
Rapport de stage individuel

Etude globale de la gestion des inondations sur le bassin versant des 4 vallées

5^{ème} année

ISL ingénierie

84 Bd Marius Vivier Merle, 69003 Lyon



Tuteur entreprise :

David Collomb, ingénieur en hydraulique et
morphologie fluviale et torrentielle

Stana SAVATTIER

IMA

2020-2021

Tuteur académique :

Pierre Peeters

REMERCIEMENTS

Je tiens à adresser mes remerciements à l'ensemble des personnes qui ont contribué à la bonne réalisation de ce stage.

Tout d'abord, je tiens à remercier tous les ingénieurs qui m'ont permis de mener à bien mes missions en étant à mon écoute et en m'apportant toute l'aide dont j'avais besoin, Juliette CORTAT, Adrien GUIHEUX, Rémy PFINGSTAG et Dhafer ABBAS.

Je tiens spécialement à remercier mon maître de stage, David COLLOMB, pour sa confiance et sa disponibilité, qui a été présent tout au long de mon stage pour m'accompagner.

J'adresse également mes remerciements à l'ensemble de l'équipe ISL ingénierie, pour leur accueil et leur confiance.

Je remercie aussi mon tuteur académique, Pierre PEETERS, qui m'a accompagné tout au long de mon stage et a répondu à mes interrogations.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	2
SOMMAIRE	3
TABLE DES ILLUSTRATIONS	4
ABRÉVIATIONS	5
INTRODUCTION	5
I. PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE	8
II. MATÉRIELS ET MÉTHODES	10
II.1 Description des missions réalisées.....	10
II.2 Utilisation de logiciels	11
II.2.1 Utilisation du logiciel HEC-RAS.....	11
II.2.2 Utilisation du logiciel QGIS.....	11
II.3 Etude globale de gestion des inondations sur le bassin versant des 4 vallées.....	12
II.3.1 Description de la zone d'étude et de l'organisme commanditaire.....	12
II.3.2 Contexte de l'étude.....	13
II.3.3 Construction du modèle de l'état initial	14
III. Résultats et discussion	20
III.1 Cartographie des zones inondables	20
III.1.1 Sous-modèle de la Sévenne	20
III.1.2 Sous-modèle de la Véga.....	22
III.1.3 Sous-modèle de la Gère	24
III.1.4 Sous-modèle de la Vésonne.....	26
III.2 Calage.....	28
III.2.1 Calage du sous-modèle de la Sévenne.....	28
III.2.2 Calage du sous-modèle de la Véga	29
III.2.3 Calage du sous-modèle de la Gère.....	30
III.2.4 Calage du sous-modèle de la Vésonne	31
III.3 Etude de sensibilité sur la Sévenne amont et sur la Gère aval.....	32
III.3.1 Sévenne amont	32
III.3.2 Gère aval	32
CONCLUSION.....	34
BIBLIOGRAPHIE	35

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Tableau 1 : Coefficients de Manning Strickler	17
Tableau 2 : Données de calage utilisées	18
Tableau 3: Différence des coefficients utilisés entre ISL et ARTELIA.....	19
Tableau 4 : Calage du sous-modèle de la Sévenne	29
Tableau 5 : Calage du sous-modèle de la Véga.....	30
Tableau 6 : Calage du sous-modèle de la Vésonne.....	31
Figure 1 : Actions des PAPI. Source : tours-metropole.fr	6
Figure 2 : Présentation de la direction de ISL ingénierie	8
Figure 3 : Périmètre d'action du SIRRA	10
Figure 4 : Emprise des zones 2D des 4 sous-modèles. Source : Qgis.....	13
Figure 5 : Représentation de l'emprise des 4 sous-modèles utilisés.....	14
Figure 6 : Méthodologie de construction de la géométrie du lit mineur	15
Figure 7: Carte d'occupation des sols	17
Figure 8 : Exemple de résultat pour la crue décennale sur le sous modèle de la Sévenne	20
Figure 9 : Exemple de résultat pour la crue cinquantennale sur le sous modèle de la Sévenne	21
Figure 10 : Exemple de résultat pour la crue centennale sur le sous modèle de la Sévenne	21
Figure 11 : Exemple de résultat pour la crue décennale sur le sous modèle de la Véga.....	22
Figure 12 : Exemple de résultat pour la crue cinquantennale sur le sous modèle de la Véga	23
Figure 13 : Exemple de résultat pour la crue cinquantennale sur le sous modèle de la Véga	23
Figure 14 : Exemple de résultat pour la crue décennale sur le sous modèle de la Gère.....	24
Figure 15: Exemple de résultat pour la crue décennale sur le sous modèle de la Gère.....	25
Figure 16: Exemple de résultat pour la crue décennale sur le sous modèle de la Gère.....	25
Figure 17: Exemple de résultat pour la crue cinquantennale sur le sous modèle de la Gère	25
Figure 18 : Exemple de résultat pour la crue centennale sur le sous modèle de la Gère	26
Figure 19 : Exemple de résultat pour la crue décennale sur le sous modèle de la Vésonne.....	26
Figure 20 : Exemple de résultat pour la crue cinquantennale sur le sous modèle de la Vésonne	26
Figure 21 : Exemple de résultat pour la crue cinquantennale sur le sous modèle de la Vésonne	26
Figure 22 : Exemple de résultat pour la crue cinquantennale sur le sous modèle de la Vésonne	27
Figure 23: Exemple de résultat pour la crue centennale sur le sous modèle de la Vésonne	27
Figure 24: Exemple de résultat pour la crue centennale sur le sous modèle de la Vésonne	28
Figure 25: Comparaison des enveloppe inondables sur la Gère	31
Figure 26 : Résultats du test de sensibilité sur Sévenne amont	32
Figure 27: : Résultats du test de sensibilité sur Gère aval	33

ABRÉVIATIONS

BD OSCOM : Base de données occupation du sol à l'échelle communale

EPTB : Etablissement public territorial de bassin

GEMAPI : Gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations

PAPI : Programme d'actions de prévention des inondations

MNT : Modèle numérique de terrain

Q10 : Crue de retour 10 ans

SIG : Système d'information géographique

SIRRA : Syndicat Isérois des Rivières Rhône Aval

INTRODUCTION

En France, les inondations représentent un risque environnemental majeur, puisqu'elles concernent une commune française sur trois, peuvent être meurtrières et représentent 80% des dépenses dues aux catastrophes naturelles. L'inondation est définie comme "un phénomène de submersion temporaire, naturelle ou artificielle, d'un espace terrestre". C'est un phénomène naturel, caractérisé comme un aléa. Le risque inondable, quant à lui, peut être défini comme "un événement dommageable, doté d'une certaine probabilité, lié à la conjonction de l'aléa et de la vulnérabilité d'un territoire" (H. Scarwell et R.Laganier, 2004).

Les inondations sont un réel sujet d'actualité, car elles sont de plus en plus fréquentes sur notre territoire, et ont largement augmenté ces dernières décennies (Ledoux, 2006). L'augmentation de l'occurrence de ces phénomènes fait évoluer les stratégies d'aménagements du territoire et les politiques publiques en termes de gestion du risque (Dupont, 2008). La prévention du risque inondation est donc un enjeu primordial de la politique publique française, qui concerne un grand nombre d'acteurs, en particulier les aménageurs, urbanistes et gestionnaires de rivières. L'aménagement des fleuves et l'aménagement urbain jouent un rôle majeur dans la gestion de ce risque. En effet, les hommes ont souvent privilégié la proximité avec les fleuves dans le choix de lieux de développement de leurs villes. Cela a souvent donné lieu à la modification hydromorphologique du lit mineur (rectification, endiguement, ouvrage hydraulique...), mais aussi du lit majeur et de l'occupation du sol (imperméabilisation, agriculture...). Nous savons aujourd'hui que l'urbanisation en bord de fleuve accentue les inondations, les rend plus fréquentes et plus destructrices, dû à l'imperméabilisation des sols (Desbordes, 1994).

En 2018, la compétence GEMAPI (gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations) est confiée aux collectivités territoriales, qui peuvent la déléguer ou la transférer à un syndicat mixte ou à un établissement public territorial de bassin (EPTB). Cette compétence comporte 4 missions : l'aménagement du bassin hydrographique, l'entretien et l'aménagement du cours d'eau, la protection contre les inondations et enfin la préservation et la restauration des milieux aquatiques naturels. La mission de protection des inondations consiste concrètement en la surveillance des ouvrages hydrauliques et des systèmes d'endiguements, et en l'aménagement hydraulique des cours d'eau.

La prévention et la gestion des inondations nécessite une connaissance approfondie du territoire, indispensable pour connaître le risque encouru et mettre en place des stratégies et des aménagements adéquats. Pour cela, la réalisation d'un diagnostic multicritère comportant le fonctionnement hydraulique et hydrologique du bassin versant, des ruissellements, l'étude des enjeux, des aléas et de la vulnérabilité. Les résultats de ce diagnostic permettent dans un second temps l'élaboration d'un PAPI (Programme d'Actions de Prévention des Inondations). Le PAPI est un outil entré en vigueur en 2002 qui permet une gestion efficace contre les inondations. Ses actions sont résumées en figure 1.



Figure 1 : Actions des PAPI. Source : tours-metropole.fr

Ce rapport de stage concerne le stage de fin d'études réalisé dans le cadre de mon cursus à Polytech Tours entre le 8 février et le 31 juillet 2021. Il a été effectué au sein du bureau d'études ISL ingénierie, dont les activités concernent principalement l'eau, le génie civil et l'environnement. Ce stage s'inscrit dans une problématique largement abordée lors de notre cursus : la gestion de cours d'eau et du risque inondation.

