvrage, exprimé par le coefficient de Manning (n), l'inverse du coefficient de Strickler. Dans le cas d'un ouvrage avec un fond en béton (Figure 20) le coefficient de rugosité est de 0,014 (correspondant à un coefficient de Strickler de  $70 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ ). Si l'ouvrage est rempli de sédiment, le coefficient de Strickler choisi

correspond au coefficient de Strickler du fond du lit mineur ( $20 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ ), ainsi la valeur du coefficient de rugosité est de 0,05.



Figure 20 : Photos d'ouvrages hydrauliques du secteur d'étude

Il est nécessaire d'avoir des profils en travers à environ 10 mètres de l'ouvrage en amont et aval afin que le logiciel puisse calculer la loi  $Q/h$  permettant de connaître le comportement de l'ouvrage hydraulique selon le débit arrivant dans l'ouvrage. Le logiciel détermine également le type de flux selon la hauteur d'eau, ces types sont les suivants (DHI, 2014) :

- « No Flow » : la hauteur ( $h$ ) est à 0, il n'y a donc aucun débit circulant dans l'ouvrage ;
- « Inlet C » : le débit en entrée de l'ouvrage est critique ;
- « Outlet C » Le débit à la sortie de l'ouvrage est critique. Le logiciel calcule ainsi une courbe de remous avec une résolution fine pour mettre en relation le débit avec le niveau d'eau en amont de l'ouvrage dans la rivière ;
- « Full Cul » : l'ouvrage est totalement en charge.

Les caractéristiques des ouvrages hydrauliques représentés dans le modèle actuel sont les suivantes :

Tableau 11 : Présentation des ouvrages hydrauliques introduit dans le modèle MIKE

Nom	Cours d'eau	Localisation (m)	Côte amont (m)	Côte aval (m)	Longueur (m)
O1	RV	228	261,63	261,42	8,36
O2	FV	303,72	262,88	262,73	9,44
O3	FV	970	257,75	238,5	607
O4	RB	597,6	257,37	257,31	7,09
O5	RV	1076	250,68	249,76	134
O6	RB	1369	241,24	238,98	70
O7	RV	4050,5	206,21	206,06	5
O8	RV	4000,5	207,32	207,25	3
O9	FE	3072,5	207,17	206,98	87
O10_FV	FV	1315,5	238,43	238,08	70
O10_RB	RB	1442	238,89	238,19	70
O11	RV	4094	205,92	205,62	10

Au niveau de la Place du Gué à Retonfey les ouvrages hydrauliques sont un peu complexes. Le Fossé de Vallières (O6 et O10) et le Ruisseau du Breuil (O10) sont busés dans la traversée de Retonfey. Lors de la précédente étude (ARTELIA, juin 2018) des ITV ont été réalisées afin de comprendre comment le réseau hydraulique est fait. Il s'avère qu'il y a beaucoup de changement de diamètre, pente et de type d'ouvrage.

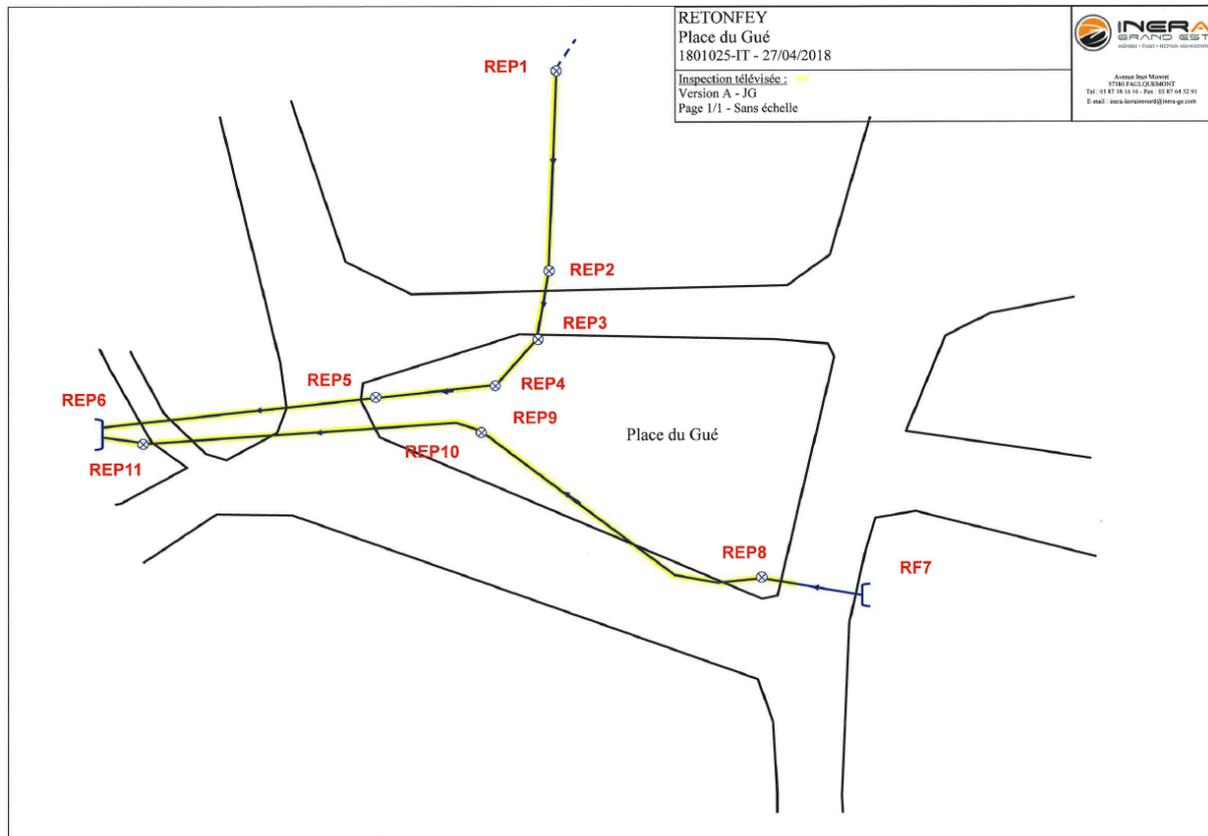


Figure 21 : Schématisation du réseau fluviale au niveau de la Place du Gué (source INERA)

Ainsi, il a été choisi de simplifier en choisissant les sections limitantes les plus critiques et de séparer l'ouvrage O10 en deux car il y avait un changement important des caractéristiques des canalisations. De plus, cela permet également de représenter les avaloirs en supposant qu'en cas de saturation du réseau des inondations peuvent subvenir par une remontée de l'eau au niveau des avaloirs sur la Place du Gué.

#### 4.4.3.2. Modélisation du bâti

Dans un modèle hydraulique, il y a deux manières de modéliser les bâtiments :

- Soit en « extrudant » les bâtiments ce qui signifie qu'on considère que le bâtiment en question est un obstacle à l'écoulement et que l'eau ne peut donc pas le traverser. Ce choix est fait dans le cas des centres-villes très denses laissant aucun espace entre les bâtiments ;
- Soit en tenant compte des bâtiments qu'en modifiant la rugosité, via un coefficient de Strickler. Dans ce cas-là, le bâtiment n'est pas considéré comme un obstacle franc à l'écoulement mais va seulement ralentir l'écoulement. Le coefficient de Strickler permet de représenter cela au moment de la modélisation. Ce choix est fait dans le cas

où les bâtiments sont des maisons individuelles avec des jardins. En effet, dans cette situation l'eau peut passer entre les maisons dans les jardins. On considère également que les petits murets présents au pied des maisons ne sont pas conçus pour retenir un pic de crue et que dans le cas d'une forte crue le muret céderait. Ainsi, l'écoulement de l'eau est freiné mais pas totalement stoppé.

L'étude du bassin versant du Ruisseau de Vallières montre que ce bassin versant est principalement rural avec dans les communes des maisons individuelles avec jardin. Le choix a donc été fait de ne pas « extruder » les maisons.

Après avoir fait tourner le modèle et observé les résultats d'inondation, certains bâtiments pourraient être « extrudés » au niveau de Montoy-Flanville car la densité est plus importante que sur le reste du bassin versant. Ces maisons sont entourées en rouge sur la Figure 22 ci-dessous.



Figure 22 : Explication de la pertinence d'extruder certains bâtiments à Montoy-Flanville pour une crue de période de retour 100 ans

#### 4.4.3.3. Modélisation des digues

Aucune digue n'est présente sur la zone d'étude à l'état initial du projet. Lors de la phase d'aménagement des digues seront implantées sur l'ensemble des cours d'eau.

Cette partie n'est donc réalisable qu'une fois les levés topographiques supplémentaires reçus. Pour rappel, la commande est prévue pour courant septembre. C'est donc en octobre que des modifications de ce type pourront être apportées.

#### 4.4.4. Rugosité

La rugosité des lits mineurs et majeurs est définie par le biais d'un coefficient de Strickler variable sur l'emprise du modèle (Figure 23). La rugosité retenue est initialement définie sur la base de la bibliographie et des reconnaissances terrain.

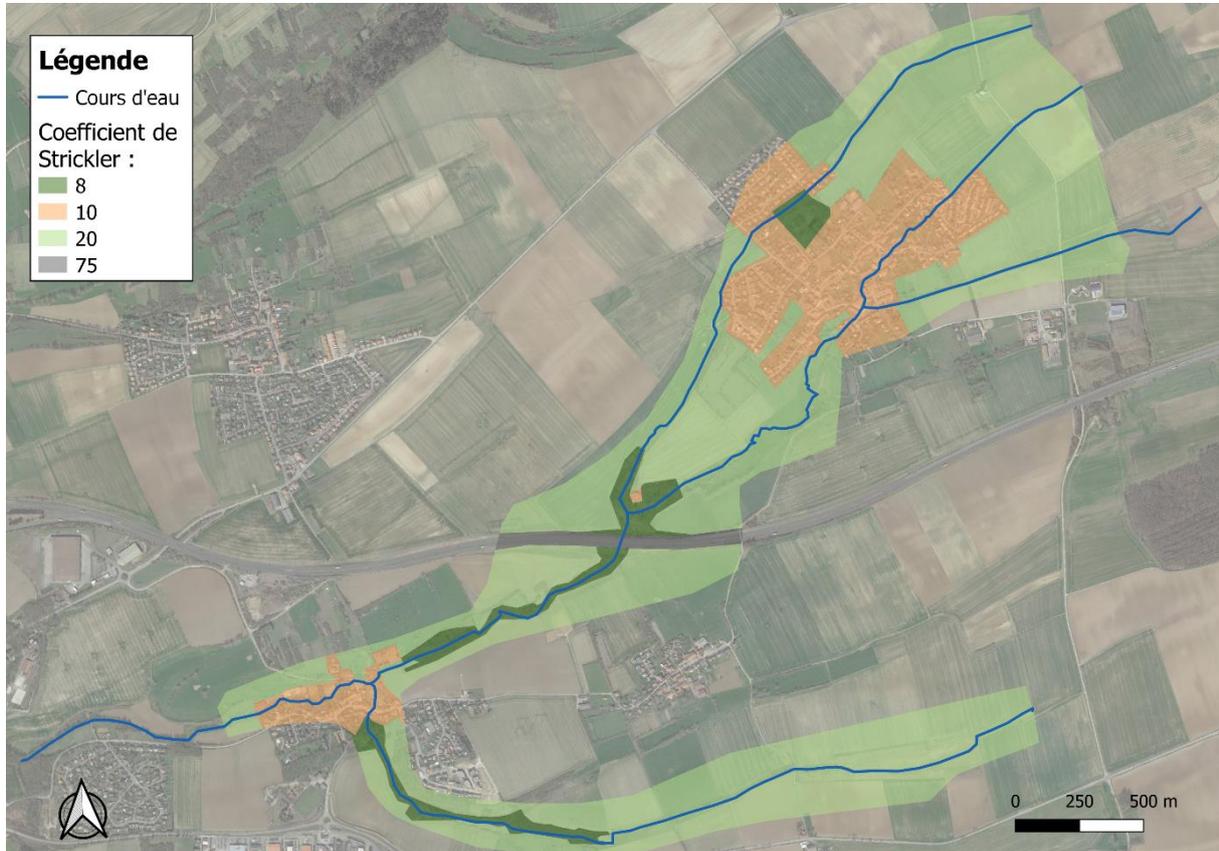


Figure 23 : Répartition des coefficients de Strickler pour le modèle hydraulique MIKE

Les valeurs de rugosité finalement retenues sont présentées dans le Tableau 12 ci-après. Pour rappel, plus le coefficient de Strickler est faible, plus la résistance à l'écoulement est élevée.

