



HAL
open science

Diagnostic de vulnérabilité des stations de pompage du réseau d'eaux usées du SIVOA situées en zones inondables

Momtez Bouzouraa

► **To cite this version:**

Momtez Bouzouraa. Diagnostic de vulnérabilité des stations de pompage du réseau d'eaux usées du SIVOA situées en zones inondables. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2018. dumas-02060787

HAL Id: dumas-02060787

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02060787>

Submitted on 7 Mar 2019

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.

Diagnostic de vulnérabilité des stations de pompage du réseau d'eaux usées du SIVOA situées en zones inondables



Secteur du Rossay à Savigny sur Orge le 2 juin 2016

Source : SIVOA

Travail présenté pour l'obtention du Mastère spécialisé Eau Potable et Assainissement

Tuteur professionnel : M. Fares Aouichat

Tuteur pédagogique: M. Pascal Finaud-guyot

Travail réalisé par : M. Momtez Bouzouraa

Présenté le 20 Novembre 2018

Remerciements

Je tiens à remercier dans un premier temps, toute l'équipe pédagogique de l'Ecole Nationale de Génie de l'Eau et de l'Environnement (ENGEES) et les intervenants responsables de la formation mastère spécialisée Eau Potable et assainissement (EPA) pour avoir assuré la partie théorique de celle-ci.

Je remercie également mon tuteur de stage, Monsieur Farés AOUICHAT, ingénieur chargé de projets en eau et assainissement au sein du bureau d'étude Elvia Group pour son aide et ses conseils concernant les missions évoquées dans ce projet qu'il m'a apportés lors des différents suivis.

Je voudrais aussi remercier tous le personnel d'Elvia group pour leur soutien et leur encouragement tout au long de ce travail.

Merci également à mes collègues de la formation qui m'ont aidés et soutenu pendant ma formation à l'ENGEES et pendant en ce stage.

Résumé

Diagnostic de vulnérabilité des stations de pompage du réseau d'eaux usées du SIVOA situées en zones inondables

Les stations des pompes ont un rôle primordiale dans le réseau d'assainissement c'est pour cela il faut les protéger pour assurer la continuité de fonctionnement même dans des conditions défavorable comme les inondations.

Dans le présent travail, j'ai fait l'étude de diagnostic de vulnérabilité de cinq stations de pompage du SIVOA situées en zones inondables. Plus particulièrement, j'ai réalisé un audit pour les cinq sites pour comprendre le fonctionnement des stations, leurs équipements et leurs localisations. Ensuite j'ai réalisé un modèle hydraulique pour définir les aléas auxquels sont soumis les stations de pompage. Enfin j'ai participé au plan d'action pour la réalisation des aménagements pour protéger les stations de pompage.

Pour aboutir à une étude adéquate, j'ai fait intervenir des outils informatiques en utilisant le logiciel QGIS pour la création du Modèle Numérique du Terrain et le logiciel HEC-RAS pour la modélisation hydraulique.

Les mots clés : Protection contre les inondations – Modélisation Hydraulique – Station de Pompage – Réduction de vulnérabilité.

Abstract

Vulnerability diagnosis of the pumping stations of the SIVOA wastewater network situated in flood areas

Pumping stations have a vital role in the sanitation network, which is why they must be protected to ensure continuity of operation even under unfavorable conditions such as floods.

In This work, I did the vulnerability diagnostic study of five SIVOA pumping stations located in flood zones. More specifically, I conducted an audit for the five sites to understand the operation of the stations, their equipment and their locations. Then the creation of a hydraulic model as well as the realization its rigging and the validation of model. Finally, I suggest a proposal of the facilities to protect the pumping stations.

To make sure of presenting a thorough study, I used prominent softwares such as QGIS for the creation of the Digital Elevation Model and HEC-RAS for the hydraulic modeling.

Key words: protection against floods - hydraulic modeling - pump station - vulnerability reduction.