Lors de mon stage, comme nous allons le voir, j'ai pu travailler sur diverses missions, comme l'étude du risque inondation à l'échelle d'un bassin versant ou encore la renaturation hydromorphologique d'une portion de cours d'eau, qui m'a permis de mettre à profit divers types de compétences, particulièrement la modélisation hydraulique, le fonctionnement hydraulique de cours d'eau et des ouvrages, et la cartographie assistée par ordinateur. Mon encadrant principal a été David COLLOMB, ingénieur de 21 ans d'expérience en hydraulique et morphologie fluviale et torrentielle. J'ai aussi pu travailler avec divers interlocuteurs lors des missions annexes, ce qui m'a permis d'avoir contact avec des ingénieurs aux profils et expériences variées.

Mon rôle dans l'entreprise était proche de celui d'un ingénieur d'études. Mes missions portaient principalement sur la réalisation d'études et de modélisations hydrauliques à différentes échelles (bassin versant ou tronçon), et sur la rédaction de rapports ou de supports type powerpoint destinés aux commanditaires. Ce rapport de stage va dans un premier temps présenter la structure d'accueil. Dans un second temps seront présentées mes missions principales en détaillant particulièrement l'étude des inondations sur le bassin versant des 4 vallées puisqu'elle a constitué la majeure partie de

ma mission chez ISL. Dans un troisième temps, les résultats seront ensuite analysés et discutés, et enfin, le rapport terminera avec une synthèse des compétences acquises.

I. PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE

ISL ingénierie est une société d'ingénierie indépendante, spécialisée dans les domaines des barrages, infrastructures et ouvrages hydrauliques. Elle a été créée en 1986 par trois ingénieurs : Freddy Isambert, Michel Salembier et Michel Lino, dont les initiales donnent le nom à ISL. Le président actuel est Luc Deroo, secondé deux directeurs généraux, Akim Salmi et Jean Philippe Sixdenier.

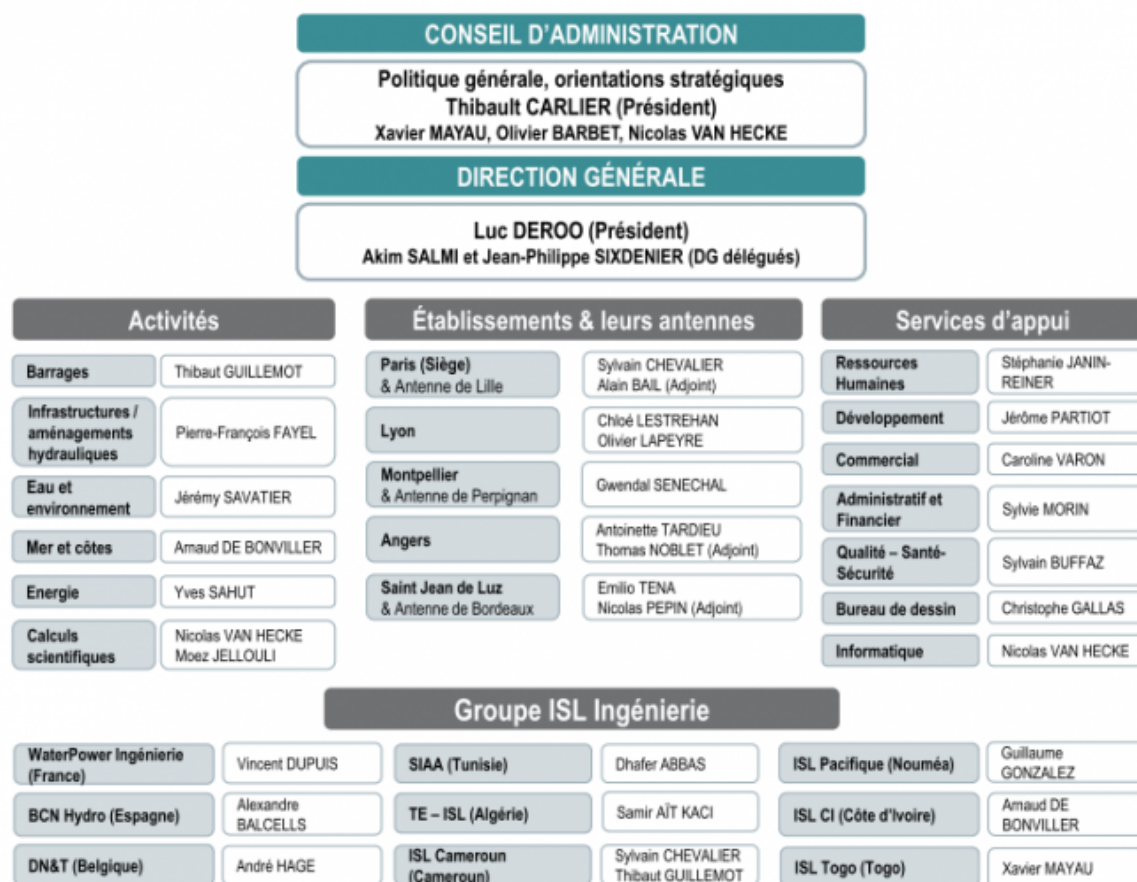


Figure 2 : Présentation de la direction de ISL ingénierie

Cette entreprise est présente aussi bien en France qu'à l'étranger, avec des établissements répartis dans 6 villes, soit Lyon, Paris, Angers, Montpellier, Saint-Jean-de-Luz et Nouméa. Elle possède aussi trois antennes à Lille, Perpignan et Bordeaux. A l'étranger, celle-ci est présente en Tunisie, en Algérie, au Cameroun et en Côte d'Ivoire. Son implantation géographique est donc large, ce qui lui permet d'intervenir partout en France, mais aussi internationalement. Elle a en effet acquis des contrats dans plus de 40 pays différents depuis sa création.

Ses activités couvrent plusieurs domaines, soit :

- Barrages et grands ouvrages hydrauliques. C'est une des activités majeures de ISL, avec des interventions couvrant à la fois la mise en place de nouveaux barrages mais aussi la gestion de barrages en service.
- Infrastructures. Cette activité concerne la conception de divers ouvrages de génie civil, ouvrages hydrauliques, de navigation, les systèmes d'endiguements...

- Énergie. Initialement, ISL intervenait principalement sur le développement de projets de production d'énergie hydroélectrique, mais élargit aujourd'hui de plus en plus ses domaines d'interventions avec d'autres types d'énergie comme l'éolien, la biomasse, le solaire, le thermique et les énergies de la mer.
- Eau et environnement. Les missions que j'ai accomplies durant mon stage concernaient principalement ce pôle. Celui-ci intervient sur des projets variés : la prévention, prévision et protection contre les inondations, la lutte contre les submersions marines, la restauration de rivière et le rétablissement de la continuité sédimentaire écologique, et enfin la planification et valorisation de la ressource en eau et les prévisions hydrologiques.
- Mer et les côtes. Ce pôle concerne les activités de gestion du littoral, du dimensionnement et diagnostic des infrastructures maritimes et portuaires, d'estimation du risque de submersion, de protection des côtes, de gestion de plages, du confortement des ouvrages, et enfin du développement des nouvelles énergies.
- Calculs scientifiques. Cette activité comprend la modélisation numérique dans des domaines variés, comme la mécanique des structures, la mécanique des fluides et le calcul thermique, sismique et hydraulique.

Il intervient dans la réalisation d'études, audit et conseils, assistance à maîtrise d'ouvrage ou encore la maîtrise d'œuvre. C'est une entreprise pluridisciplinaire, avec des ingénieurs, des projeteurs et des techniciens maîtrisant un panel de disciplines varié.

Concernant la taille de l'entreprise, son effectif moyen est à 97 et son chiffre d'affaires de 12 414 900€ en 2019.

- La modélisation du barrage de Thurins concernait l'étude du comportement hydraulique de l'évacuateur du barrage et du tronçon aval et des ouvrages hydrauliques présents en aval du barrage pour la crue centennale et décennennale. Cette modélisation a été réalisée sur HEC-RAS, avec un modèle de type 1D.
- L'étude sur la renaturation cours d'eau de la Résie, commandé par le Syndicat mixte d'aménagement de la moyenne et basse vallée de l'Ognon, consistait en la réalisation d'une modélisation hydraulique des lignes d'eau et des champs d'expansion des crues, dans un premier temps sur l'état initial puis sur l'état après restauration hydromorphologique, afin d'étudier l'évolution de la vulnérabilité face aux inondations avant et après aménagement. Cette étude hydraulique a aussi pour but de caractériser la granulométrie, de calculer les forces tractrices et la mise en évidence de phénomène pouvant mener à un déséquilibre hydromorphologique. Le choix a donc été fait de réaliser un modèle hydraulique HEC-RAS 2D.

II.2 Utilisation de logiciels

II.2.1 Utilisation du logiciel HEC-RAS

HEC-RAS (*Hydraulic Engineering Center's River Analysis System*), est un logiciel libre de droit distribué par le corps d'ingénieurs de l'armée américaine (USACE). C'est un logiciel de modélisation hydraulique qui permet de modéliser les écoulements dans le lit mineur et dans le lit majeur en régime permanent ou transitoire.

Le modèle hydraulique HEC-RAS peut être de 3 types différents, selon les résultats attendus. Tout d'abord, la modélisation 1D permet de modéliser les écoulements unidimensionnels. Pour ce type de modèle, les résultats se limitent au lit mineur, mais il permet de modéliser de façon précise les ouvrages hydrauliques. Ensuite, la modélisation 2D permet quant à elle de connaître les écoulements, les hauteurs d'eau et les vitesses dans le lit majeur, mais simplifie la représentation des ouvrages, et ne permet pas une connaissance précise des écoulements dans le lit mineur. Enfin, le modèle couplé 1D/2D permet de combiner les deux premiers types de modèles, ce qui permet une bonne représentation des écoulements à la fois en lit mineur et majeur. Cependant, cela induit des temps de calculs relativement long et parfois des instabilités de calculs.

Deux versions de HEC-RAS sont utilisées à ISL, soit la 5.0.7 et la 6.0. J'ai eu l'occasion de travailler sur chacune des deux versions et donc de pouvoir tester les différences.