Tableau 12 : Coefficients de rugosité (Strickler) retenus

Désignation	Coefficient de Strickler
Forêt	8
Zones urbaines	10
Champs	20
Autoroute	75

#### 4.4.5. Etude de l'impact du changement climatique sur le secteur d'étude

Suite au souhait du maire de Retonfey de prendre en compte l'évolution du changement climatique dans notre modèle hydraulique. Une courte analyse de l'impact du changement climatique sur la pluviométrie du secteur sur la base des données de la DRIAS (Météo France, s.d.) ainsi que des conseils de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse a été réalisée.

Le site d'étude est localisé en Moselle dans le Grand-Est. Ainsi, Monsieur François BIGORRE, chef de projets Valorisation des données de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse a conseillé de s'appuyer sur le scénario CNRM RCP 4.5 pour l'étude du bassin versant du Ruisseau de Vallières. Les scénarii, tel que CNRM RCP 4.5, sont issus du dernier rapport du GIEC. Le 5<sup>ème</sup>, et dernier, rapport du GIEC contient une nouvelle approche pour analyser le futur du changement climatique. Cette nouvelle approche prend en compte quatre trajectoires possibles sur les émissions de concentrations de gaz à effet de serre, d'ozone et d'aérosols ainsi que l'occupation du sol nommé RCP. De plus, cette méthode permet de déterminer les trajectoires plus longues (jusqu'à 2300 contre 2100 pour les plus anciens) (Météo France, 2020).

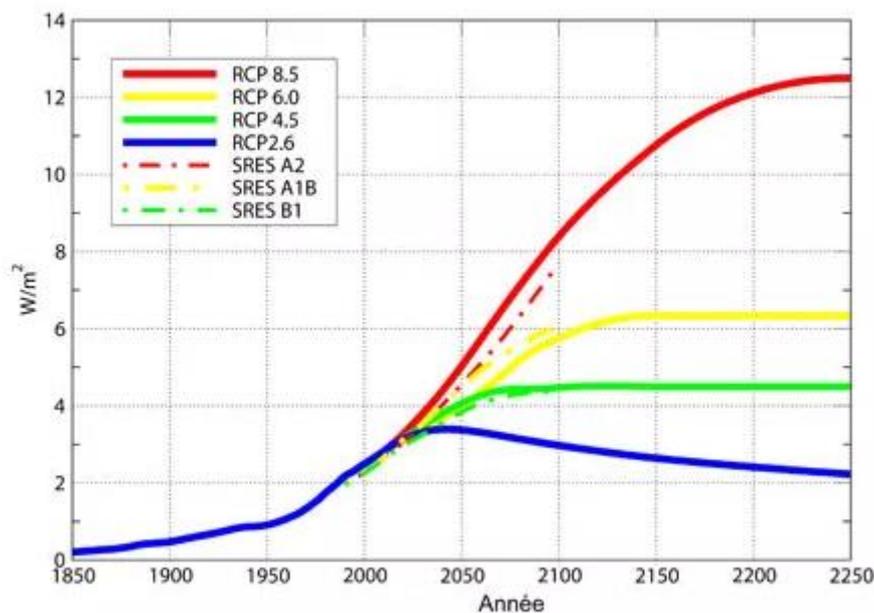


Figure 24 : Evolution du bilan radiatif de la terre ou "forçage radiatif" en  $W/m^2$  sur la période de 1850-2250 selon les différents scénarios (Météo France, 2020)

Le profil choisi pour l'étude est le scénario CNRM RCP 4.5. Il correspond au scénario B1 des rapports de 2001 et 2007. Ce scénario est le plus optimiste parmi les anciens scénarii, il fait les hypothèses suivantes (Météo France, 2020) :

- La population mondiale atteint un maximum de 9 milliards d'individus au milieu du siècle pour décliner ensuite ;
- L'économie est dominée rapidement par les services, les « techniques de l'information et de la communication » et dotée de technologies énergétiquement efficaces ;
- Pas d'initiative supplémentaire pour gérer le climat, par rapport à aujourd'hui.

Les données récoltées sur le site DRIAS (Météo France, s.d.), renseignent les cumuls de pluie annuel de 2006 à 2100. L'objectif de cette étude est d'observer si le scénario prévu dans les environs du bassin versant du Ruisseau de Vallières montre une augmentation significative de la pluviométrie.

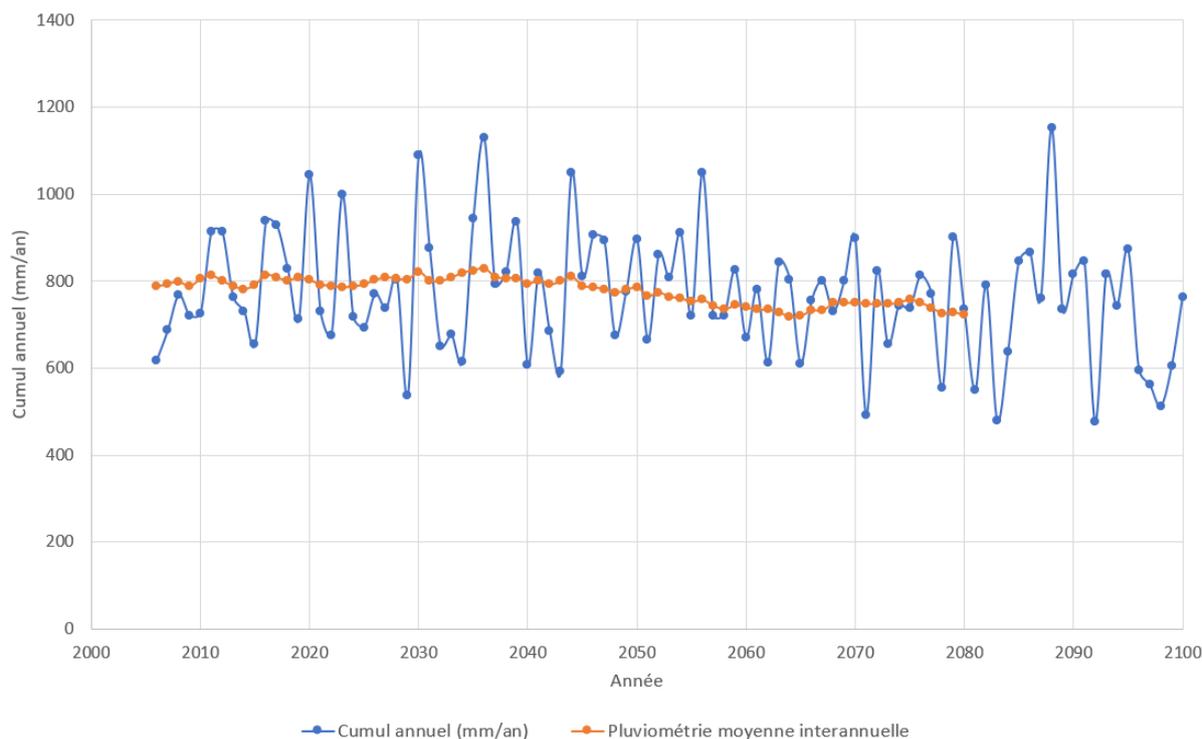


Figure 25 : Evolution de la pluviométrie de 2006 à 2100 - Scénario CNRM RCP 4.5 -

Ainsi, l'évolution de la pluviométrie moyenne interannuelle du secteur d'étude reste stable avec même une légère tendance à la baisse pour le scénario CNRM RCP 4.5 (Figure 25). Cependant, dans les années à venir ce scénario semble mettre en évidence des extrêmes plus importants sur le secteur. Néanmoins, les données DRIAS ne donnent aucune information sur les évènements pluvieux intenses donc il n'est pas possible de certifier si ce changement est réel et significatif.

Le site DRIAS permet également d'avoir des conclusions sur les différents départements français, pour chaque scénario. Pour le département de la Moselle, pour différents scénarii, le site apporte la conclusion qu'il y a peu d'évolution prévue de la pluviométrie.

Il est également important de rappeler que la pluviométrie retenue pour réaliser la modélisation s'appuie sur des données statistiques élaborées à partir de mesure sur la période de 1982 à 2016. Donc, si durant la période de 1982 à 2016 il y a une augmentation de la pluviométrie, les coefficients de Montana retenus pour les pluies de projet et les hydrogrammes qui en découlent prennent en compte cette évolution.

Pour conclure, cette courte analyse a pu mettre en évidence que la pluviométrie du secteur d'étude ne semble pas augmenter avec les années, selon le scénario CNRM RCP 4.5. Il n'est donc pas nécessaire d'ajouter un coefficient aux valeurs de coefficient de Montana. De plus, les données statistiques sont élaborées sur une grande période récente donc sont fiables pour représenter les crues de période de retour importante.

#### 4.4.6. Conditions aux limites

Les conditions aux limites introduites dans le modèle sont les suivantes :

- A l'amont, les hydrogrammes de crue du Ruisseau de Vallières, Fossé de Vallières, Ruisseau du Breuil et Fossé de l'Etang en différents points du secteur d'étude issus du modèle hydrologique (cf. paragraphe 3.2.4.2) ;
- Des apports intermédiaires pour modéliser l'augmentation des débits (Figure 26) ;
- A l'aval, la hauteur normale. La condition limite aval est par ailleurs positionnée suffisamment en aval des enjeux pour ne pas influencer les résultats.