Sommaire

Résumé.....	3
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS.....	6
LISTE DES TABLEAUX.....	7
LISTES DES FIGURES	7
INTRODUCTION.....	8
I. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE	9
II. CONTEXTE DE L'ETUDE.....	10
1. SIVOA	10
2. CONTEXTE HYDROLOGIQUE	11
3. OBJECTIF DE L'ETUDE.....	12
III. METHODOLOGIE	13
1. DIAGNOSTIC DES INSTALLATIONS.....	14
2. MODELE NUMERIQUE DU TERRAIN	14
2.1. QUANTUM GIS	14
2.2. CREATION DU MNT	15
2.3. CORRECTION DU MNT	17
3. MODELISATION HYDRAULIQUE.....	18
3.1. HEC-RAS.....	19
3.2. MODELE 1D-2D.....	20
3.2.1. CREATION DE LA GEOMETRIE 1D	20
3.2.2. CREATION DE LA ZONE 2D	23
3.3. MODELE 2D	24
3.3.1. LES OUVRAGES HYDRAULIQUES DANS LE MODELE 2D	26
3.4. HYDROLOGIE DU MODELE.....	27
3.4.1. CONDITIONS AUX LIMITES AMONT.....	27
3.4.2. CONDITIONS AUX LIMITES AVAL.....	28
3.5. CALAGE ET VALIDATION DU MODELE	29
3.6. HYDROLOGIE DE L'EVENEMENT	29
3.6.1. DONNEES HYDROMETRIQUES SUR L'ORGE	29
3.6.2. DEROULEMENT DU CALAGE	32
3.7. DETERMINATION DE L'ALEA	33
3.8. EVALUATION DE LA VULNERABILITE DES STATIONS DE POMPAGES	34
IV. RESULTAT ET DISCUSSION	35
1. RESULTAT DE CALAGE.....	35
2. RESULTAT DE DETERMINATION DE L'ALEA	38

3. PROPOSITION DES AMENAGEMENTS	40
3.1. BATARDEAUX ANTI CRUE	40
3.2. LES PORTES ET LES FENETRES ETANCHES	41
3.3. L'ELECTRICITE	41
3.4. LES GROUPES ELECTROGENES	42
3.5. SYSTEME D'ALERTE INONDATION	42
3.6. LES AMENAGEMENTS PRECONISES POUR LE SITE DE CAMELINAT	42
CONCLUSION	44
BIBLIOGRAPHIE	45
Annexes	46

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

BV : Bassin Versant

CatNat : Catastrophe Naturel

CEPRI : Centre Européen de Prévention du Risque Inondation

EPRI : Evaluation Préliminaire des Risques d'Inondation

HEC-RAS: Hydrologic Engineering Centers River Analysis System

MNT : Modèle Numérique du Terrain

PPRI : Plan de Prévention du Risque Inondation

QGIS : Quantum Geographic Information System

SIG : Système d'Information Géographique

SIVOA : Syndicat Mixte de la Vallée de l'Orge Aval

VCN3 : Volume Consécutif Minimale pour 3 jours

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Débits de pointe des hydrogrammes synthétiques injectés à Morsang-sur-Orge.....	28
Tableau 2: Définition des cotes de Seine en aval du modèle hydraulique	29
Tableau 3 : Classification des classes de hauteur.....	33
Tableau 4: Classification des classes de vitesses.....	33
Tableau 5: Classification des classes d'aléa.....	33
Tableau 7 : Type d'aléa par station	39

LISTES DES FIGURES

Figure 1: Bassin versant de l'orge (source : SIVOA).....	10
Figure 2: Les Communes du SIVOA (source : SIVOA)	11
Figure 4 : Débit moyen mensuel enregistré au niveau de la station Morsang sur orge (en m ³ /s) (source : banque Hydro).....	12
Figure 5 : Plan de situation des stations.....	13
Figure 6: Station de pompage Haute Borne.....	14
Figure 7: Interface du QGIS 3.2.0	15
Figure 8: Algorithme Natural Neighbour.....	16
Figure 9 : MNT de la zone d'étude créé sur QGIS.....	17
Figure 10 : Terrain sans murette	Figure 11: Terrain avec murette . 18
Figure 12 : Profil en travers modifié.....	18
Figure 13: Interface de HEC-RAS 5.0.3	19
Figure 14: Exemple de Modélisation 1D-2D sur HEC-RAS (Source HEC-RAS Manuel User).....	20
Figure 15 : L'interface de l'extension RIVERGIS	21
Figure 16 : Les bases de données à choisir sur RIVERGIS pour le projet SIVOA.....	22
Figure 17: Profil en travers tracé sur RIVERGIS et importé sur HEC-RAS	22
Figure 18: Pont crée sur la morte rivière.....	23
Figure 19 : Paramétrage de la structure latérale	24
Figure 20: exemple de maillage.....	25
Figure 21 : Exemple de renforcement du maillage	26
Figure 22: Création des ponts dans la zone 2D	26
Figure 23: Zone d'injection des hydrogrammes en tête du modèle	27
Figure 24 : Hydrogrammes synthétiques injectés à Morsang-sur-Orge	28
Figure 25: Hydrogramme à Morsang/Orge	30
Figure 26: Localisation des échelles du SIVOA	30
Figure 27 : Mesures de niveau sur l'Orge et la Morte rivière - Crue de 2016.....	31
Figure 28: Carte d'occupation de sol.....	32
Figure 29: Les hauteurs d'eau au niveau d'E16 et E33.....	35
Figure 30 : Résultat du Calage au niveau des stations E33, E16 et E17	37
Figure 31 : Vue en plan de la zone inondé pour la crue T100 ans	38
Figure 32 : Exemple de fonctionnement de Batardeau (source MSEI)	40
Figure 33 : Porte étanche (source : ESTHI).....	41