II.2.2 Utilisation du logiciel QGIS

QGIS est un logiciel de système d'information géographique (SIG) libre. J'ai pu l'utiliser à de nombreuses reprises, pour des tâches différentes comme de la cartographie, la réalisation d'un inventaire des digues présentes sur le bassin versant, du traitement de données spatiales avec différents plugins (récupération des points de plus hautes altitudes afin de modéliser les berges sous HEC-RAS). J'ai donc pu voir différentes manières d'utiliser QGIS. Lors de mon cursus, nous avons utilisé exclusivement ArcGis, mais les deux logiciels se ressemblent et il est assez aisé de passer de l'un à l'autre.

La Gère, la Véga, la Sévenne et la Gervonde constituent le réseau hydrographique principal du bassin versant des 4 vallées (figure 4) Son cours d'eau principal est la Gère, d'une longueur de 36.9 km et affluent direct du Rhône au niveau de la ville de Vienne. Ce bassin est caractérisé par une occupation du sol en grande partie agricole et urbaine. Cela implique certains dysfonctionnements sur le bassin, comme les rectifications de cours d'eau, des problèmes de ruissellement, d'érosion et de pollution d'origine agricole.

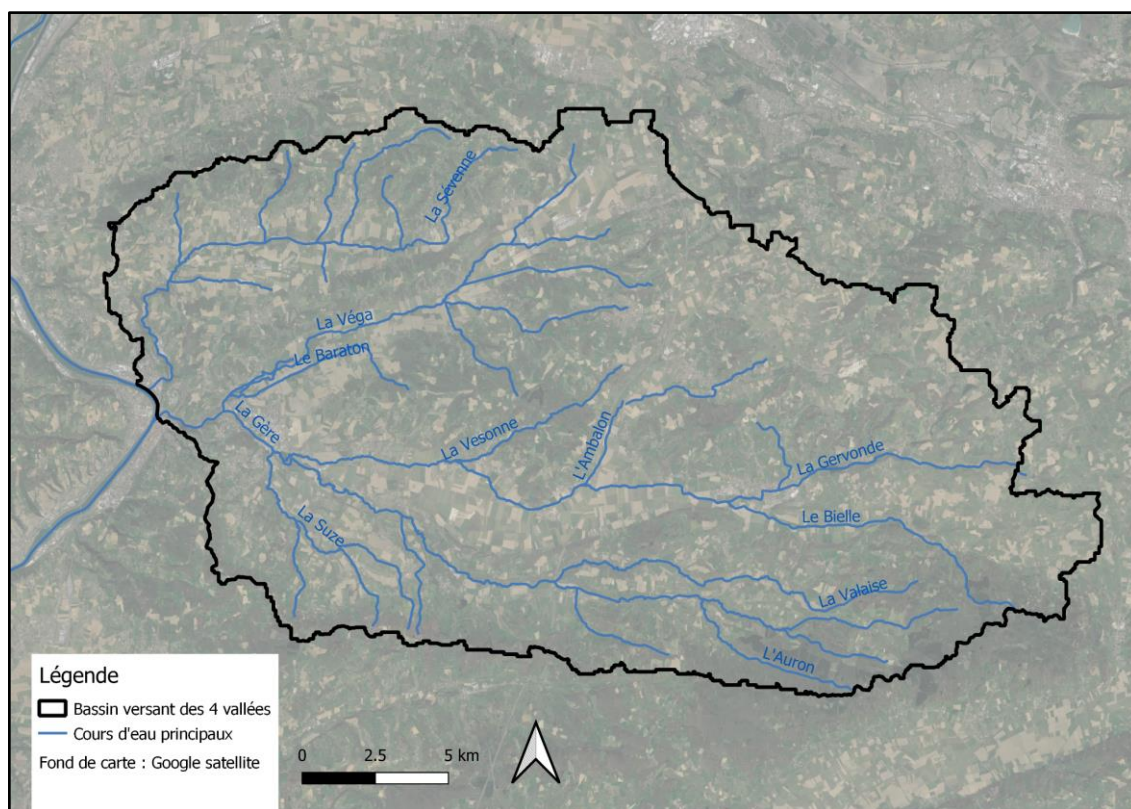


Figure 4 : Emprise des zones 2D des 4 sous-modèles. Source : Qgis

II.3.2 Contexte de l'étude

Au cours des deux derniers siècles, comme grand nombre de cours d'eau, La Gère, la Sévenne et leurs affluents ont subi des rectifications, comme des curages et des élargissements, dans le but de limiter les inondations et de satisfaire les usages et acteurs locaux.

Ces aménagements ont augmenté la capacité de plein bord du cours d'eau ce qui a diminué les inondations localement, mais cela a aussi eu pour conséquence d'augmenter le débit, ce qui a aggravé la vulnérabilité des zones urbaines à l'aval de Vienne.

Pour y remédier, le Syndicat Isérois des Rivières Rhône Aval développe des actions qui prennent en compte la vulnérabilité et l'aléa du territoire en termes d'inondation en s'appuyant sur les orientations et les stratégies du Contrat de rivière et du Programme d'Action de Prévention des Inondations (PAPI d'Intention 2019-2022).

Cette étude est constituée de 4 phases :

La phase 1 concerne le diagnostic multicritère du territoire. Elle comprend la réalisation des diagnostics hydrologiques, hydrauliques et des étangs, et la réalisation de l'inventaire des ouvrages sur le territoire. C'est lors de cette phase que j'ai commencé mon stage.

La phase 2 concerne le diagnostic des enjeux et de la vulnérabilité du territoire, partie que je n'ai pas abordée lors de mon stage.

La phase 3 consiste en la définition des scénarios d'aménagements, comportant dans un premier temps une proposition des stratégies et de 3 scénarios d'aménagements envisagés et, dans un deuxième temps, une analyse des impacts résiduels des scénarios.

Pour finir, la phase 4 concerne l'élaboration du Schéma Global d'Aménagement Hydraulique du PAPI des 4 Vallées, avec une première étape de définition/ conception au stade avant-projet des aménagements, suivie de l'analyse, pour le scénario retenu, de l'impact hydraulique des aménagements, socio-économique, et enfin environnementale.

II.3.3 Construction du modèle de l'état initial

Le stage a donc commencé lors de la construction du modèle hydraulique HEC-RAS pour l'état initial du projet.

II.3.3.1 Choix du modèle

Le bassin versant des 4 vallées a été découpé en 4 sous-modèles, correspondant aux 4 affluents principaux (la Gère, la Sévenne, la Vega et la Gervonde) (figure 5).

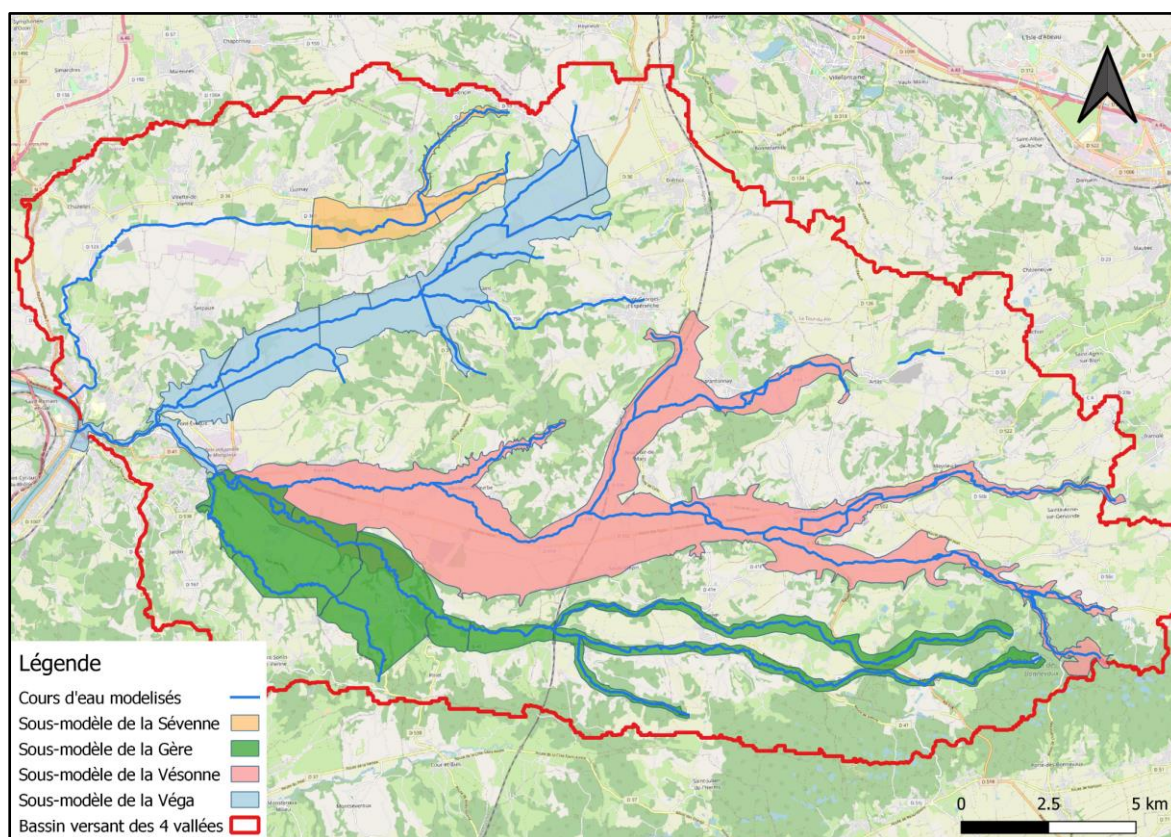


Figure 5 : Représentation de l'emprise des 4 sous-modèles utilisés

Au total, 216 km de cours d'eau ont été modélisés. Le choix du modèle devait être adapté au réseau hydrographique, il s'est donc porté sur un modèle 1D/2D. En effet, le bassin présente un nombre important d'ouvrages dont certains à géométrie complexe. De plus, une précision était requise autant

dans le lit mineur que majeur, ce dernier présentant un lit majeur large ou un laminage peut avoir lieu. Le choix de réaliser les modèles en régime transitoire permettra par la suite la définition et l'évaluation des impacts des ouvrages envisagés dans le cadre du PAPI.