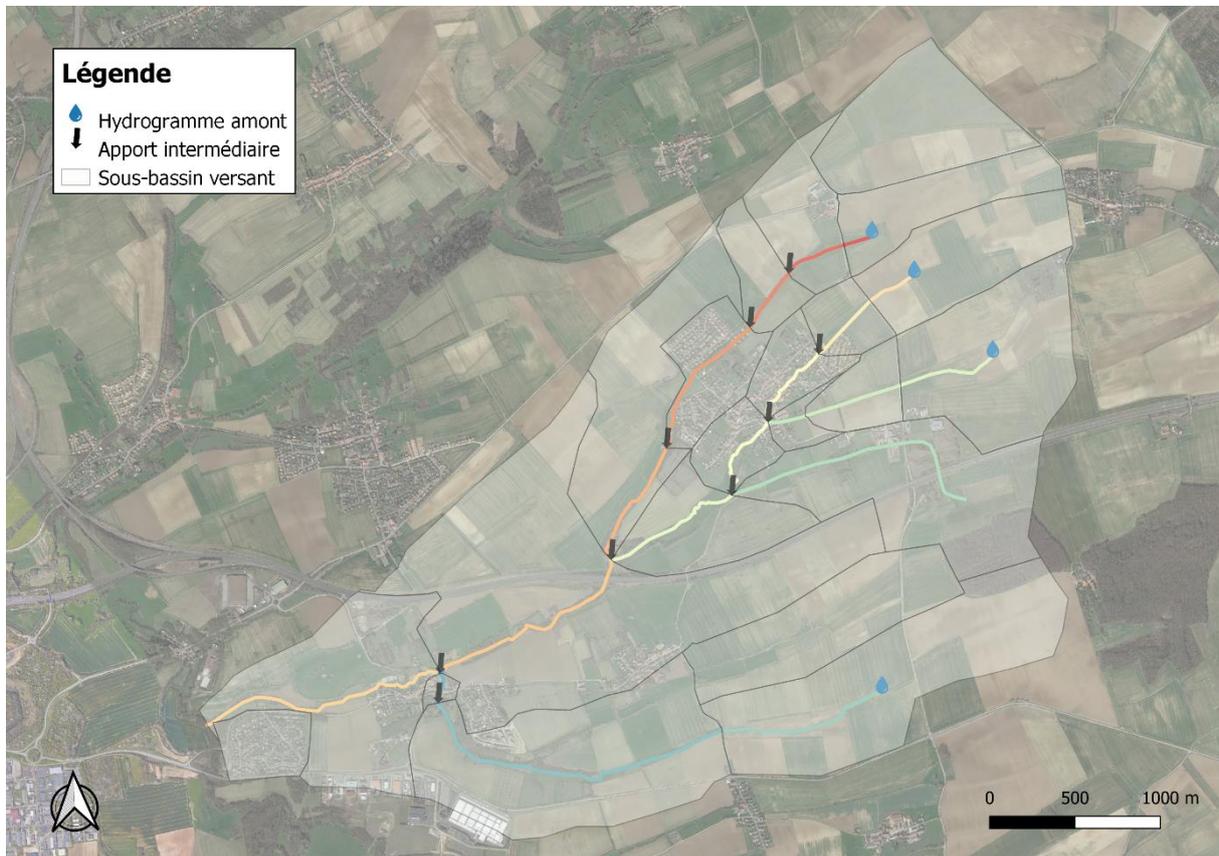


Figure 26 : Localisation des apports intermédiaires

#### 4.5. Limites de la modélisation

Pour rappel, le modèle hydraulique de débordement avec le logiciel MIKE FLOOD ne prend pas en compte les phénomènes suivants :

- Ruissellements urbains ;
- Remontées et débordements de réseaux d'assainissement ;
- Embâcles ;
- Remontées de nappe.

Pour prendre en compte le ruissellement urbain et les remontées et débordements de réseaux d'assainissement il aurait fallu coupler le modèle MIKE FLOOD 1D/2D avec MIKE URBAN. Il a été choisi de ne pas faire ce couplage car le bassin versant de l'étude est plutôt rural et le secteur de la Place du Gué, où les remontées d'eau par le réseau auraient pu être pertinent a été pris en compte avec la séparation de l'ouvrage O10 (cf. paragraphe Modélisation des ponts et ouvrage hydrauliques 4.4.3.1).

Par ailleurs, la précision de la modélisation hydraulique et in fine des résultats obtenus (cartographie) dépend directement de la qualité des données topographiques utilisées. Or, pour rappel, la topographie du secteur d'étude est issue de deux sources de précisions différentes (cf. 4.3) :

- Le MNT produit par IRH Ingénieur Conseil à partir des données LIDAR fournit par le MATEC réalisé par le Conseil Départemental de la Moselle dont la résolution est d'un point tous les 5 mètres ;
- Les relevés topographiques réalisés par l'entreprise de géomètres-experts Meley-Strozyna.

Cependant, il est important de préciser qu'en amont du Ruisseau de Vallières le LIDAR semble présenter des anomalies (Figure 27). Il a donc été choisi de privilégier au maximum les données issues des levés topographiques. De plus, dans la commande supplémentaire, en cours, des levés topographiques sous forme de semis de point ont été demandés dans cette zone afin de pouvoir correctement l'étudier.

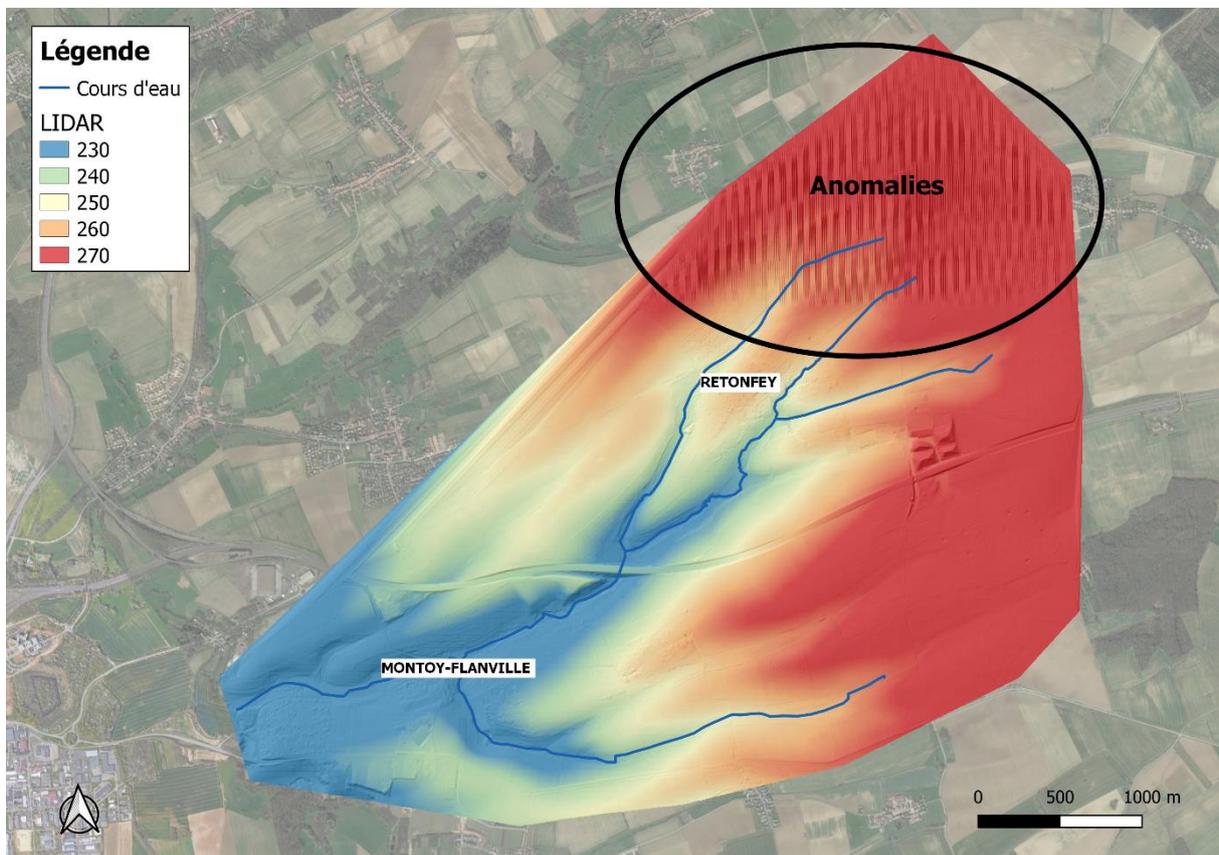


Figure 27 : Localisation des anomalies du LIDAR

#### 4.6. Calage

#### 4.6.1. Principe du calage

Le calage vise à adapter les paramètres hydrauliques théoriques du modèle pour reproduire le plus fidèlement possible les conditions d'écoulements réelles connues pour des crues historiques.

Il s'agit d'ajuster le modèle pour que la hauteur d'eau calculée en un point pour une crue donnée soit la plus proche possible de celle effectivement relevées pendant la crue.

Les principaux paramètres qui peuvent être modifiés pour aboutir au calage du modèle sont :

- Les coefficients de rugosité (Strickler) des lits mineurs et majeurs ;
- Les coefficients de perte de charge au droit des ouvrages hydrauliques.

A noter que les repères de crue historique sont associés à des incertitudes liées à la qualité du témoignage, à la date du relevé par rapport au passage de la pointe de crue, à la présence d'effets hydrauliques localisés (remous, charge, brèche, embâcles, etc.).

D'après le CETMEF, « en supposant que la trace est positionnée sans équivoque, on peut espérer disposer d'une précision d'environ 20 à 30 cm pour une crue récente, bien au-delà et sans limites pour une crue ancienne » (CETMEF / CETE Méditerranée, 2001)

#### 4.6.2. Données pour le calage

Dans le cas présent, le calage sera réalisé en fonction des inondations du 9 février 2016 et des témoignages des riverains ainsi que de la capacité des ouvrages hydrauliques. De plus, les données obtenues lors de la modélisation hydraulique seront comparées aux résultats des données de la phase diagnostic.

Plusieurs observations ont été recueillies lors de la précédente étude (ARTELIA, juin 2017) sur les inondations et le comportement des ouvrages lors de l'événement du 9 février 2016. Pour résumer les observations sont les suivantes :

- Inondations rue des Tulipes à Retonfey dont plusieurs maisons sur le Ruisseau de Vallières ;
- Mise en charge de la buse à l'entrée de Retonfey (rue des tulipes) ;
- Inondation légère place du Gué par le Ruisseau du Breuil ;
- Inondations au niveau de la rue Principale et la rue des Cerisiers à Montoy-Flanville.

L'analyse de l'événement pluvieux du 9 février 2016 réalisée lors de la précédente étude pour les phases 3 et 4 (ARTELIA, juin 2018) a montré que la période de retour de cette crue est proche de 30 ans. Ainsi, le calage du modèle hydraulique pourra être réalisé au niveau d'une crue de période de retour 30 ans.

Afin de compléter ces témoignages d'autres ont été réalisés lors de la reconnaissance terrain et après la réunion du 9 juillet 2020, suite à la demande d'IRH Ingénieur Conseil afin d'être le plus juste possible.

- Un habitant de Montoy-Flanville au 12 rue Principale proche du Fossé de l'Etang a pu nous renseigner sur les hauteurs d'eau de la pluie du 9 février 2016 (Figure 28).



Figure 28 : Témoignage sur les hauteurs d'eau de l'événement du 9 février 2016

Ainsi, il a pu être évalué que les hauteurs d'eau à cet endroit au moment des inondations du 9 février 2016 étaient d'environ 50 cm. Le riverain nous a également rapporté que de l'eau traversait son logement de part en part et que de l'eau ressortait par la cuvette des toilettes.

- Les communes de Montoy-Flanville et Retonfey, ont fait parvenir des données historiques sur la crue de 2016 (Mairie de Montoy-Flanville, 2016), une étude hydraulique réalisée sur le Ruisseau de Vallières effectuée par le bureau d'étude BETURE CEREC pour la commune de Saint-Julien-lès-Metz (BETURE CEREC, 1997) et le projet de canalisation du ruisseau de Vallières à Retonfey (Direction départementale de l'agriculture, 1981).