INTRODUCTION

L'inondation est une submersion, rapide ou lente d'une zone, due à un phénomène naturel plus ou moins influencé par l'activité humaine, mais certaines inondations peuvent avoir pour seule origine des défaillances d'ouvrages (ruptures de barrages par exemple)¹.

Le risque inondation est considéré parmi les premiers risques naturels en France. Les inondations peuvent entraîner la paralysie économique d'un territoire. La réparation ou la reconstruction des biens (privés ou publics) détruits ainsi que les dommages sur les différents réseaux (transports, télécommunications, eau, énergie). Ainsi, le coût annuel de ce risque est estimé actuellement en France à 400 millions d'euros². De plus 17,1 millions de personnes en France sont des résidents permanents en zone inondable³.

De ce fait, plusieurs organismes intervenant dans ce domaine en France commencent à établir des stratégies pour réduire l'impact de ce risque. Dans ce cadre, le Syndicat Mixte de la Vallée de l'Orge Aval a décidé de protéger ses stations de pompes situées en zone inondables contre le risque de l'inondation.

Le présent rapport est une synthèse du Travail de fin d'études, effectué durant la période qui s'est étalée de mai à novembre 2018 au sein du bureau d'études Elvia Group. Ce projet conclut le cycle de maîtrise spécialisé Eau Potable et Assainissement à l'ENGEES. Il s'agit de mettre en œuvre mes connaissances acquises et de monter mes capacités décisionnelles et organisationnelles.

Ce travail s'articule autour de quatre points. Le premier consiste à une présentation du contexte d'étude en présentant le syndicat de l'Orge et en analysant le contexte hydraulique et hydrologique de la rivière l'Orge. Le deuxième se focalise sur la démarche suivie dans ce projet dans la phase de création du modèle hydraulique, calage du modèle. Le troisième est une analyse critique et présentation des résultats. Enfin la phase de propositions des aménagements pour réduire la vulnérabilité de cinq stations de pompage situées en zone inondable sera abordée.

¹Source : Géo risque France

²Source : CatNat

³Source : EPRI 2011

I. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

Elvia Group est un bureau d'études créé en 2011 par William Bourgeois, son directeur général, qui est réparti sur 3 agences : une qui est le siège social, située en région parisienne à Cachan, et deux agences déployées en province, une agence Grand Ouest qui se trouve à Rennes, et une agence sud-est basée à Montpellier. La société Elvia Group opère au niveau de 3 pôles d'expertise et d'accompagnement des collectivités, des services étatiques et des industriels, qui sont :



La Maîtrise des risques, qu'il s'agisse de risques industriels, de risque incendie, du domaine de la sûreté publique et industrielle, l'ingénierie nucléaire ou la continuité d'activité ;

La Protection de l'environnement, par la réalisation d'études d'impacts environnements, d'analyse acoustique et vibratoire, d'études de la dispersion atmosphérique, de l'analyse des sites et sols pollués, ainsi que d'études hydrauliques et d'assainissement ;



Le développement territorial, au travers de la planification territoriale, des aménagements et des bâtiments, du développement durable ou de l'urbanisme.