II.3.3.2 Les étapes de la modélisation hydraulique

La construction d'un modèle hydraulique couplé 1D/2D comporte plusieurs étapes :

- Définition de l'emprise du modèle.

La définition de l'emprise du modèle doit être assez large pour modéliser la crue de retour mille ans. Elle se base sur la topographie de la zone, en définissant une altitude qui ne sera jamais dépassée avec les crues modélisées. Cette emprise servira par la suite à la définition des zones 2D du modèle.

- Identification des ouvrages et des éléments de topographie structurants.

Les ouvrages présents dans le lit mineur et majeur que nous devons intégrer au modèle ont été identifiés. Certaines singularités topographiques ont aussi été identifiées afin de densifier le maillage de la zone 2D à ces endroits.

- Élaboration du modèle numérique de terrain (MNT).

L'élaboration du MNT se base sur une couche LIDAR, qui doit avoir la meilleure résolution et être la plus récente possible. Il faut ensuite l'importer dans HEC-RAS avec la bonne projection et l'associer à la géométrie du projet.

- Construction du modèle 1D sur l'emprise du lit mineur seul.

Les relevés LIDAR ne prennent pas en compte la géométrie du lit mineur, il est donc nécessaire de la construire grâce à des données bathymétriques ou grâce à des levés topographiques de profils en travers. La méthodologie appliquée pour construire la morphologie du lit mineur est décrite en figure 6.

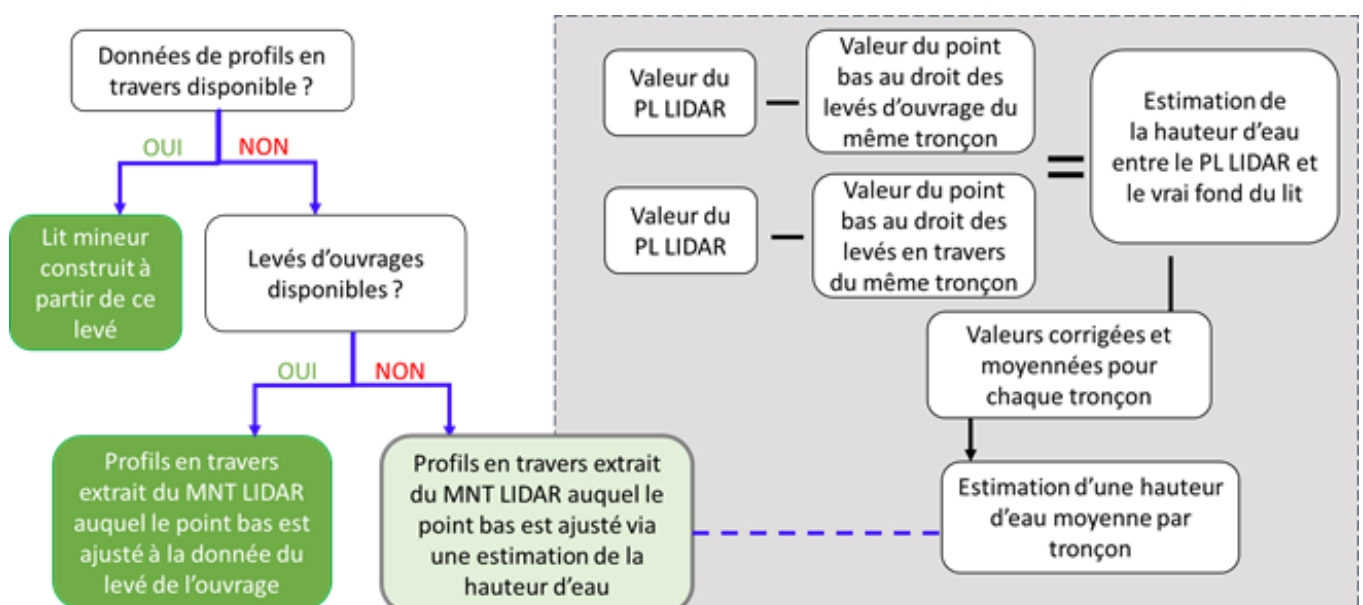


Figure 6 : Méthodologie de construction de la géométrie du lit mineur

- Construction du maillage en lit majeur, intégration de la topographie et des ouvrages.

La construction des zones 2D nécessitent de choisir la taille des mailles et les zones où ces mailles doivent être affinées. Nous avons ici choisi des mailles de 10x10m, la taille est estimée afin d'avoir une bonne précision mais conserver des temps de calculs raisonnables. Il faut ensuite corriger le maillage à la main à certains endroits où il ne s'est pas correctement créé. Les ouvrages présents dans le lit majeur ne peuvent pas être renseignés comme les ouvrages du lit mineur : ils sont renseignés à l'aide de "breakline", structure qui permet de modéliser un ouvrage (seuil, pont ou digue) sans cross section associée, donc dans une zone 2D.

- Définition des liens latéraux entre le modèle 1D (lit mineur) et 2D (lit majeur).

Cette étape consiste en la construction de "laterals structures" qui représentent les berges du cours d'eau au point le plus haut. Ces structures servent de lien entre le lit mineur et les zones 2D construites auparavant. Cela va permettre au logiciel de modéliser le débordement hors du lit mineur.

- Paramétrage du modèle : définition des conditions limites, conditions initiales et coefficients de frottement du modèle.

Les conditions limites amont représentent l'hydrogramme d'entrée, calculé lors d'une phase préalable, et déterminé par un modèle hydrologique, pour les différentes crues de projet (Q10, Q50, Q100 et Q500). Ces hydrogrammes sont associés à des conditions de débits initiales qui sont fonction de la position du tronçon dans le bassin et du débit transitant. En effet, HEC-RAS ne peut faire tourner un modèle dont l'hydrologie est à 0, il faut donc paramétrer certaines valeurs pour qu'il puisse tourner sans changer les valeurs de l'hydrogramme.

Les hydrogrammes d'entrée représentent les débits entrant à des points identifiés du cours d'eau. Ils peuvent être des points ponctuels, comme les affluents et la branche amont, mais aussi plus progressif, sur un linéaire compris entre 2 profils en travers en cas d'apports diffus.

La condition limite aval est fonction de la pente moyenne du cours d'eau principal du bassin versant.

Les coefficients de frottement sont représentés par le coefficient de Manning-Strickler. Il doit être défini dans le lit mineur et dans le lit majeur. Pour le lit mineur, deux types de coefficients sont à choisir : le fond du lit et les berges. Nous avons opté pour deux coefficients pour le fond de lit, soit $k=25$ dans les portions les plus chenalisées et 22 dans les portions où il semble plus naturel.

Dans le lit majeur, il a fallu créer une couche d'occupation des sols (figure 7) sous QGIS afin de d'adapter le jeu de données à une précision adaptée au modèle, à partir de la BD OSCOM (Base de données Occupation du Sol à l'échelle Communale) fournie par le maître d'ouvrage.

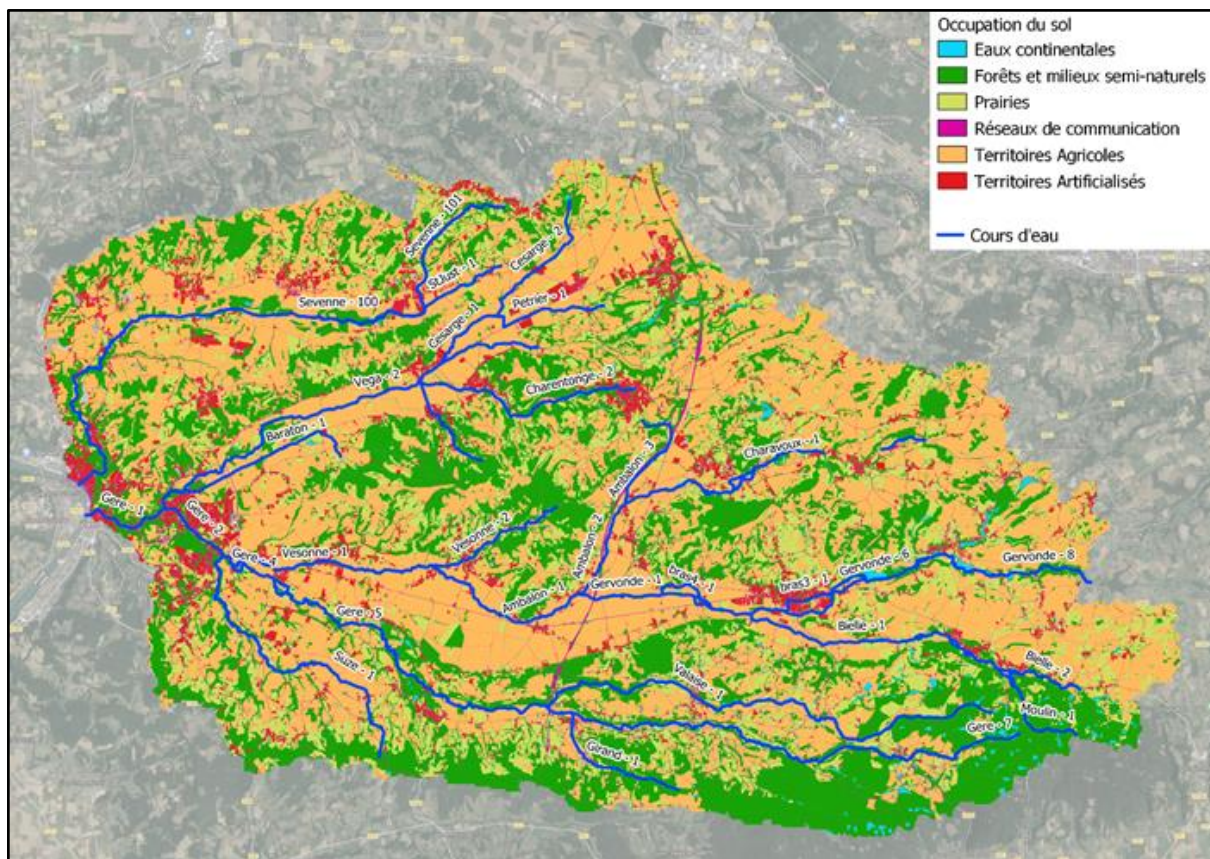


Figure 7: Carte d'occupation des sols

Les coefficients de Manning Strickler associés sont représentés dans le tableau suivant :

Intitulé de la zone	Manning Strickler associé
Zones urbanisées	12,5
Forêt	13,75
Prairie	25
Zone agricole	31,25
Route	50
Surfaces en eau (étangs etc) hors cours d'eau	62,5

Tableau 1 : Coefficients de Manning Strickler

La couche de l'occupation du sol est ensuite importée dans HEC-RAS (plus spécifiquement dans Ras Mapper) puis associée à la géométrie du projet.