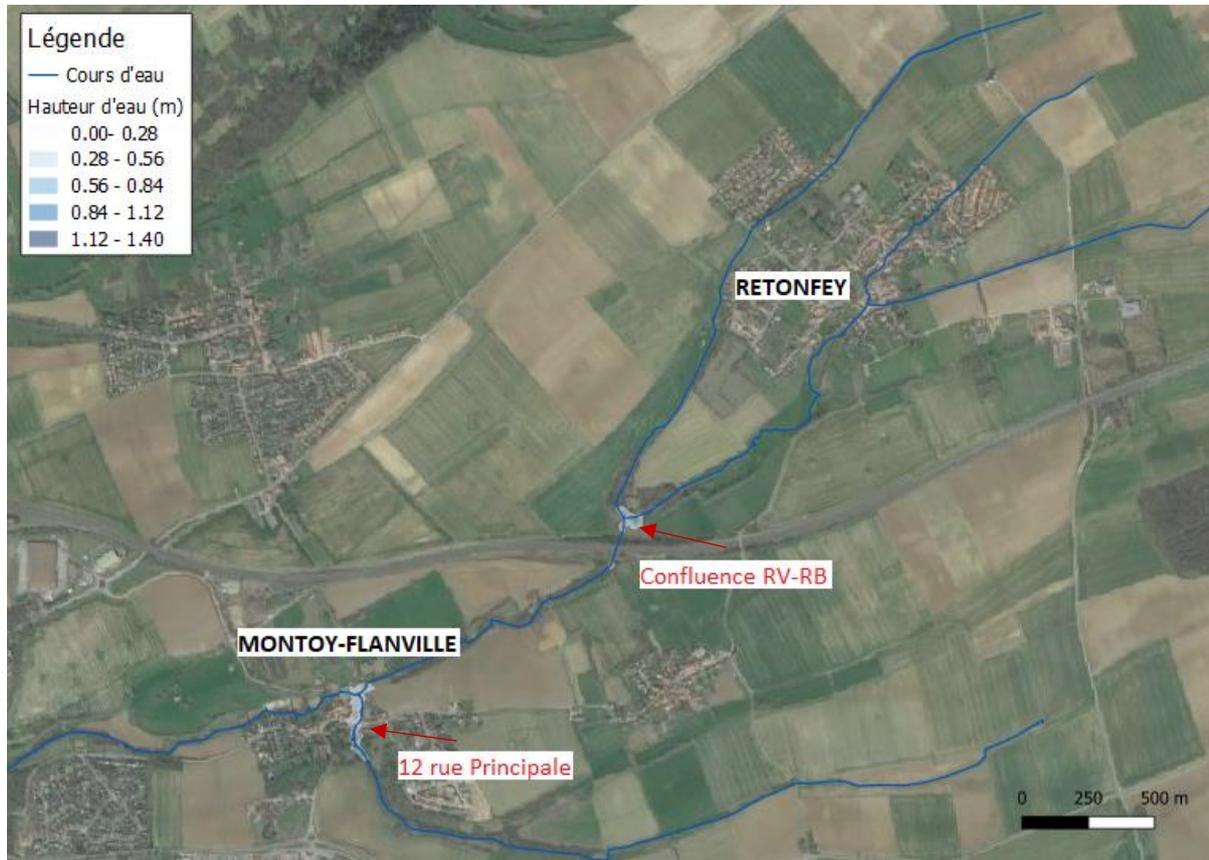
#### 4.7. Résultats du modèle à l'état initial

A l'état initial, c'est-à-dire sans aménagement, le modèle hydraulique a été construit pour des crues de période de retour 10, 30, 50 et 100 ans. Il a été convenu avec le maître d'ouvrage que le choix de la période de retour s'établirait en fonction des volumes à stocker pour éviter les inondations. Ces volumes ont été présentés à la réunion du 9 juillet 2020 en précisant qu'ils étaient à affiner suite au retour des levés topographiques complémentaires.

Le choix de la période de retour pour les aménagements à réaliser sera décidé en septembre par le maître d'ouvrage.

#### 4.7.1. Crue de période de retour 10 ans

Les résultats du modèle hydraulique ont montré que les inondations pour une crue de période de retour 10 ans sont effectives au niveau de Montoy-Flanville (Figure 29).



Ce résultat est assez cohérent car de fréquentes inondations ont été rapportées à Montoy-Flanville contrairement à RetonfeY. Pour les inondations au niveau de la confluence entre le Ruisseau de Vallières et le Ruisseau du Breuil il n'y a pas de données de calage. Des témoignages supplémentaires ont été demandés afin de corroborer ou non ces inondations. De plus, aucune donnée topographique n'est renseignée à cet endroit. Les résultats de la commande supplémentaire de levés topographiques permettront d'affiner le fonctionnement hydraulique de cette zone avec le levé de plusieurs ouvrages découverts à cet endroit lors de la reconnaissance terrain et également des profils en travers.

#### 4.7.2. Crue de période de retour 30 ans

Les résultats du modèle hydraulique ont montré que les inondations pour une crue de période de retour 30 ans sont présentes au niveau de Montoy-Flanville et de RetonfeY (Figure 30). Pour rappel, cette crue correspond à l'événement pluvieux du 9 février 2016.

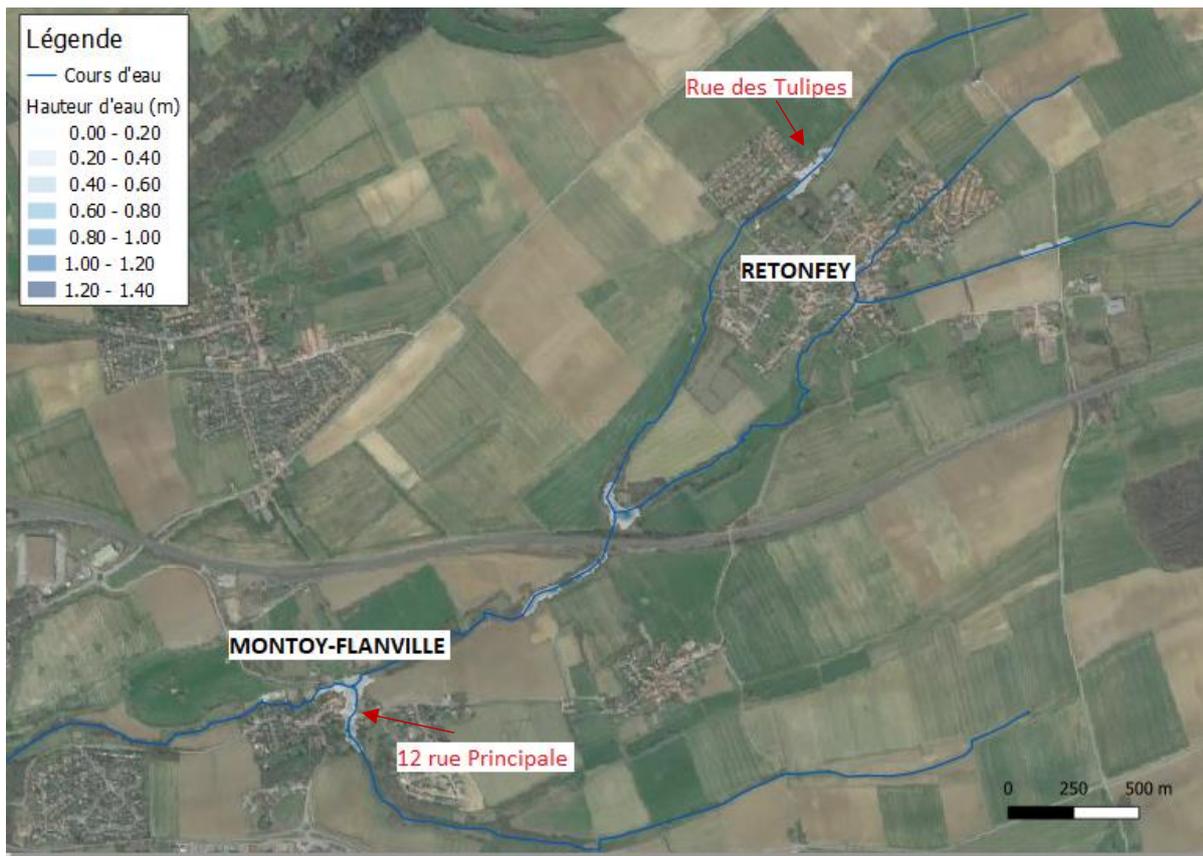


Figure 30 : Résultats des inondations pour une crue de période de retour 30 ans

Comme l'ont indiqué les interviewés, on observe bien des inondations aux zones sensibles du secteur d'étude.

Au niveau du 12 rue Principale avec le modèle hydraulique on retrouve une hauteur d'eau d'environ 35 cm ce qui est cohérent avec ce qu'a montré le riverain sachant qu'il y a une incertitude de 20 à 30 cm sur la ligne d'eau (Figure 31).



Figure 31 : Inondations pour une crue de période de retour 30 ans à Montoy-Flanville

Au niveau de la rue des Tulipes à Retonfey, on retrouve bien les maisons qui ont été inondées lors de l'événement du 9 février 2016 (Figure 32).



Figure 32 : Inondations pour une crue de période de retour 30 ans au niveau de la rue de Tulipes à Retonfey

#### 4.7.3. Crue de période de retour 50 ans

Les résultats du modèle hydraulique ont montré que les inondations pour une crue de période de retour 50 ans sont présents au niveau de Montoy-Flanville et de Retonfey au niveau de la rue des Tulipes et en amont de la Place du Gué sur le Fossé de Vallières (Figure 33). Aucune crue historique de période de retour de 50 ans n'a été observée sur le secteur d'étude.

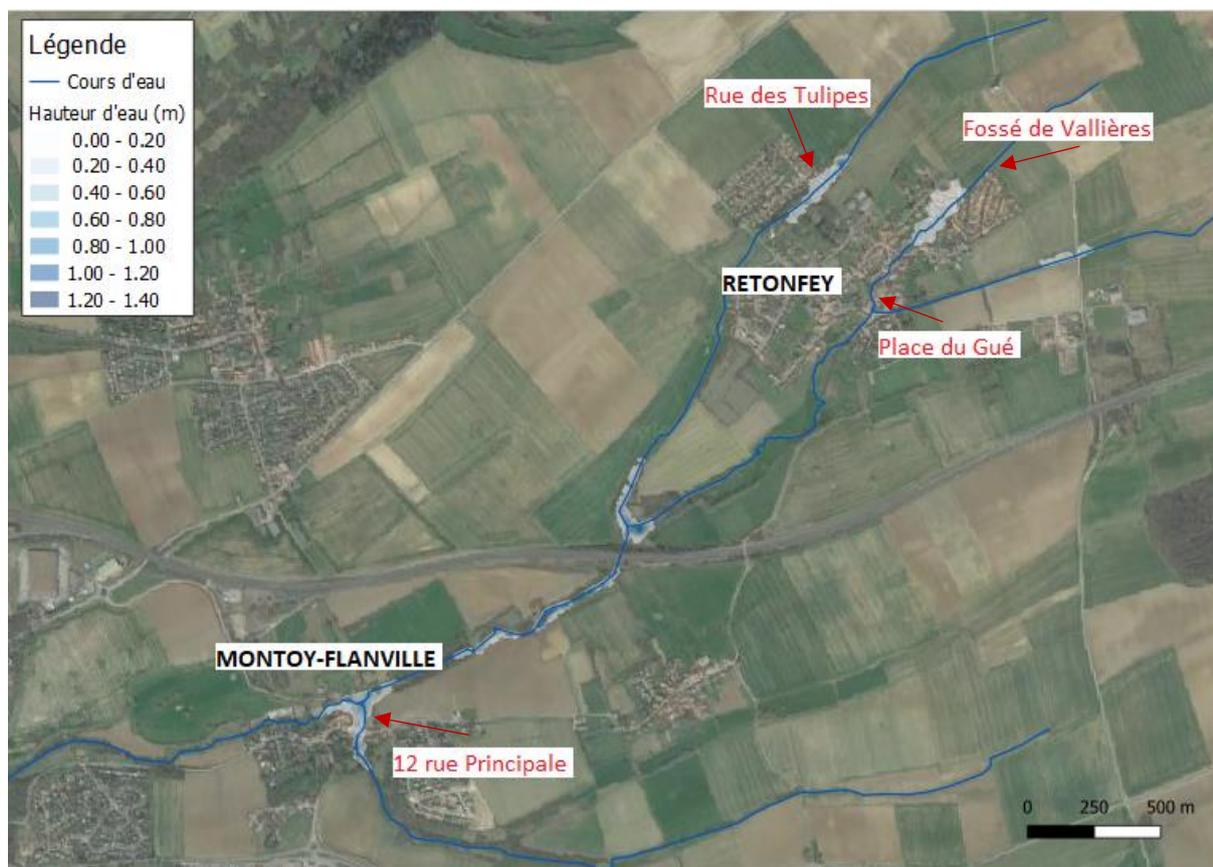


Figure 33 : Résultats des inondations pour une crue de période de retour 50 ans

Pour une crue de période de retour 50 ans on retrouve les mêmes zones inondées au niveau de Montoy-Flanville et de la rue des Tulipes à Retonfey mais avec des hauteurs d'eau plus importantes. Il y a également des inondations qui semblent avoir lieu au niveau de Retonfey sur le Fossé de Vallières en amont de la Place du Gué. Ces inondations pourraient être dues à une mise en charge de la canalisation à l'entrée de Retonfey et avec la pente naturelle du terrain l'eau pourrait ruisseler et passer entre les habitations.