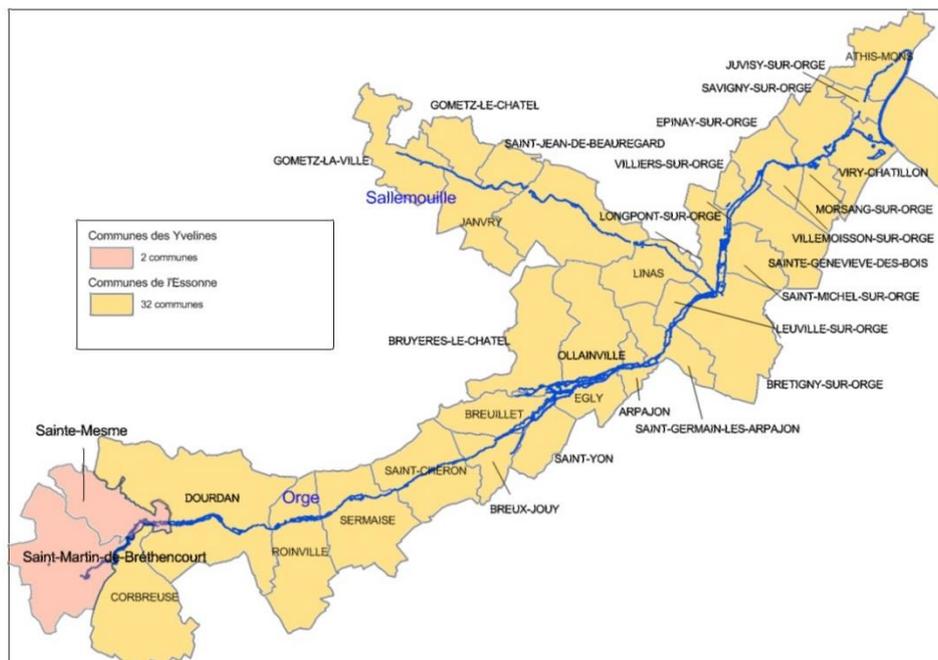


Figure 2: Les Communes du SIVOA (source : SIVOA)

2. CONTEXTE HYDROLOGIQUE

Le bassin versant de l'Orge prend sa source à Saint-Martin-de-Bréthencourt, dans le département des Yvelines. L'Orge est une rivière de plaine, elle conflue en rive gauche de la Seine au niveau de la commune d'Athis-Mons. En période de crue, le débit principal de l'Orge est envoyé vers la Morte Rivière à l'aide d'une vanne automatisée située sur la commune de Viry-Châtillon. L'Orge draine un bassin versant d'environ 952 km².

L'Orge est soumise à deux types d'inondation :

- crue estivale liée aux précipitations de forte intensité sur de courte durée.
- crue hivernale liée aux précipitations d'intensité faible à moyenne sur une longue durée.

L'Orge est une rivière qui s'étend sur un linéaire de 53 Km. Son débit a été enregistré sur une période de 52 ans (1967-2018) au niveau de la station de Morsang-sur-Orge située au département de l'Essonne à peu de distance de son confluence avec la Seine.

Le débit régulier de la rivière à Morsang-sur-Orge est de 3,9 m³/s. L'Orge présente des fluctuations saisonnières de débit, avec des hautes eaux d'hiver-printemps portant le débit mensuel moyen à un niveau de 4,45 à 6,02 m³/s, de décembre à début mai inclus (avec un maximum en janvier-février), et des basses eaux d'été de juillet à septembre avec un minimum mensuel moyen de 2,21 en août (voir histogramme ci-dessous)¹.

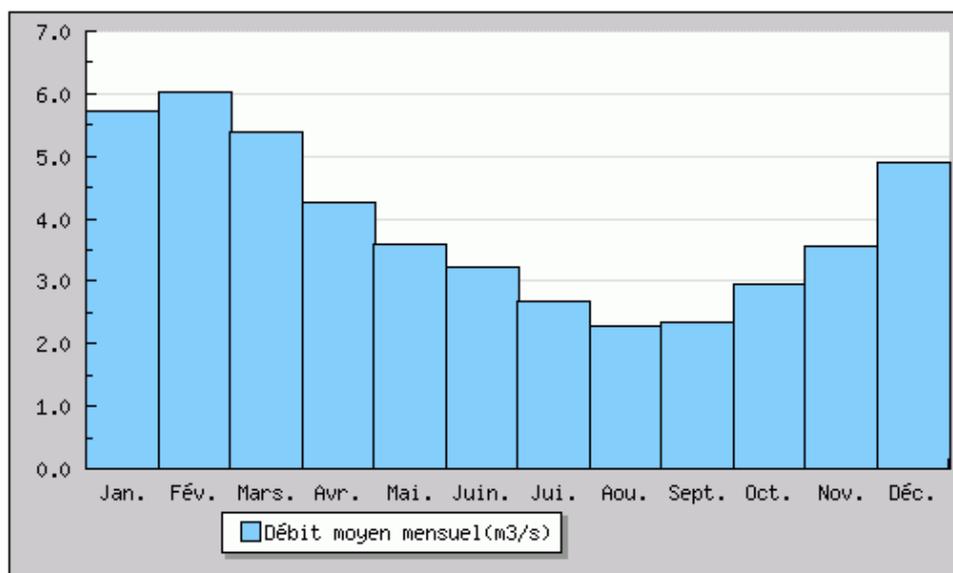


Figure 3 : Débit moyen mensuel enregistré au niveau de la station Morsang sur orge (en m³/s) (source : banque Hydro)

En période d'étiage, le VCN3 peut chuter jusque 1,1 m³/s, en cas de période quinquennale sèche mais reste cependant assez élevé comparé à la grande majorité des cours d'eau de France¹.