II.3.3.3 Erreurs et instabilités

Une des étapes les plus contraignantes lors de la construction d'un modèle couplé 1D/2D de cette taille est la résolution des erreurs et la correction des instabilités. Sans correction, le modèle peut s'arrêter à tout moment. Les calculs peuvent être très long, ce qui rajoute une contrainte supplémentaire et complexifie la résolution des instabilités.

Ces instabilités sont dues à certaines structures dans la géométrie. Par exemple, les liens entre la partie 1D et 2D induisent beaucoup d'erreurs qui doivent être corrigées à la main. Certains ouvrages doivent aussi être modifiés ou paramétrés pour éviter ces erreurs. Plusieurs paramètres jouent aussi sur la stabilité du modèle, comme le pas de temps de calcul, les options de calcul et tolérances, les options d'optimisation des écoulements, les facteurs de stabilité des ouvrages, les coefficients de frottement des ouvrages... Un grand nombre de paramètres peuvent être modifiés. Le fait que HEC-RAS n'indique pas toujours d'où vient l'erreur rend cette tâche parfois compliquée, réalisée sous forme de petits tests de lancement.

II.3.3.4 Calage du modèle

Le calage du modèle est réalisé à partir de 3 crues dont des données sont connues, comme le débit associé, la hauteur d'eau à un endroit donné ou encore l'emprise inondable. Cela nécessite des recherches bibliographiques préalables. Pour ce bassin versant, peu de données sont disponibles. Elles sont répertoriées dans le tableau suivant :

	Crue 1		Crue 2		Crue 3	
	Date	Eléments	Date	Eléments	Date	Eléments
Sévenne	1999	2 niveaux d'eau	1993	Emprise inondable locale	2008	2 hauteurs d'eau
Gère	1983	Emprise inondable globale + 8 niveaux d'eau	1993	2 niveaux d'eau	1750/1856	1 hauteur d'eau
Vega	2008	3 niveaux d'eau				
Vesonne			1993	2 niveaux d'eau	2002	Indication d'emprise inondable locale

Tableau 2 : Données de calage utilisées

Les crues sélectionnées sont ensuite simulées sur HEC-RAS. Les hauteurs d'eau et les emprises inondables obtenues grâce à la simulation sont ensuite comparées aux mesures réellement observées lors de ces événements.

Cette étape a pour objectif de comparer les résultats du modèle avec des événements réels et donc analyser à quel point le modèle est proche de la réalité. Par la suite, en fonction des résultats obtenus, des coefficients peuvent être ajustés, comme le coefficient de frottement. Par exemple, si les hauteurs d'eau sont trop élevées par rapport à la réalité, il faudra augmenter la rugosité du lit mineur ou majeur.

III.3.3.5 Etude de sensibilité du modèle

L'étude de sensibilité du modèle a pour but d'évaluer la sensibilité du modèle à un certain paramètre, et donc d'apprécier sa robustesse. Nous avons effectué cette étude de sensibilité sur deux modèles, en utilisant des variations du coefficient de rugosité.

Le modèle de la Sévenne a été testé en modifiant les coefficients de frottement du lit majeur, en reprenant les coefficients utilisés par le bureau d'études Artélia. Il a été chargé de la construction du modèle aval de la Sévenne tandis que ISL a réalisé la partie amont du modèle. Les différences de coefficients sont répertoriées dans le tableau suivant :

Intitulé de la zone	Manning Strickler utilisés par ISL	Manning Strickler utilisés par Artelia
Zones urbanisées	12,5	50
Forêt	13,75	10
Prairie	25	15
Zone agricole	31,25	15
Route	50	50
Surfaces en eau (étangs etc) hors cours d'eau	62,5	/

Tableau 3: Différence des coefficients utilisés entre ISL et ARTELIA

Le modèle de la Gère a aussi été testé, cette fois en faisant varier le coefficient de rugosité du lit mineur, passant de 25 à 27.

présentent pas un risque trop important. Sur le reste du cours d'eau, les débordements concernent uniquement des zones agricoles.

III.1.1.2 Crue cinquantennale



Figure 9 : Exemple de résultat pour la crue cinquantennale sur le sous modèle de la Sèvre

Pour la crue cinquantennale, nous pouvons observer qu'un débordement apparaît dans une zone résidentielle dû à la mise en charge d'un ouvrage de traversée. Les niveaux d'eau restent cependant inférieurs à 20 cm, ce qui n'implique pas une vulnérabilité trop importante pour cette crue.

III.1.1.3 Crue centennale



Figure 10 : Exemple de résultat pour la crue centennale sur le sous modèle de la Sèvre

Plus en aval, de nouvelles emprises essentiellement en zones agricoles sont concernées par des inondations, car le lit mineur n'a plus la capacité de contenir la crue centennale.

III.1.2 Sous-modèle de la Véga

Légende

- $H < 0,20$
- $0,2 < H < 0,5$
- $0,5 < H < 1$
- $1 < H < 2$
- $H > 2$

Dès la crue décennale, on peut apercevoir quelques dommages, notamment des habitations, et le long de routes qui peuvent être submergées. Cependant, les principaux débordements se situent en zone agricole pour cette crue, qui ne présente donc pas un risque très important.

On peut observer que la crue cinquantennale provoque des dégâts plus importants, en accentuant ceux déjà identifiés sur la Q10 et en ajoutant de nouveaux dégâts. Les hauteurs d'eau des débordements sont importantes dans les zones urbaines, dont un centre-bourg situé à l'aval de la cartographie (figure 12 et 13).

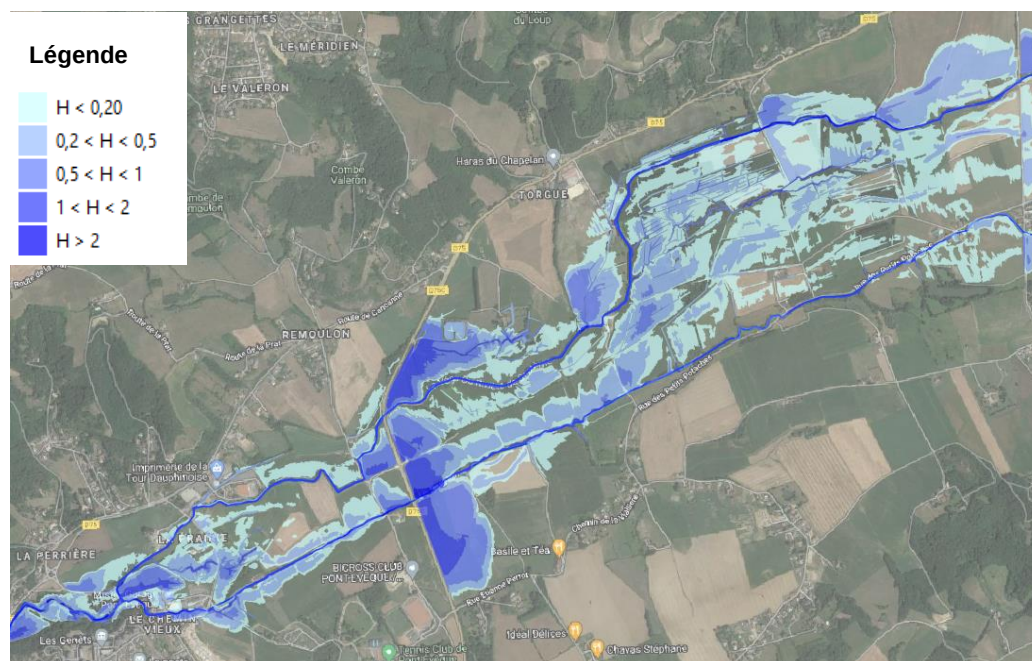


Figure 12 : Exemple de résultat pour la crue cinquantennale sur le sous modèle de la Véga

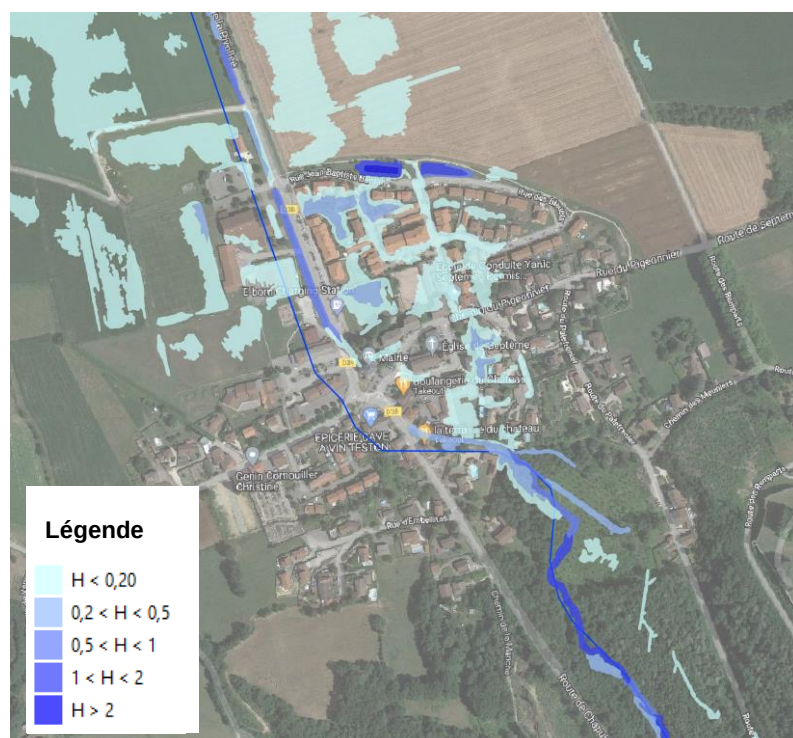


Figure 13 : Exemple de résultat pour la crue cinquantennale sur le sous modèle de la Véga