#### 4.7.4. Crue de période de retour 100 ans

Les résultats du modèle hydraulique ont montré que les inondations pour une crue de période de retour 100 ans sont présentes au niveau de Montoy-Flanville et de Retonfey au niveau de la rue des Tulipes et de la Place du Gué ainsi qu'en amont de la Place du Gué sur le Fossé de Vallières (Figure 33). Aucune crue historique de période de retour de 100 ans n'a été observée sur le secteur d'étude.

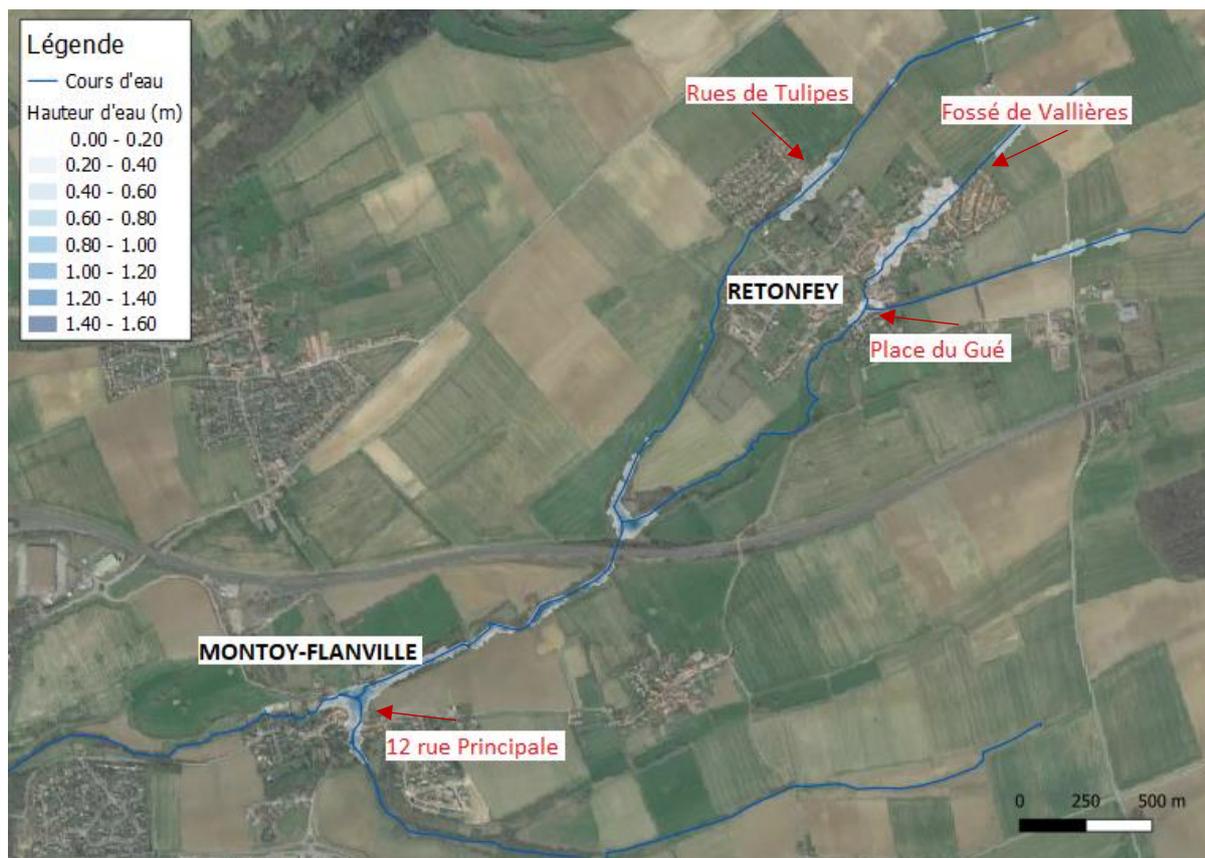


Figure 34 : Résultats des inondations pour une crue de période de retour 100 ans

Les inondations à cette période de retour sont situées au même endroit qu'à la période de retour de 50 ans avec des volumes plus importants et donc des zones inondées plus grandes. Plus la période de retour est importante plus les inondations se généralisent tout le long des cours d'eau. Avec cette première approche, il ne semble pas y avoir d'inondation sur le Fossé de l'Etang, cependant, les profils en travers sur ce cours d'eau sont fictifs. Les levés topographiques supplémentaires permettront d'affiner le profil de ce cours d'eau et ainsi assurer la présence d'inondation ou non sur ce secteur.

#### 4.7.5. Volume de stockage

Les volumes de stockage pour les différentes périodes de retour, présentés ici, sont des volumes indicatifs qui ont été présentés à une réunion de travail au COPIL. Ces volumes seront affinés avec les levés topographiques supplémentaires.

Tableau 13 : Volume de stockage pour différentes périodes de retour

	10 ans	30 ans	50 ans	100 ans
<b>Ruisseau de Vallières à Montoy-Flanville (rue des Cerisiers)</b>	18 950 m <sup>3</sup>	43 150 m <sup>3</sup>	59 300 m <sup>3</sup>	87 700 m <sup>3</sup>
<b>Fossé de l'Etang à Montoy-Flanville</b>	10 750 m <sup>3</sup>	22 800 m <sup>3</sup>	31 450 m <sup>3</sup>	48 350 m <sup>3</sup>
<b>Ruisseau de Vallières à Retonfey (rue des Tulipes)</b>		180 m <sup>3</sup>	1 950 m <sup>3</sup>	6 800 m <sup>3</sup>
<b>Fossé de Vallières à Retonfey</b>			35 m <sup>3</sup>	1 750 m <sup>3</sup>

Ces volumes ont été obtenus avec l'aide du modèle hydraulique MIKE. Pour obtenir ces valeurs il a été choisi de regarder à quel moment de la simulation les inondations apparaissent à chaque point souhaité, de récupérer le débit correspondant et avec l'aide des hydrogrammes (obtenus lors de la modélisation hydrologique) calculer le volume représentant l'aire entre la courbe et le débit limite obtenu.

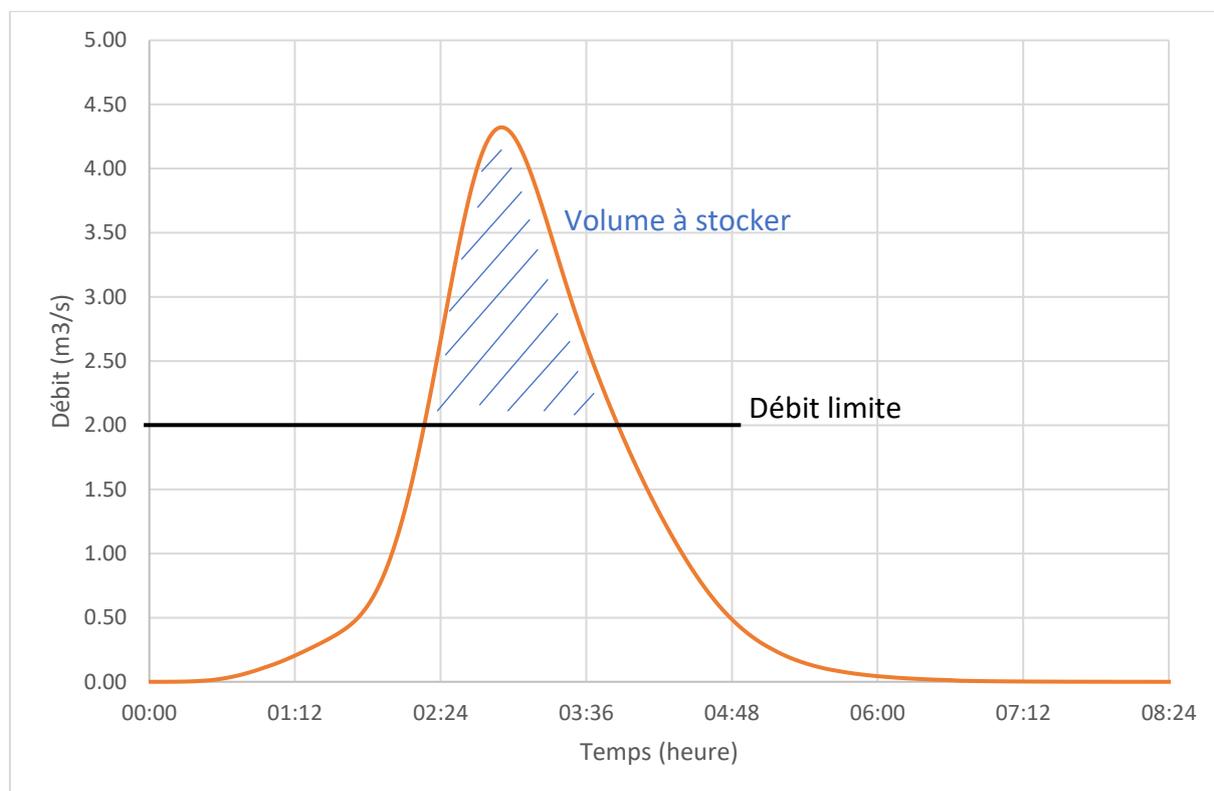


Figure 35 : Exemple d'hydrogramme de crue et du calcul du stockage

Il est intéressant de comparer ces résultats avec ceux de l'étude préalable (ARTELIA, juin 2018). Les données sont seulement pour la période de retour de 30 ans, période de retour initialement choisie comme référence pour les aménagements.

Tableau 14 : Volume de stockage d'ARTELIA et IRH pour une période de retour de 30 ans

	<b>ARTELIA</b>	<b>IRH</b>
<b>Ruisseau de Vallières à Montoy-Flanville (rue des Cerisiers)</b>	45 000 m <sup>3</sup>	43 150 m <sup>3</sup>
<b>Fossé de l'Etang à Montoy-Flanville</b>	12 350 m <sup>3</sup>	22 800 m <sup>3</sup>
<b>Ruisseau de Vallières à Retonfey (rue des Tulipes)</b>	8 900 m <sup>3</sup>	180 m <sup>3</sup>

Il est important de préciser que les valeurs d'ARTELIA ont été obtenues avec la capacité des ouvrages et non avec l'aide d'une modélisation hydraulique ce qui peut expliquer les écarts et les points de mesures ne sont pas précisément au même endroit. En regardant au cas par cas, il ressort que les valeurs pour :

- Le Ruisseau de Vallières à Montoy-Flanville (rue des Cerisiers) sont similaires ;

- Le Fossé de l'Etang à Montoy-Flanville est plus fort avec la modélisation hydraulique. Ce résultat s'explique par le fait que le modèle hydraulique prend en compte les remontées d'eau dans le Fossé de l'Etang provenant du Ruisseau de Vallières qui en période de crue freine l'écoulement du Fossé de l'Etang et provoque des inondations plus rapidement que si on prend en compte uniquement la capacité de l'ouvrage à l'entrée de Montoy-Flanville ;
- Le Ruisseau de Vallières à Retonfey (rue des Tulipes) est beaucoup plus faible que les résultats d'ARTELIA. Ces résultats s'expliquent par le fait qu'en prenant en compte le bassin versant dans sa totalité des débordements peuvent avoir lieu en amont de la rue des Tulipes ainsi, un stockage naturel peut expliquer que le débit provoquant des inondations à risque pour les riverains de la rue des Tulipes est supérieur à la capacité propre de l'ouvrage.