Bien que la superficie du bassin versant de l'orge est deux fois moins que la superficie du bassin versant de son voisin l'Essonne. Les crues de l'orge sont assez importantes par rapport les crues de l'Essonne en créant des risques d'inondations sur des parties de son bassin. Ainsi, le débit maximal enregistré était à 42.2 m³/s en 1^{er} mars 1978

3. OBJECTIF DE L'ETUDE

La crue de juin 2016 sur le bassin versant de l'Orge a permis au SIVOA d'identifier des lacunes de connaissances concernant l'impact des crues de l'Orge et de la Seine sur les stations de pompage ainsi que sur les moyens techniques et organisationnels permettant soit le maintien du fonctionnement de l'ouvrage, soit un retour à la normale optimisé suite à une crue.

Le diagnostic de vulnérabilité des stations de pompage du réseau d'eaux usées en zones inondables est donc motivé par ces différents constats.

L'objectif de cette action est de réaliser un diagnostic de vulnérabilité des stations situées en zone inondable et de prévoir des travaux afin de maintenir le fonctionnement normal de la station, et en cas d'impact, de faciliter la remise en service de l'ouvrage.

¹Source : SIVOA

Le but de cette étude est :

- Création d'un modèle hydraulique,
- Détermination de l'aléa,
- Proposition des préconisations pour réduire la vulnérabilité des stations face au risque inondation.

III. METHODOLOGIE

Cette étude a pour objectif de réduire la vulnérabilité de 5 stations de pompage des eaux usées de SIVOA face au risque d'inondation de l'orge.

Les stations de pompage concernées :

- Haute Borne,
- Camélinat,
- 18 Avril,
- Sablière,
- Complexe anti Crue : P7, Achères, Valenton.

L'emplacement des sites est représenté ci-dessous.

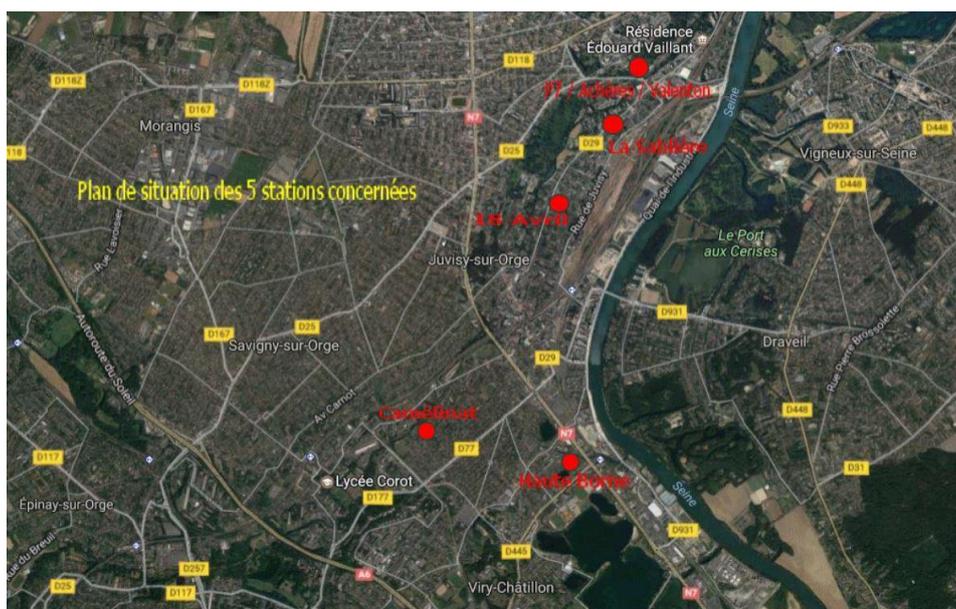


Figure 4 : Plan de situation des stations

La première phase de cette étude consiste à la réalisation de l'état initial des stations de pompage et d'une étude hydraulique. Le travail sera entamé par :

- Un diagnostic de chaque station de pompage,
- La réalisation d'une étude hydraulique afin de déterminer les types de crues et les occurrences de crues impactant les différentes stations de pompage,
- La détermination des aléas pouvant impacter les stations de pompage.

Une fois l'analyse de l'état initial ainsi que l'étude hydraulique réalisée, il y aura comme mission les tâches suivantes :

- La détermination de la sensibilité des éléments composants les stations face au risque inondation pour chaque type d'aléas,
- Propositions des aménagements.