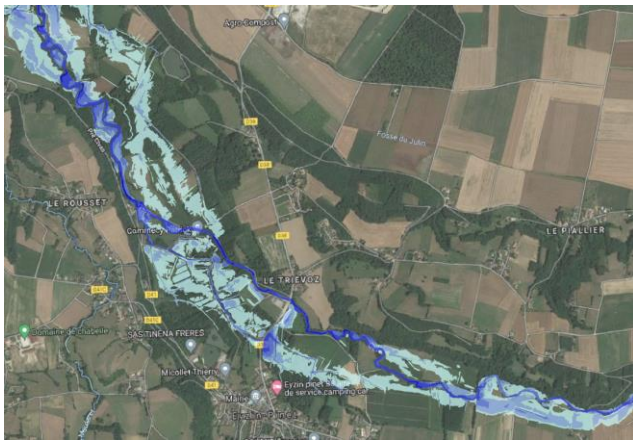


Figure 16: Exemple de résultat pour la crue décennale sur le sous modèle de la Gère



Figure 15: Exemple de résultat pour la crue décennale sur le sous modèle de la Gère

Tout à l'aval du modèle, plusieurs zones urbaines sont impactées, dont la commune de Chaumont et de Viennais, mais aussi plusieurs routes. Le cours d'eau de la Suze (à gauche sur la figure 15) présente quant à lui des débordements moins impactant pour cette crue.

III.1.3.2 La crue cinquanteennale

La crue cinquanteennale ne présente pas une différence importante en termes d'emprise inondable comparé à la crue de retour 10 ans. Nous pouvons quand même constater que certains méandres sont court-circuités (figure 17) rendant l'écoulement plus rectiligne et les vitesses d'écoulements plus importantes.



Figure 17: Exemple de résultat pour la crue cinquanteennale sur le sous modèle de la Gère

III.1.3.3 Crue centennale

Nous pouvons réaliser la même constatation que pour la crue précédente, les emprises inondables de la crue centennale ne sont pas significativement différentes que pour la crue cinquanteennale, bien que l'emprise soit plus importante. Les territoires vulnérables sont donc similaires pour les trois crues, bien que le risque augmente en diminuant l'occurrence de la crue.

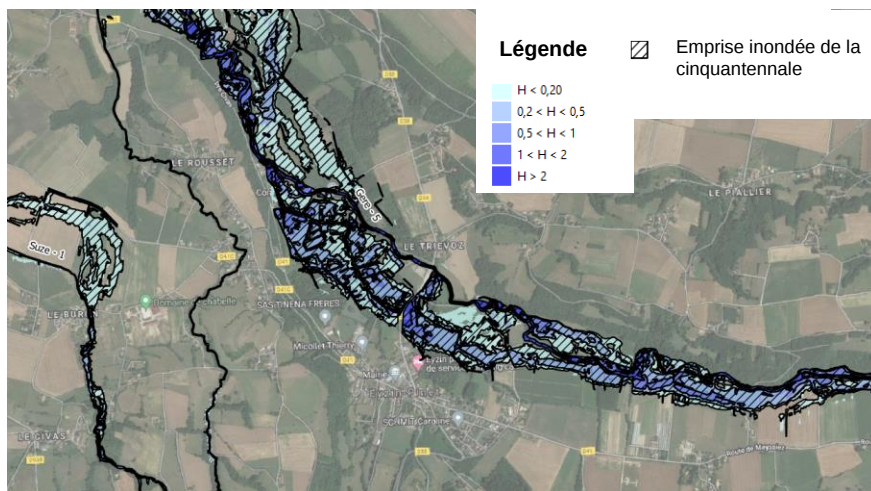


Figure 18 : Exemple de résultat pour la crue centennale sur le sous modèle de la Gère

III.1.4 Sous-modèle de la Vésonne

III.1.4.1 Crue décennale

Dès la crue décennale, nous pouvons observer de nombreux secteurs touchés en zones urbaines et industrielles (figure 19).

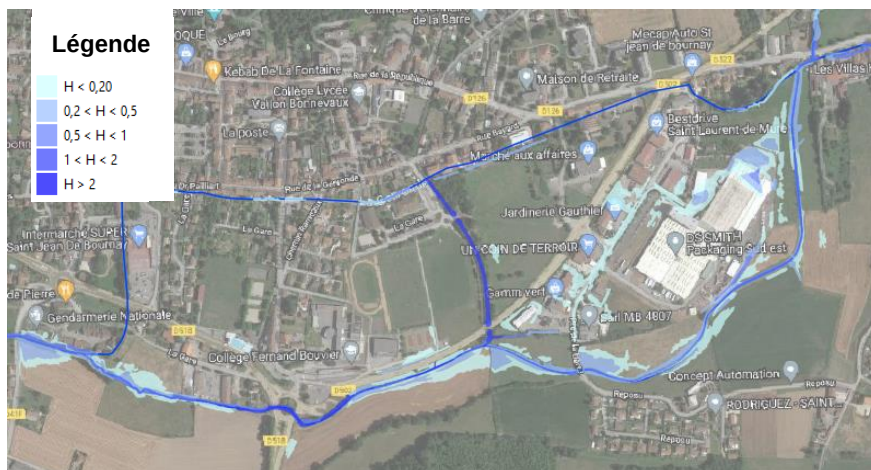


Figure 19 : Exemple de résultat pour la crue décennale sur le sous modèle de la Vésonne

III.1.4.2 Crue cinquantennale



Figure 21 : Exemple de résultat pour la crue cinquantennale sur le sous modèle de la Vésonne



Figure 20 : Exemple de résultat pour la crue cinquantennale sur le sous modèle de la Vésonne

La crue cinquantennale sur la Vésonne fait apparaître de nombreux désordres sur le territoire. Si les secteurs déjà touchés pour la crue décennale le sont encore plus sur la crue cinquantennale, on note l'apparition de nouveaux secteurs touchés, comme en figure 21, où le centre-bourg de Saint Jean de Bournay est sérieusement impacté.

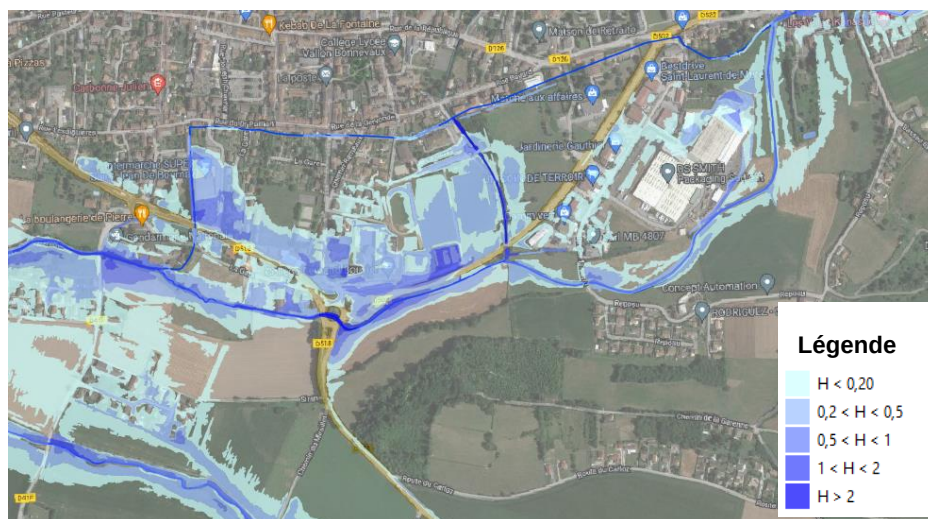


Figure 22 : Exemple de résultat pour la crue cinquantennale sur le sous modèle de la Vésonne

A l'aval, des débordements généralisés peuvent être observés, impactant de nombreuses zones urbanisées (figure 22).

III.1.4.3 Crue centennale

Les emprises de la crue centennale correspondent aux emprises de la crue cinquantennale avec une emprise légèrement plus importante (figure 23). Une nouvelle commune est cependant impactée comparé à la crue précédente, celle de Moidieu (figure 24).



Figure 23: Exemple de résultat pour la crue centennale sur le sous modèle de la Vésonne

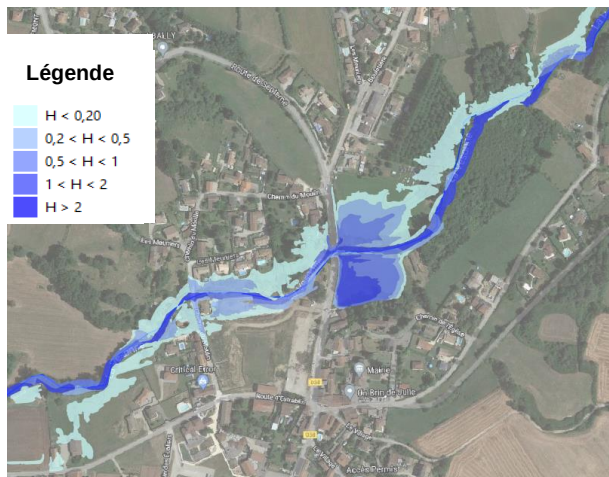


Figure 24: Exemple de résultat pour la crue centennale sur le sous modèle de la Véronne

Pour résumer, certains secteurs du bassin versant sont plus vulnérables que d'autres face aux inondations, et peuvent l'être dès la crue de retour 10 ans. Ces secteurs doivent donc être prioritaires pour faire l'objet d'aménagements participant à réduire le risque encouru par les populations et les biens.