Il faut également avoir conscience que ces volumes vont évoluer avec l'affinement du modèle hydraulique avec les levés topographiques supplémentaires. Afin de vérifier la validité des résultats, un calcul rapide a été effectué pour comparer les volumes des hydrogrammes au niveau de la rue des Tulipes, vu que l'écart est le plus important. Les volumes totaux des hydrogrammes, sans débit limite, sont de 17 500 m<sup>3</sup> pour ARTELIA et de 11 300 m<sup>3</sup> pour IRH Ingénieur Conseil. Ces volumes sont comparés au volume de ruissellement calculé en prenant en compte une pluie de période de retour 30 ans, de formule suivante :

$$\text{Volume (pluie pdr 30 ans)} = P_{j30} \times C_r \times S$$

Avec :

- $P_{j30}$  : la pluie journalière de période de retour 30 ans (mm). Cette valeur est obtenue avec l'aide des coefficients de Montana correspondant (valeur de 57 mm) ;
- $C_r$  : coefficient de ruissellement. Le choix s'est porté sur la valeur d'ARTELIA de 0,2 (ARTELIA, juin 2018) ;
- $S$  : surface du bassin versant de l'étude. Au niveau de la rue des Tulipes, selon ARTELIA (ARTELIA, juin 2018) la surface est de 1,5 km<sup>2</sup>.

Ainsi, le volume d'eau qui ruisselle sur le sous-bassin versant avec comme exutoire la rue de Tulipes à l'entrée de Retonfey est de 17 100 m<sup>3</sup>. Ainsi, le volume des hydrogrammes de crue ne peut pas être supérieure au volume ruisselé, ce qui met en évidence que le volume obtenu par ARTELIA semble être surestimé et que le volume obtenu par IRH Ingénieur Conseil est plus cohérent.

## 5. Finalisation de la modélisation

A cause du contexte actuel, la commande de levés topographique supplémentaires n'a pas pu être réalisée avant la fin des 6 mois.

Pour ce projet, il reste donc à affiner le modèle hydraulique, puis une fois que la période de retour pour la crue de référence pour le dimensionnement des aménagements a été choisie

par le maître d'ouvrage, la modélisation du bassin versant de l'étude à l'état projet, c'est-à-dire avec les aménagements peut avoir lieu. Les aménagements prévus lors de l'étude préalable sont les suivants (ARTELIA, juin 2018) :

- Aménagements d'hydraulique douce :
  - Pose de haie ;
  - Sens de labour ;
  - Diversification des écoulements ;
  - Réouverture de cours d'eau ;
  - Renaturation ;
  - Plantation ;
  - Entretien.
- Aménagements d'hydraulique :
  - Zone d'expansion de crue ;
  - Bassin de rétention ;
  - Création et/ou suppression d'ouvrage hydraulique.

L'étude des différentes solutions avec leurs dimensionnement et l'estimation du coût des travaux sera réalisé courant octobre durant un CDD.

Cette partie va présenter la méthodologie à adopter pour introduire les différents aménagements en phase projet dans le modèle hydrologique ou hydraulique.

### 5.1. Réouverture du cours d'eau

La prise en compte d'une réouverture de cours d'eau se fait sur le modèle hydraulique 1D avec une modification du tracé. Il est également important, par la suite, d'apporter des modifications au niveau des liens entre le 1D et le 2D.

Pour le cas particulier d'une possible réouverture de cours d'eau au niveau de la Place du Gué, il est donc nécessaire de supprimer les ouvrages hydrauliques présents initialement et d'ajouter des profils en travers représentant le cours aux dimensions qu'on souhaite l'aménager.

### 5.2. Reméandrage

La prise en compte du reméandrage du cours d'eau n'est pas par une modification du tracé en soit mais d'une modification des paramètres du linéaire tel que la longueur et la rugosité. Pour déterminer les nouvelles dimensions du cours d'eau afin de respecter les contraintes d'avoir au minimum le débit QMNA5 ou le module et le débit Q2 à plein bord, il est nécessaire de faire un calcul de Manning Strickler et de trouver les paramètres idéaux de pente, largeur de fond de lit, hauteur de berge ...

Il faut donc faire attention lors de la modélisation si les modifications changent les cotes de débordement.

### 5.3. Plantation

L'impact de la plantation d'une ripisylve pour le projet sera pris en compte avec la modification du coefficient de Strickler, paramètre qui est intégré au modèle hydraulique avec un fichier séparé (Figure 23). La plantation d'une ripisylve aura pour effet d'augmenter la rugosité du sol, ainsi le coefficient de Strickler sera diminué (valeur de 8).

### 5.4. Bassins de rétention

L'implantation de bassin de rétention sur le site d'étude est prise en compte sur le modèle hydrologique HEC-HMS, directement. Ainsi pour chaque bassin de rétention il faut déterminer s'il est nécessaire de creuser, de mettre une digue et de quelle hauteur, et la cote du fond. Une analyse sur AutoCAD, avec les données du géomètre, est nécessaire afin de déterminer l'emprise de la rétention selon la hauteur d'eau. Une fois les bassins de rétention modélisés le modèle hydrologique HEC-HMS fournira des nouveaux hydrogrammes de crue qu'il faudra ensuite injecter dans le modèle hydraulique pour voir la réaction du bassin versant et si le problème des inondations est résolu ou non.

### 5.5. Zone d'expansion de crue

Les zones d'expansion de crue sont modélisées dans le modèle hydraulique directement. Pour cela deux méthodes sont possibles :

- Soit une modification du fichier 1D en ajoutant une sorte de bras de décharge représentant la zone d'expansion de crue. Il faut faire attention à modifier ensuite le fichier 2D au niveau du maillage et des liens 1D/2D.
- Soit par une modification du fichier de maillage 2D, directement, en abaissant artificiellement la hauteur du terrain naturel selon la profondeur de l'expansion de crue voulu. Il est également nécessaire de modifier ensuite les liens entre le 1D et le 2D.

# Conclusion

La phase Avant-Projet de cette étude a été réalisée en trois parties : une reconnaissance terrain, une étude hydrologique puis une étude hydraulique et pour finir le dimensionnement des ouvrages du programme d'action. A ce stade, il reste donc encore à réaliser un ajustement du modèle hydraulique, une modélisation de l'état projet ainsi que le dimensionnement des différents ouvrages.

Concernant l'étude hydrologique, il en ressort qu'il est difficile de déterminer les débits d'un secteur si le bassin versant n'est pas instrumenté. Durant cette étude le manque de données de débits et de pluies pour les stations de mesure proche du secteur d'étude ont restreint la possibilité de vérification de la justesse des résultats. Le modèle hydrologique a donc été calé en fonction des données de l'étude précédente qui a validé ses résultats avec des données historiques d'une pluie connue. Dans le cas idéal, il aurait été préférable d'une part d'avoir des données provenant du secteur d'étude et ce sur plusieurs années et d'autre part de pouvoir valider les résultats avec un ajustement statistique de Gumbel, mais les bassins versants proche du bassin versant de l'étude ont finalement des réactions différentes et leurs crues ne sont pas provoquées pour les mêmes raisons que le secteur d'étude ou si c'est le cas il n'y a pas assez de données de mesure pour pouvoir faire un ajustement statistique correct.

Le modèle hydraulique s'appuyant sur le modèle hydrologique a pu être calé en fonction des informations collectées par les riverains et les communes pour la crue de période de retour 30 ans correspondant à l'unique crue dont la période de retour est connue, celle du 9 février 2016. Durant la présentation des résultats il a été possible de s'appuyer sur le retour des maires des communes pour la cohérence des résultats. Cependant, de même que pour le modèle hydrologique, il n'est pas possible de caler les résultats d'inondation avec des données chiffrées pour les hauteurs d'eau (à part une à Montoy-Flanville cf. paragraphe 4.6.2).

Il est important de relativiser à propos du manque de données de l'étude car la plupart des études réalisées ont ce même problème concernant l'acquisition des données. Les modèles hydrologiques et hydrauliques suivent des lois de calcul bien précises et il est possible de vérifier la cohérence des résultats avec les données d'entrée (coefficient de ruissellement, pente, ...) et de sortie, comme la cohérence des hydrogrammes de crue au niveau de l'heure du pic de crue, la forme de l'hydrogramme en lui-même et la comparaison des débits de pointe entre le modèle hydrologique et hydraulique. De plus, de rapides calculs permettent de vérifier la cohérence avec ce qui peut être attendu sur ce genre de bassin versant.

# Bibliographie

- Antea Group. (s.d.). *Antea Group. Comprendre le présent améliorer l'avenir*. Récupéré sur <https://www.anteagroup.fr/fr>
- Antea Group. (Septembre 2019). *Etude technique portant sur l'analyse du fonctionnement des cours d'eau ainsi que du ruissellement urbain, torrentiel et agricole sur le bassin versant de la Sereine, du Cottey et de leurs affluents*. Rilleux-La-Pape.
- AREAS. (2013, juin 11). *Notions de base en Hydrologie et modélisation de bassin versant*. Récupéré sur [http://www.areas-asso.fr/images/formations2013/hydrologie\\_11-06-2013\\_complet.pdf](http://www.areas-asso.fr/images/formations2013/hydrologie_11-06-2013_complet.pdf)
- ARTELIA. (juin 2017). *Etude de restauration et de protection contre les inondations sur le bassin versant du ruisseau de Vallières (Etude. Rapport de phase 1&2)*.
- ARTELIA. (juin 2018). *Etude de restauration et de protection contre les inondations sur le bassin versant du Ruisseau de Vallières (Diagnostic hydrologique et hydraulique & Elaboration du programme de travaux. Rapport de phases 3 & 4)*.
- BETURE CEREC. (1997). *Ruisseau des Vallières. Etude hydraulique*. Besançon.
- CCTP - Entreprise MATEC. (mai 2019). *Mission de maîtrise d'oeuvre pour la restauration et la protection contre les inondations sur le bassin versant du ruisseau de Vallières - programme d'opération* -. Metz.
- CETMEF / CETE Méditerranée. (2001). *Recensement et quantification de l'incertitude des données de modèles 1D*.
- Commission européenne. (s.d.). *La Directive-cadre européenne sur l'eau*. Récupéré sur <https://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/wfd/fr.pdf>
- DHI. (2014). *MIKE FLOOD by DHI*.
- Direction départementale de l'agriculture. (1981). *Canalisation du Ruisseau de Vallières entre le lotissement "LA TINCHOTTE" et la rue des Jardins*. Metz.
- IRH Ingénieur Conseil. (2020). *Etude Avant-projet. Maîtrise d'oeuvre des travaux de restauration et de protection contre les inondations sur le bassin versant du Ruisseau de Vallières*. Nancy.
- L.L. (2017). *Inondations près de Metz : deux maires paient dans le même sens. Le Républicain Lorrain*, 1.
- Mairie de Montoy-Flanville. (2016). *Note de situation sur les inondations de Montoy-Flanville le 9 février 2016*. Montoy-Flanville.
- MATEC. (2020). *MATEC57*. Récupéré sur Moselle Agence Technique: <https://www.matec57.fr/>