1. DIAGNOSTIC DES INSTALLATIONS

La première tâche du projet était de réaliser l'état initial de ces 5 stations. De ce fait, une visite a été organisée pour identifier l'emplacement des stations, leurs positions par rapport à la rivière et la nature de leurs composants ainsi que la mesure des hauteurs des équipements sensibles qui seront ciblés lors de la proposition des aménagements et la réduction de vulnérabilité face au risque inondation de l'orge.



Figure 5: Station de pompage Haute Borne

2. MODELE NUMERIQUE DU TERRAIN

Le Modèle numérique du terrain (MNT) est une couche raster de la zone d'étude qui sera utilisé dans la phase de modélisation hydraulique. De ce fait, un logiciel de SIG pour l'élaborer.

2.1. QUANTUM GIS

QGIS est un logiciel SIG libre qui a débuté en mai 2002 et s'est établi en tant que projet sur Source Forge en juin 2002. QGIS est utilisable sur la majorité des Unix, MacOs et Windows. QGIS utilise la bibliothèque logicielle Qt et le langage C++, ce qui se traduit par une interface graphique simple et réactive. Il est distribué sous la licence GNU GPL (General Public License). Ceci signifie qu'il est possible d'étudier et de modifier le code source, tout en ayant la garantie d'avoir accès à un programme SIG non onéreux et librement modifiable¹.

¹Source : Manuel d'utilisation de QGIS

Via la bibliothèque GDAL, il gère les formats d'image matricielles (raster) et vectorielles, ainsi que les bases de données.

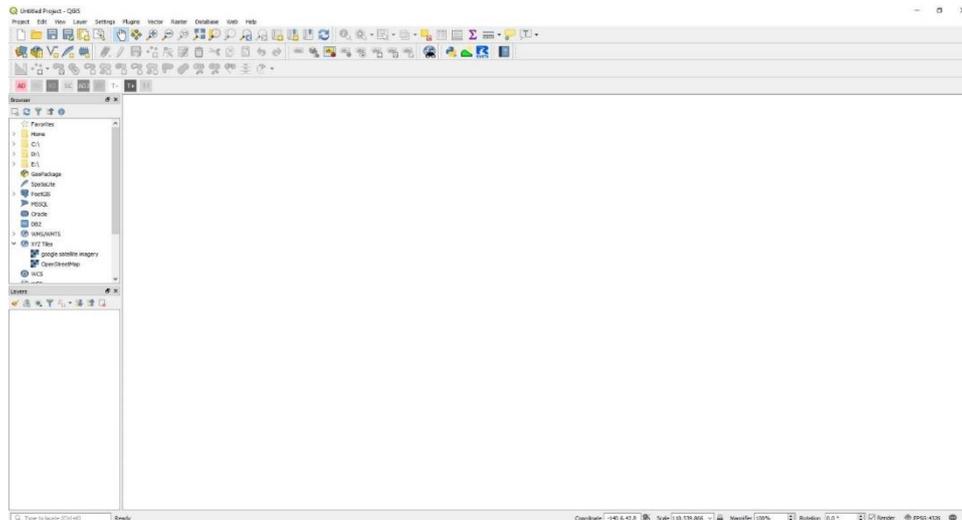


Figure 6: Interface du QGIS 3.2.0

Le logiciel est intégré à la liste des logiciels libres préconisés par l'État français dans le cadre de la modernisation globale de ses systèmes d'informations (S.I.).

2.2. CREATION DU MNT

Les données d'entrée pour la création du MNT sont des planches de LIDAR qui ont été réalisées en 2011 par le syndicat de l'orge. Elles sont sous forme d'ASCII d'où la nécessité de QGIS pour la création de la carte ou MNT. Ces dernières regroupent des points de terrain naturel, de bâtiments et de végétations.

Pour le projet, seules les planches des points de terrain naturel et de bâtiments seront exploitées car les végétations ou les arbres représenteraient un obstacle à l'écoulement et ils seront représentés dans le projet par des surfaces à un coefficient de Manning qui reflète l'écoulement dans les zones végétalisées.

Les coordonnées X et Y sont représentées en système de projection LAMBERT 93 qui est le système de projection officiel de la France.

La création du MNT se fait à travers l'algorithme « NATURAL NEIGHBOUR » du SAGA qui permet de faire l'interpolation spatiale et la création du raster à partir de ces points vecteurs. Il fallait choisir la méthode Sibson pour faire l'interpolation en renseignant l'algorithme sur le paramètre d'interpolation, les minimums et les maximums des X et Y et la taille de cellule.