Cependant, les autres secteurs ne doivent pas non plus être négligés. Les hauteurs d'eau représentées par les cartographies peuvent être peu précises, comme nous allons le voir avec la partie suivante dédiée au calage du modèle, qui montre que certains secteurs présentent une fiabilité plus ou moins importante en termes de hauteurs d'eau ou d'emprise inondable. Cette imprécision peut être impactante si elle ignore un secteur à risque en minimisant les hauteurs d'eau présentes. Pour choisir les secteurs sur lesquels agir, il ne faut donc pas seulement se baser sur les résultats du modèle hydraulique, mais aussi sur les données historiques et les événements passés, comme nous allons le voir dans la partie suivante.

III.2 Calage

III.2.1 Calage du sous-modèle de la Sévenne

Les crues de 1999, 1993 et 2008 ont été estimées et modélisées dans le but de réaliser le calage de la Sévenne. Les hauteurs d'eau obtenues grâce à la simulation sont comparées aux hauteurs d'eau réellement observées lors de ces événements. Les résultats sont résumés dans le tableau 4 :

	Objectifs	Résultats	Commentaire
Crue 1999	241.3 m NGF sur le profil n°16 235.3 m NGF sur le profil n°22	241.56 m NGF sur le profil n°16 235.96 m NGF sur le profil n°22	Les résultats obtenus sont 30 à 70 cm au-dessus du niveau d'eau attendu
Crue 1993	Emprise inondable équivalente à celle attendue	Cohérent	/
Crue 2008	Niveau d'eau de 0.5 m à 0.8 m sur le lotissement du Plan	Niveau d'eau de 0.1 à 0.5 m sur le lotissement du Plan	Les résultats obtenus sont 30 à 40 cm en dessous de ce qui est attendu

Tableau 4 : Calage du sous-modèle de la Sévenne

Au regard des résultats, les coefficients de Strickler sont considérés calés pour ce modèle, car augmenter ou diminuer le coefficient de Strickler sur cette zone accentuerait les différences de hauteur d'eau entre résultats attendus et obtenus pour l'une des deux crues (1999 et 2008).

De plus, les débits utilisés pour la crue de 1999 avaient été estimés dans le cadre d'une étude précédente, et non mesurés lors de l'événement : le débit peut avoir été surestimé lors de cette étude, ce qui est une explication probable de la différence entre les résultats. Concernant la crue de 2008, la présence d'embâcles pourrait aussi expliquer la difficulté à atteindre les niveaux souhaités.

De manière générale, les résultats de calage sur la Sévenne ne sont pas entièrement satisfaisants. Cependant, les données initiales de calage étaient approximatives puisqu'elles ne présentent pas de données complètes de débits associés à des hauteurs d'eau.

III.2.2 Calage du sous-modèle de la Véga

Pour le calage du sous-modèle de la Vega, les crues de 1983, 1993 et 2008 ont été utilisées. Le niveau d'eau obtenu par modèle à partir de ces simulations est ensuite comparé aux niveaux observés (tableau 5).

	Objectifs	Résultats	Commentaire
Crue 1983	5 niveaux d'eau en mètre (cote NGF) à atteindre	41.2 cm de différence en moyenne	
Crue 2008	Données sur 3 ouvrages hydrauliques (ponts), dont un en charge et deux dont la hauteur d'eau avant surverse est donnée	2 résultats sur 3 sont similaires à ceux attendu	
Crue 1750 /1856	1750 : cote à atteindre en mètre NGF au niveau de la ville de Vienne 1856 : cote à atteindre en mètre NGF au niveau de la ville de Vienne	Cette cote est obtenue pour un débit de 420 m ³ /s Cette cote est obtenue pour un débit d'environ 120 m ³ /s sur l'aval de la Gère	Correspond à un débit très important (environ Q100) Correspond à une crue de période de retour inférieure à 10 ans

Tableau 5 : Calage du sous-modèle de la Véga

Pour la crue de 1983, les résultats mesurés sont assez éloignés de ceux attendus (41.2 cm de différence en moyenne, les différences de résultats se situent entre 3 cm et 1m). Plusieurs paramètres peuvent expliquer cette différence :

- Influence de la micro topographie, non représentée dans les modèles ;
- Influence de la condition aval (représentée dans le modèle par le niveau bas du Rhône).

La crue de 2008 présente des résultats satisfaisants, cohérents avec ceux mesurés par le modèle, sauf pour un ouvrage qui montre une différence de +13 cm de hauteur d'eau avec le résultat attendu.

Pour les crues de 1750 et de 1856, les débits correspondants n'étaient pas donnés, ils ont donc été évalués grâce au modèle hydraulique, en mettant en correspondance les périodes de retour et les débits correspondant pour atteindre le niveau d'eau réellement mesuré lors de ces événements. L'estimation de la période de retour est une crue de retour 100 ans pour la crue de 1750 et une crue de retour 10 ans pour la crue de 1856. Ces estimations serviront par la suite pour le calage des deux autres sous-modèles, la Gère et la Vésonne.

Les crues de 1750 et de 1856 ne peuvent pas servir réellement de calage pour le modèle de la Véga, puisque les débits ont été estimés par rapport à ce modèle. Le choix a donc été fait de ne pas changer le coefficient de rugosité, les données de calage n'étant pas assez précises pour réaliser un changement fiable.

III.2.3 Calage du sous-modèle de la Gère

Les crues de 1983 et 2014 ont été utilisées pour le calage du modèle de la Gère. Les débits de la crue de 1983 ont été évalués à partir de l'estimation réalisée avec le sous-modèle de la Véga. Aucune laisse de crue n'était disponible sur la Gère, il a donc fallu réaliser le calage par comparaison avec l'enveloppe de la zone inondable historique de 1983 (un exemple est montré sur la figure suivante, l'enveloppe inondable de 1983 est indiquée en rouge). Les débordements de la Vésonne ne sont pas modélisés sur l'illustration car ils dépendent d'un autre sous-modèle, celui de la Vésonne.

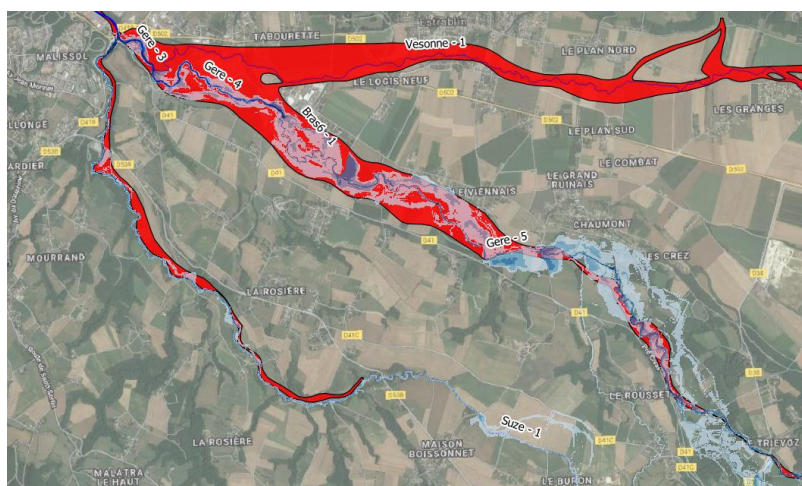


Figure 25: Comparaison des enveloppes inondables sur la Gère

On remarque un nombre assez important de différences entre les géométries de ces deux emprises, qui peuvent être expliquées par plusieurs hypothèses :

- La modification de la morphologie du lit mineur par rapport à l'état actuel ;
- L'emprise de 1984 n'est pas exhaustive, et ne prend peut-être pas en compte les faibles hauteurs d'eau.

Une fois encore, des données manquent pour réaliser un calage satisfaisant sur la Gère. Les résultats de la comparaison des zones inondables ne permettent pas un ajustement adéquat du coefficient de frottement, il n'a donc pas été modifié.

III.2.4 Calage du sous-modèle de la Vézonne

Pour ce sous-modèle, le calage s'est appuyé sur la crue de 1983, pour laquelle 3 laisses de crues étaient disponibles. Comme pour le sous-modèle de la Gère, les débits utilisés sont ceux estimés précédemment. Les résultats sont résumés ci-dessous :

	Objectifs	Résultats	Commentaire
Zone 1 – rue de la Vézonne à Estranblin	Repère amont : 218,04 mNGF Repère aval : 219,6 mNGF	219,46 mNGF 218,70 mNGF	Différence de 140 cm Différence de 90 cm
Zone 2 – amont RD502	Repère rive gauche : 212,08 mNGF Repère rive droite : 212 mNGF	212,00 mNGF 212,14 mNGF	Différences de 8 mm et de 14 cm
Zone 3 – amont route de la Bougie	202,98 mNGF	202,88 mNGF	Différence de 10 cm

Tableau 6 : Calage du sous-modèle de la Vézonne

Après comparaison entre les résultats attendus et obtenus, on obtient des niveaux d'eau cohérents pour les zones 2 et 3. Les différences observées en zone 1 peuvent s'expliquer par une incertitude sur les débits et sur la localisation du repère de crue qui n'est peut-être pas entièrement fiable.

La proximité des résultats entre ceux attendus et mesurés sont jugés assez satisfaisants pour ne pas avoir à modifier le coefficient de rugosité.