Météo France. (2020). *Les scénarios du GIEC*. Récupéré sur Comprendre. Tout savoir sur la météo, le climat et Météo-France: <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/le-giec-groupe-dexperts-intergouvernemental-sur-levolution-du-climat/les-scenarios-du-giec>

Météo France. (s.d.). *Drias les futurs du climat*. Récupéré sur drias-climat: <http://www.drias-climat.fr/>

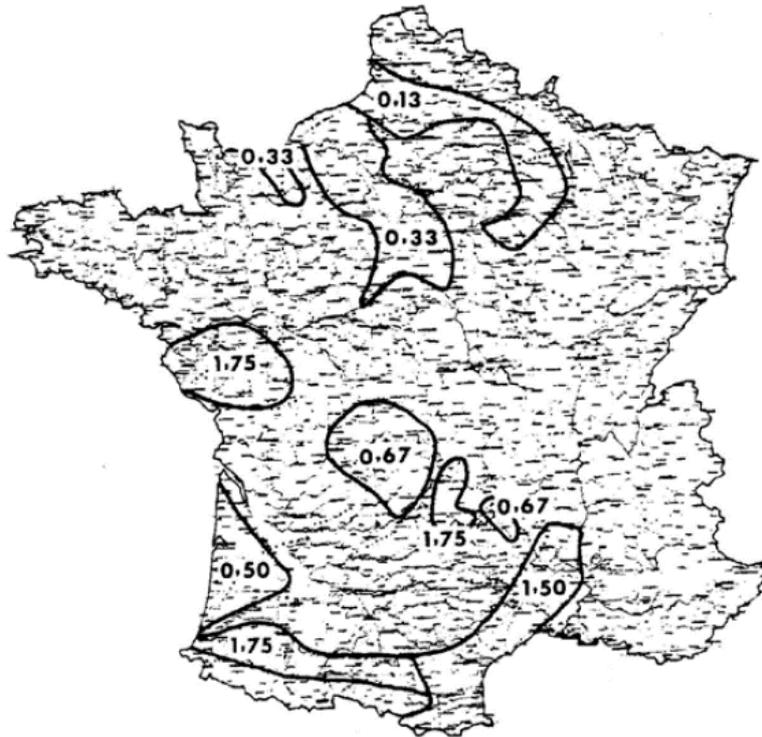
Météo France. (s.d.). *Pression réduite au niveau de la mer*. Récupéré sur Comprendre. Tout savoir sur la météo, le climat et Météo-France: <http://www.meteofrance.fr/publications/glossaire/153364-pression-reduite-au-niveau-de-la-mer%0d>

Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie. (2020). *Banque Hydro*. Récupéré sur HYDRO: <http://www.hydro.eaufrance.fr/>

Université McGill. (2007, avril). *Évaluation des débits de pointe pour les petits bassins versants agricoles du Québec*. Récupéré sur [https://www.agrireseau.net/agroenvironnement/documents/Evaluation%20des%20debits%20de%20pointe\\_AAC2007.pdf](https://www.agrireseau.net/agroenvironnement/documents/Evaluation%20des%20debits%20de%20pointe_AAC2007.pdf)

# Annexes

**Annexe 1** : Carte nationale de la répartition du coefficient régional pour la formule de CRUPEDIX



Les valeurs différentes de la valeur courante 1 sont représentées. Ainsi pour le secteur d'étude, qui se trouve dans la région du Grand Est, le coefficient régional choisi dans la formule de CRUPEDIX est de 1.

**Annexe 2** : Analyse des hydrogrammes de crue de la station de l'Elvon à Bazoncourt et de la Bisten à Creutzwald pour le calcul du GRADEX

- Station de l'Elvon à Bazoncourt (A9737310)

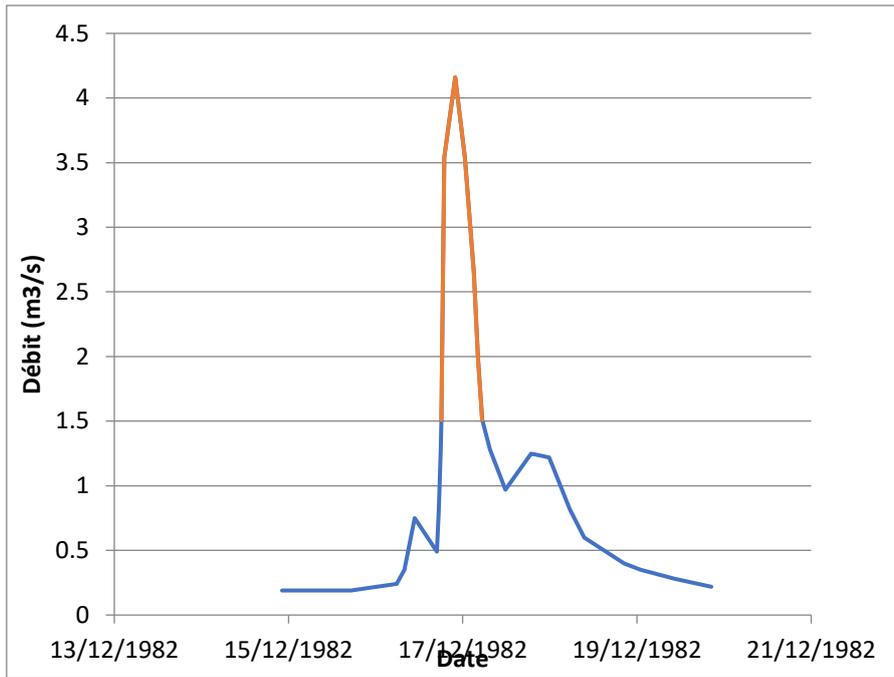


Figure 36 : Hydrogramme de crue de décembre 1981 mesuré par la station A9737310

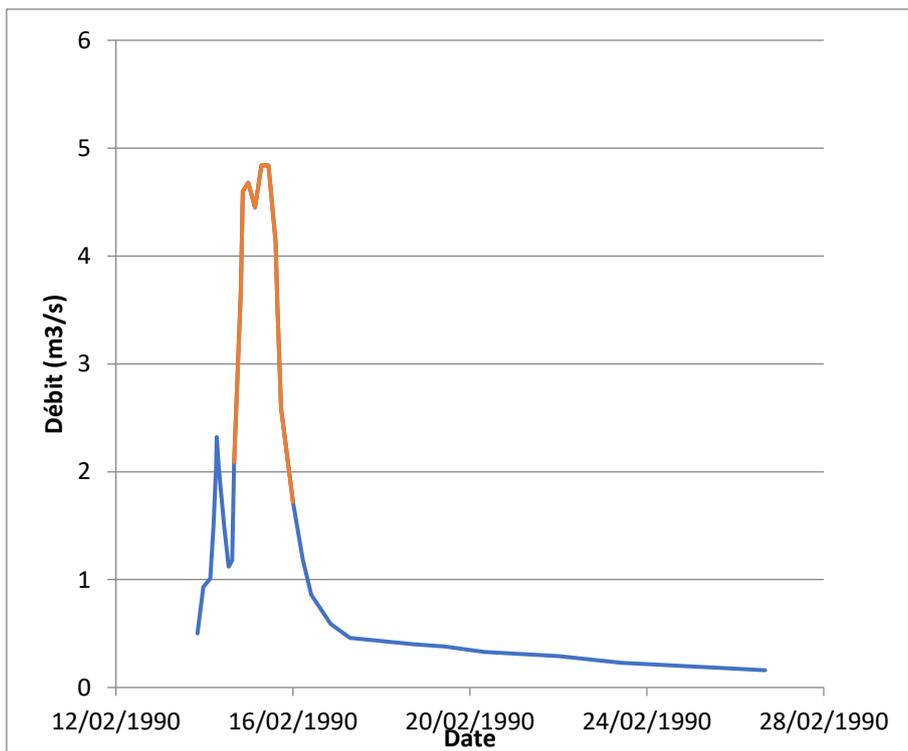


Figure 37 : Hydrogramme de crue de février 1990 mesuré par la station A9737310

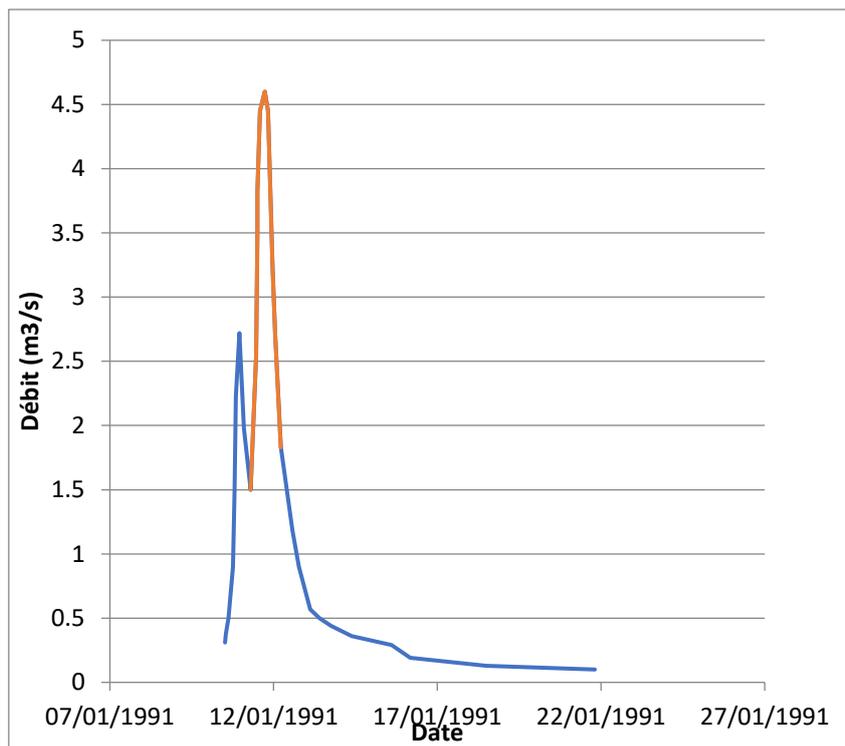


Figure 38 : Hydrogramme de crue de janvier 1991 mesuré à la station A9737310

- Station de la Bisten à Creutzwald (A9612010)