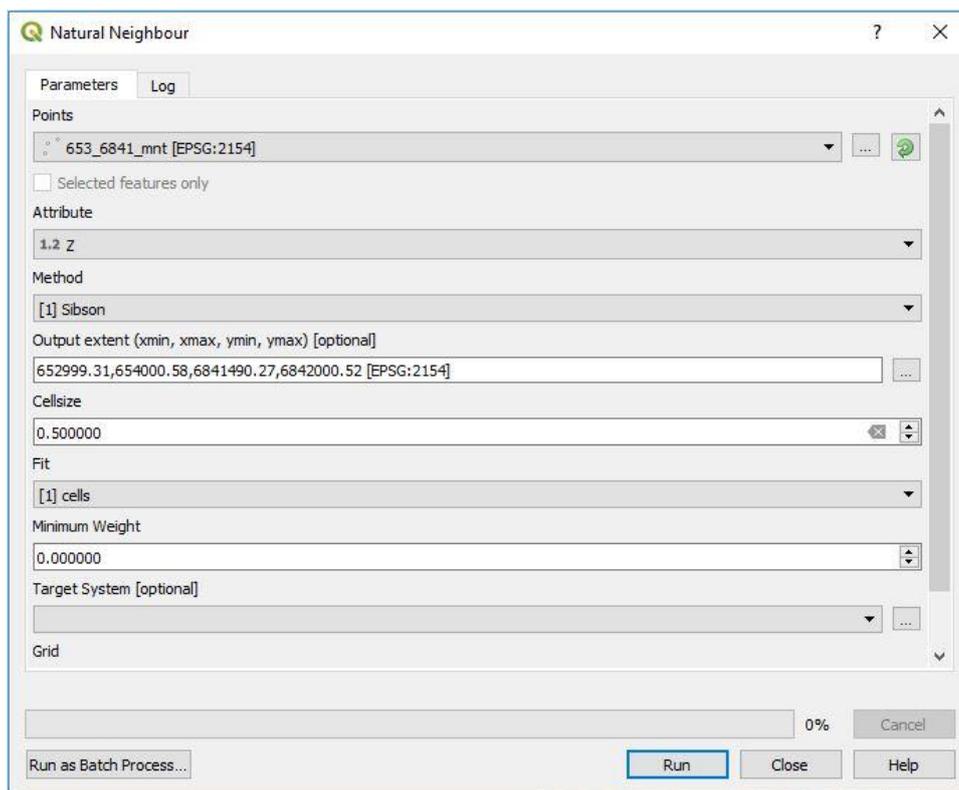


Figure 7: Algorithme Natural Neighbour

Pour le Projet du SIVOA, la taille de cellule a été fixée à 0.5 m pour avoir un MNT fin pour une meilleure représentation de la propagation de l'inondation dans la zone d'étude.



Figure 8 : MNT de la zone d'étude créé sur QGIS

2.3. CORRECTION DU MNT

Le MNT construit issue de LIDAR n'est pas assez fiable pour l'utiliser dans la phase de la modélisation. C'est pour cela, Un nettoyage du MNT est nécessaire pour éliminer les obstacles ou les ouvrages hydrauliques (pont, dalots, seuil, etc.) qui se présentent sur le cours d'eau et qui peuvent perturber le calcul dans la phase de la modélisation. Ainsi, l'ajout des murettes sur la morte rivière qui ne sont pas représentées sur le MNT.