Pour les 4 sous-modèles, dont le calage a été plus ou moins satisfaisant, le choix a été fait de ne pas ajuster le coefficient de rugosité. Dans certains cas, il a été jugé adéquat aux vu de la proximité des valeurs des résultats attendus et mesurés (modèle de la Vésonne). Sur le modèle de la Sévenne, un ajustement positif ou négatif du coefficient de frottement aurait accentué les différences de résultats pour l'une des deux crues de calage. Dans d'autres cas (sous-modèle de la Gère et de la Véga) les données concernant les crues historiques étaient trop faibles pour pouvoir réaliser un calage satisfaisant.

III.3 Etude de sensibilité sur la Sévenne amont et sur la Gère aval

III.3.1 Sévenne amont

Les différences de hauteurs d'eau entre les deux jeux de coefficients pour la crue centennale ont été mesurées. En amont du modèle, ces différences sont légères (de 0 à 3 cm en moyenne) et augmentent en aval (jusqu'à 10 cm pour les plus conséquentes).

Les différences de hauteurs d'eau pour le profil aval sont représentées dans le graphique suivant :

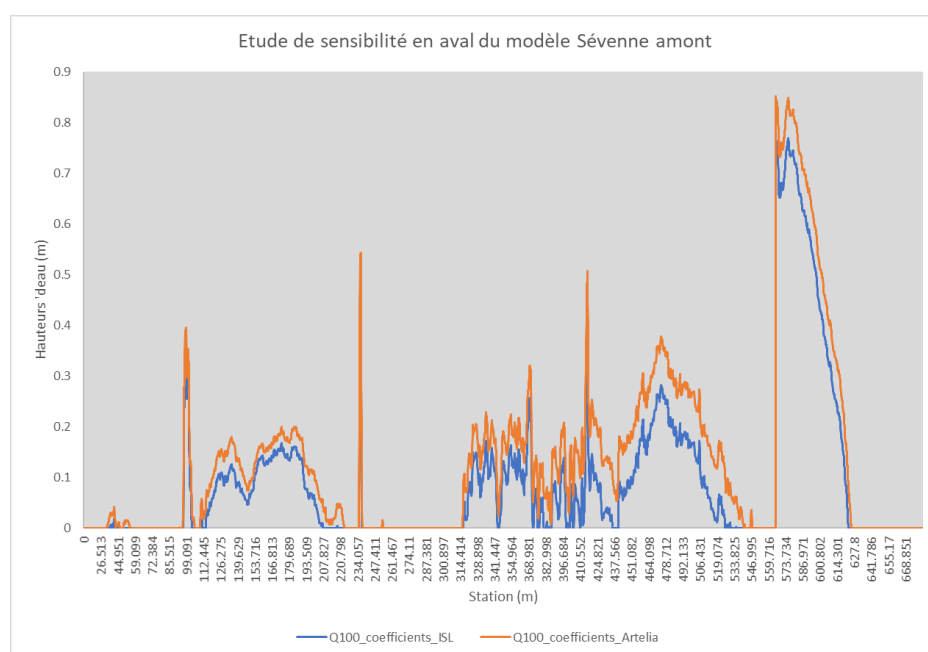


Figure 26 : Résultats du test de sensibilité sur Sévenne amont

III.3.2 Gère aval

Sur le modèle de la Véga, qui intègre la partie aval de la Gère, notamment en aval de la confluence avec la Véga, un test de sensibilité a aussi été mis en place au niveau du coefficient de rugosité en lit mineur. Ce dernier, fixé initialement à 25, comme sur le reste du modèle, a été testé avec une valeur de 27, comme cela est le cas sur le lit mineur de la Sévenne à Vienne (aval de la Sévenne).

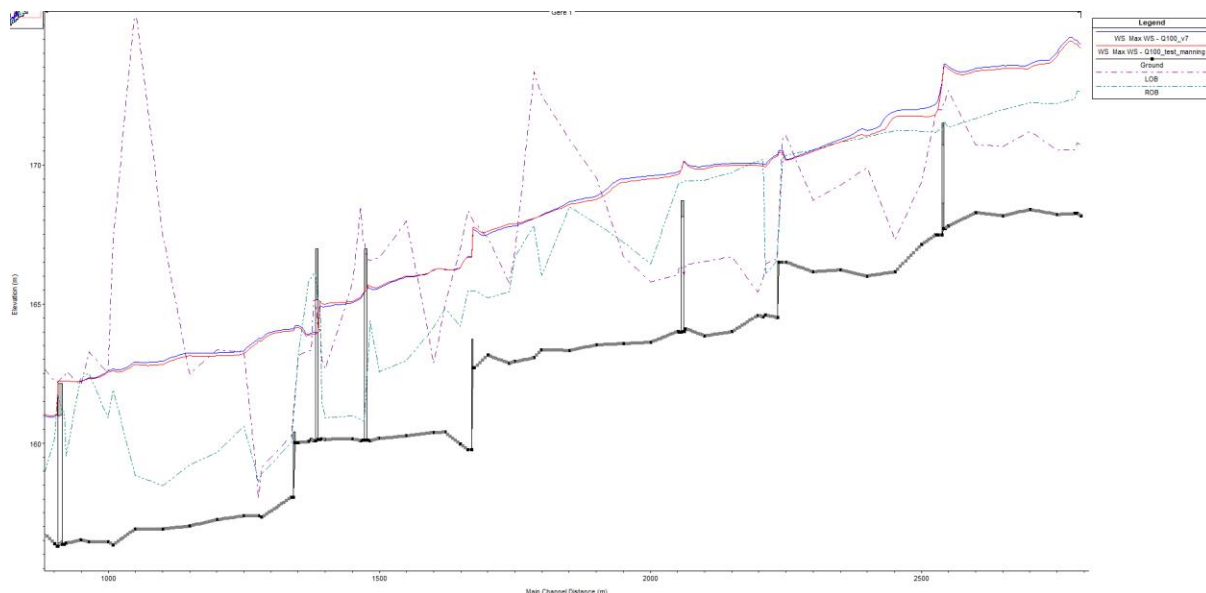


Figure 27: : Résultats du test de sensibilité sur Gère aval

Sur la figure 27 représentant le linéaire allant de la confluence avec la Véga jusqu'à la confluence avec le Rhône, la courbe rouge représente la ligne d'eau obtenue pour la crue centennale avec un coefficient en lit mineur de 27 et la courbe bleu la ligne d'eau pour un coefficient de 25.

Les différences oscillent entre 5 et 10 cm en moyenne avec un maximum localement de 30 cm, ce qui est similaire en ordre de grandeur aux différences constatées pour le choix du coefficient en lit majeur sur la Sévenne.

Le test de sensibilité semble donc satisfaisant puisqu'on obtient des différences de hauteurs d'eau peu significatives, aussi bien pour la Gère que pour la Sévenne, ce qui prouve la robustesse du modèle hydraulique.

CONCLUSION

L'étude des inondations sur ce territoire avait donc pour but d'évaluer les risques liés à cette problématique, pour pouvoir mieux comprendre la dynamique et agir en conséquence. Les résultats de cette étude ont montré quels étaient les secteurs les plus vulnérables. Plusieurs secteurs à enjeux importants ont été mis en avant, et peuvent être proposés comme prioritaires pour la proposition de scénarios d'aménagements futurs, partie à laquelle je n'ai malheureusement pas pu participer, puisqu'elle se déroulera après la fin de mon stage. Cette étude a aussi montré quelle validité il fallait donner à ces résultats, qui ne sont pas toujours entièrement fiables en termes de hauteurs d'eau ou d'emprise inondable. Cela prouve que le modèle hydraulique est très utile pour comprendre le territoire, la dynamique globale des inondations, mais ne devrait pas servir de seul support pour les décisionnaires, car les imprécisions du modèle peuvent être importantes sur certains secteurs.

Lors de ce stage, j'ai eu la chance de travailler sur de nombreuses affaires différentes, voir de multiples types de modèles HEC-RAS et de participer à l'élaboration d'un modèle à toutes ses étapes de construction. Cela m'a permis d'acquérir de nombreuses compétences pratiques en modélisation hydraulique, et de compléter la formation HEC-RAS donnée lors de mon cursus, dispensée uniquement sur des modèles de type 1D. J'ai aussi approfondi mes connaissances globales sur la gestion de cours d'eau, la dynamique des inondations, l'hydromorphologie, et la renaturation de cours d'eau. Grâce à ce stage, j'ai aussi pu acquérir des compétences pluridisciplinaires en termes de savoir être, de capacité rédactionnelle, de synthèse et d'analyse.

BIBLIOGRAPHIE

Desbordes, M. (1994). 17.-Principales causes d'aggravation du risque d'inondation par ruissellement pluvial en milieu urbanisé. *Journées de l'hydraulique*, 23(2), 487-492.

Dupont, N., Valy, J. & Inserguet, J.-F. (2008). *Les logiques d'urbanisation dans les plaines alluviales du bassin versant de la Vilaine (Bretagne, France)*. *Environnement Urbain / Urban Environment*, 2, 21–32. <https://doi.org/10.7202/019219ar>

Ledoux, B. (2006). *La gestion du risque inondation*. Éditions Tec & Doc.

Scarwell, H. J., & Laganier, R. (2004). *Risque d'inondation et aménagement durable des territoires* (Vol. 916). Presses Univ. Septentrion.

Etude globale de la gestion des inondations sur le bassin versant des 4 vallées

Résumé : L'étude globale des inondations sur le bassin versant des 4 vallées a été réalisée grâce à un modèle hydraulique HEC-RAS de type 1D/2D. Elle a servi à réaliser une cartographie complète des emprises inondables sur l'ensemble du bassin, pour différentes occurrences de crues, allant de la Q10 à la Q500. La suite de l'étude consiste en la proposition de scénarios d'aménagements localisés sur les secteurs identifiés comme à risque lors de la première phase de l'étude.

Mots Clés : Risque inondation, aléa, gestion de cours d'eau, modélisation hydraulique, HEC-RAS, morphologie fluviale

ISL ingénierie

84 Bd Marius Vivier Merle, 69003 Lyon

Tuteur entreprise :

David COLLOMB, ingénieur en hydraulique et morphologie fluviale et torrentielle

Tuteur académique :

Pierre PEETERS