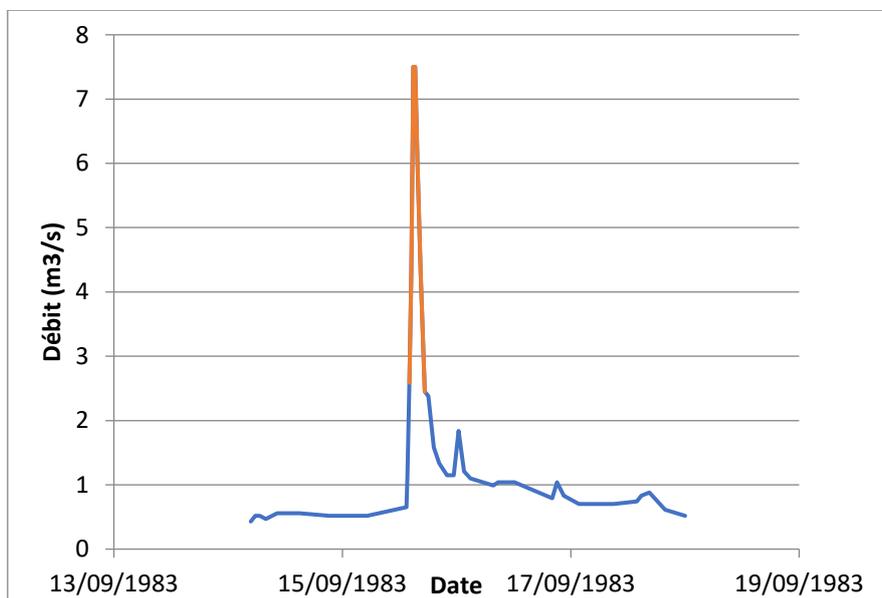


Figure 39 : Hydrogramme de crue de septembre 1983 mesuré à la station A9612010

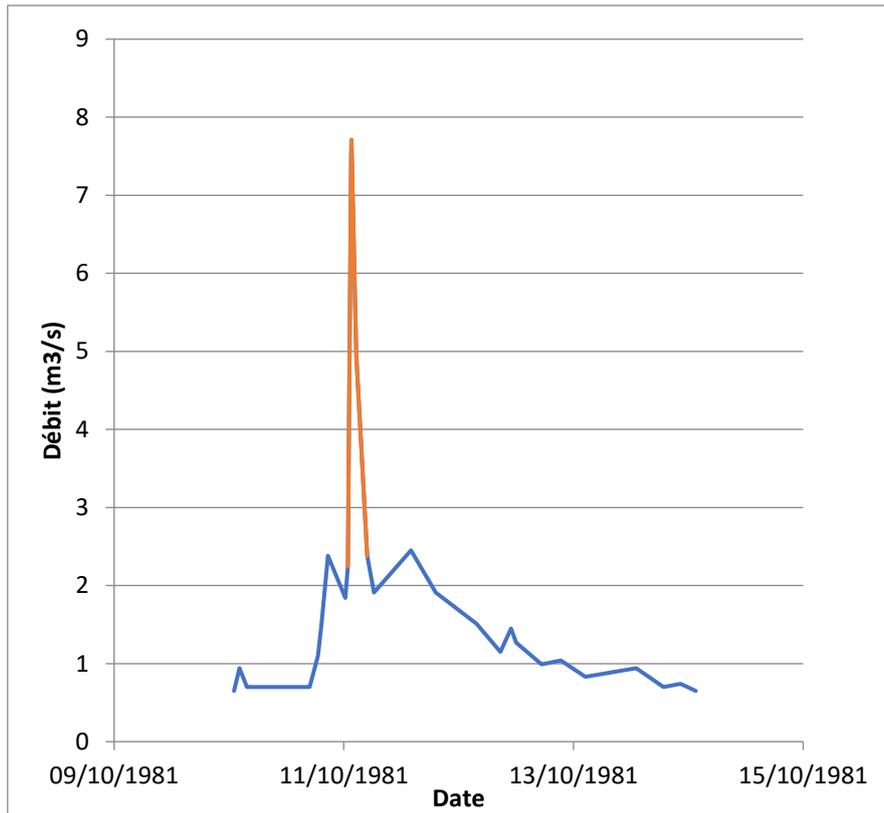


Figure 40 : Hydrogramme de crue d'octobre 1981 mesuré à la station A9612010

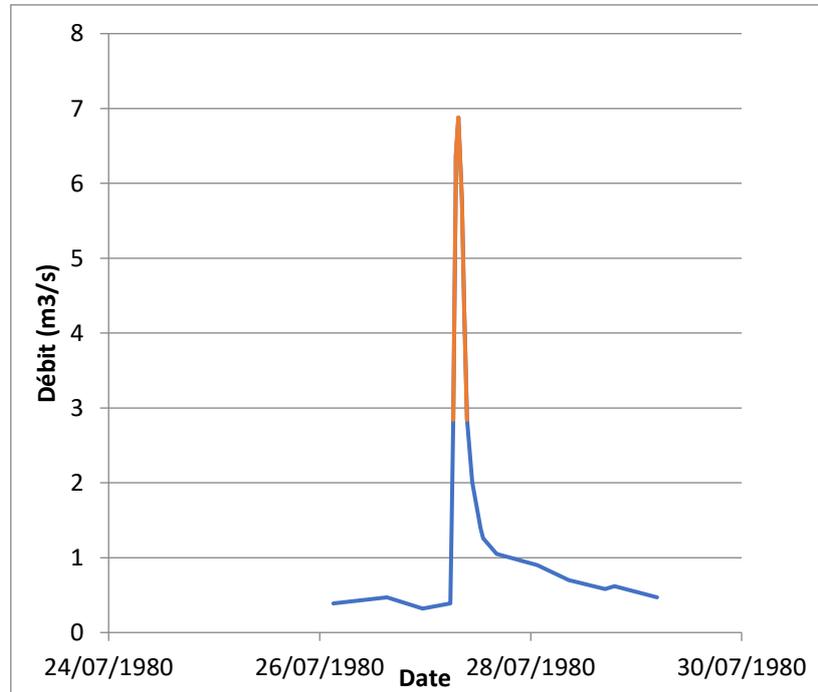


Figure 41 : Hydrogramme de crue de juillet 1980 mesuré par la station A9612010

Les données obtenues pour ces différents hydrogramme de crue sont les suivantes :

	durée (h)	coef. d'affinité	Débit pointe (m3/s)
CRUE SEPTEMBRE 1983 - Station A9612010	3,6	1,59	7,50
CRUE OCTOBRE 1981 - Station A9612010	4,5	1,80	7,71
CRUE JUILLET 1980 - Station A9612010	3,5	1,38	6,88
CRUE DECEMBRE 1982 - Station A9737310	11,4	1,31	4,16
CRUE FEVRIER 1990 - Station A9737310	33,0	1,30	4,84
CRUE JANVIER 1991 - Station A9737310	27,0	1,52	4,60
<b>MOYENNE GLOBALE</b>	<b>13,8</b>	<b>1,5</b>	<b>5,9</b>
<b>MOYENNE STATION A9612010</b>	<b>3,9</b>	<b>1,6</b>	<b>7,4</b>
<b>MOYENNE STATION A9737310</b>	<b>23,8</b>	<b>1,4</b>	<b>4,5</b>
<b>MEDIANE GLOBALE</b>	<b>8,0</b>	<b>1,45</b>	<b>5,86</b>
<b>MEDIANE STATION A9612010</b>	<b>3,6</b>	<b>1,6</b>	<b>7,5</b>
<b>MEDIANE STATION A9737310</b>	<b>27,0</b>	<b>1,3</b>	<b>4,6</b>

Figure 42 : Données pour les stations hydrométriques A9612010 et A9737310

Ces résultats mettent bien en évidence que les crues de la station hydrométrique A9737310 sont beaucoup plus longues que les crues de la station hydrométrique A9612010 et ne correspondent donc pas à des crues orageuses. Ainsi seuls les résultats de la station A9612010 sont conservés pour le calcul du GRADEX. Avec pour durée caractéristique « d » 3,9 heures et pour coefficient d'affinité 1,6.

### Annexe 3 : Présentation des différentes formules empiriques utilisées pour le calcul du temps de concentration

<p><u>Formule de Giandotti</u></p> $T_c = 60 \times \frac{0,4\sqrt{S} + 0,0015L}{0,8\sqrt{P \times I}}$ <p> <i>T<sub>c</sub></i> : en min  <i>S</i> : Surface en Ha  <i>L</i> : Plus grande longueur hydraulique en m  <i>P</i> : Pente en m/m </p>	<p><u>Formule de Kirpich</u></p> $T_c = 0,0195 \left( \frac{L}{\sqrt{P}} \right)^{0,77}$ <p> <i>T<sub>c</sub></i> : en min  <i>L</i> : Plus grande longueur hydraulique en m  <i>P</i> : Pente en m/m </p>
<p><u>Formule de Passini</u></p> $T_c = 0,14 \times \frac{(S \times L)^{1/2}}{\sqrt{P}}$ <p> <i>T<sub>c</sub></i> : en min  <i>S</i> : Surface en Ha  <i>L</i> : Plus grande longueur hydraulique en m  <i>P</i> : Pente en m/m </p>	<p><u>Formule de Ventura</u></p> $T_c = 7,62 \times \left( \frac{S}{P} \right)^{0,5}$ <p> <i>T<sub>c</sub></i> : en min  <i>S</i> : Surface en km<sup>2</sup>  <i>P</i> : Pente en m/m </p>
<p><u>Formule de Turraza</u></p> $T_c = 65,1 \times \sqrt{S}$ <p> <i>T<sub>c</sub></i> : en min  <i>S</i> : Surface en km<sup>2</sup> </p>	<p><u>Formule CEMAGREF (pour petits BV ruraux à tps de réponse rapide)</u></p> $\ln(D_p) = 0,375 \cdot \ln(S) + 3,729$ <p>avec <i>S</i> : Superficie en km<sup>2</sup>  <i>D<sub>p</sub></i> : Durée caractéristique de crue en mn</p>



Figure 43 : Présentation des différentes formules de calcul du temps de concentration (AREAS, 2013)

## 2. Méthode de Mockus

Cette méthode est adaptée aux bassins versants de superficie variant entre 4 ha et 1000 et qui sont caractérisés par une pente longitudinale moyenne inférieure à 1% et par des sols limoneux ou argileux.

$$T_c = \frac{L^{0,8} \times \left[ \frac{1000}{NC} - 9 \right]^{1,67}}{2083 \times (100 \times S)^{0,5}}$$

Où

$T_c$  : Temps de concentration (en h)

$L$  : Longueur maximale du parcours de l'eau dans le bassin versant (en m). Ce paramètre est défini dans la section précédente.

$NC$  : Numéro de courbe (pas d'unités). Ce facteur représente l'effet des conditions de surface du bassin versant sur le

ruissellement. Il prend en compte l'ensemble des caractéristiques physiques et l'utilisation du sol de l'ensemble du bassin versant (Tableau 1).

Un bassin versant étant rarement uniforme, le facteur  $NC$  à utiliser est la moyenne des numéros de courbes des différentes sous-sections du bassin versant, pondérée par la superficie de ces sous-sections.

Par exemple, dans un bassin versant relativement plat avec un sol de classe C, si 70% de la superficie est en cultures intensives ( $NC=80$ ) et 30% est boisé ( $NC=70$ ), le  $NC$  pondéré sera égal à :  $70\% \times 80 + 30\% \times 70 = 77$ .

$S$  : Pente longitudinale moyenne du bassin versant, en suivant l'écoulement de l'eau. Ce paramètre est défini dans la section précédente.

Afin d'assurer un dimensionnement suffisant, il est préférable de choisir une valeur du facteur  $NC$  qui représente les pires conditions de ruissellement du bassin versant.

Figure 44 : Présentation de la méthode de Mockus (Université McGill, 2007)

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**

**Diplôme(s) : Ingénieur ENGEES**

**Spécialité : Hydrosystemes**

**Auteur : ROBERT Alice**

**Année 2020**

**Titre :**

**Rédaction de l'avant-projet de la mission de maitrise d'œuvre pour la restauration et la protection contre les inondations sur le bassin versant du Ruisseau de Vallières**

**Nombre de pages**      texte : 50                      annexes : 6

**Nombre de références bibliographiques : 20**

**Structure d'accueil : IRH Ingénieur Conseil, Ludres, Meurthe-et-Moselle**

**Maître de stage : PARISOT Carine**

**Résumé**

La phase d'Avant-Projet s'effectue en quatre grandes phases : le diagnostic du bassin versant en s'appuyant sur les études préalables, réalisées par ARTELIA, et sur une reconnaissance terrain ; l'étude hydrologique s'appuyant de la précédente étude, des données trouvées proches de la zone d'étude pour monter un modèle hydrologique HEC-HMS ; l'étude hydraulique avec le logiciel MIKE à partir des résultats d'hydrogramme de crue obtenu avec le modèle hydrologique ; et la phase de dimensionnement, l'estimation du montant des travaux avec le programme de travaux. Cette dernière phase n'a pas pu être réalisé dans cette étude.

**Mots-clés**

Maîtrise d'œuvre, Avant-Projet, modélisation