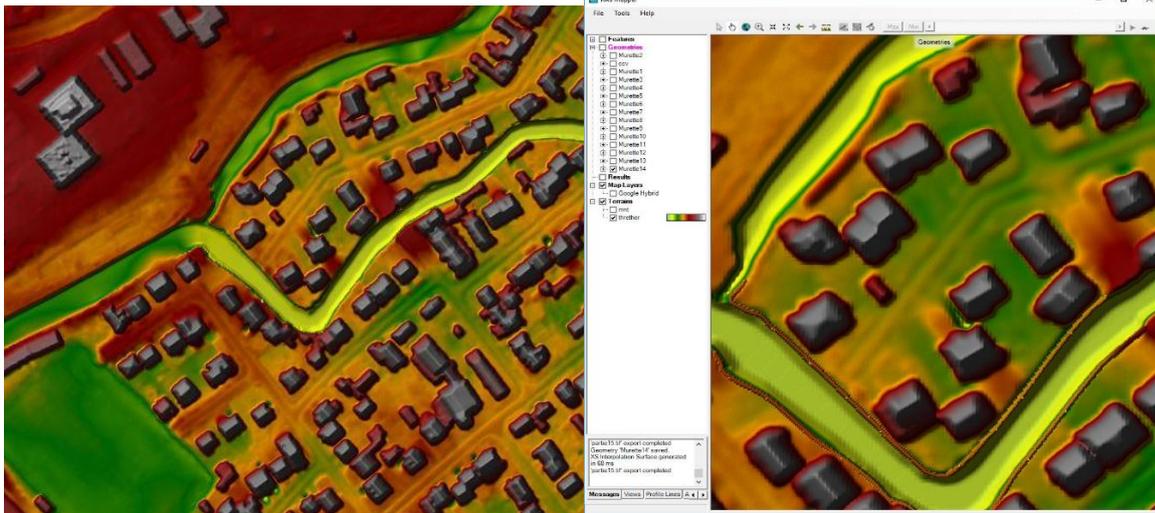


Figure 9 : Terrain sans murette

Figure 10: Terrain avec murette

Les ouvrages hydrauliques supprimés seront représentés après dans la partie de la construction de la géométrie du cours d'eau sur HEC-RAS.

Il a fallu aussi ajuster la profondeur du cours d'eau en se basant sur les profils en travers fournis par le syndicat de l'orge

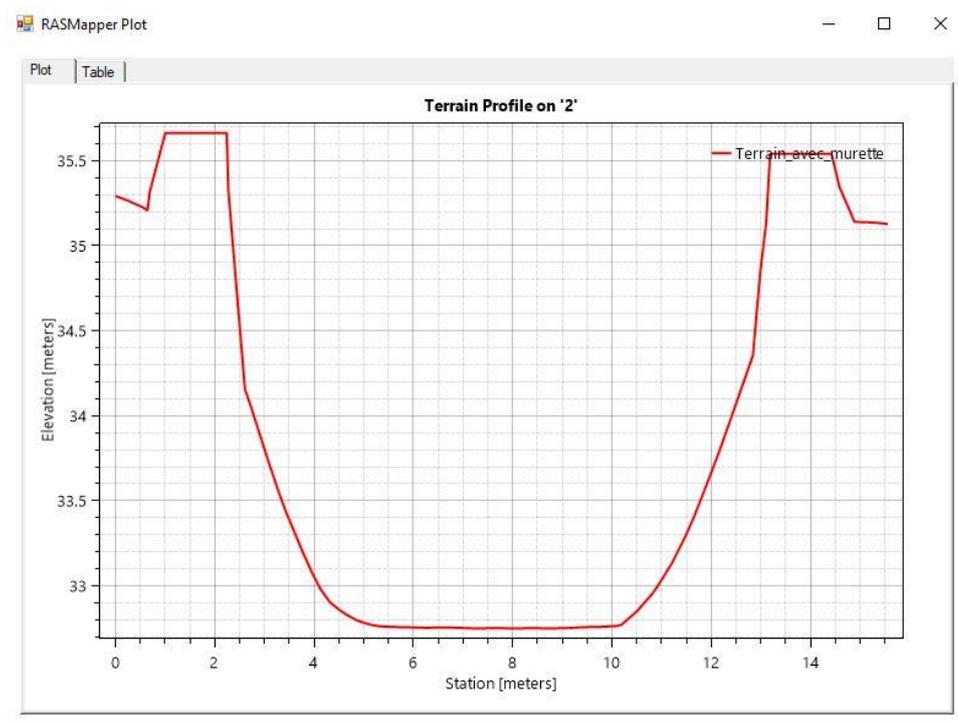


Figure 11 : Profil en travers modifié

3. MODELISATION HYDRAULIQUE

La modélisation hydraulique est le fait de représenter les écoulements dans les canaux et qui a pour objectif de déterminer les aléas de l'inondation autour de ces 5 stations de pompes. De ce fait, elle sera réalisée à l'aide de HEC-RAS.

3.1. HEC-RAS

HEC-RAS, Hydrologic Engineering Centers River Analysis System (Système d'analyse des rivières du centre d'ingénierie hydrologique) est un logiciel de modélisation hydraulique destiné pour la simulation des écoulements transitoires et permanents dans les cours d'eau et les canaux.

Le programme a été élaboré par le ministère américain de la Défense (corps des ingénieurs de l'armée des États-Unis) dans le but de gérer les rivières, les ports et autres travaux publics relevant de leur compétence, il a été largement diffusé de par le monde depuis sa publication en 1995. Développé par l'Hydrologic Engineering Center (HEC) en Californie, ce système permet aux ingénieurs en hydraulique d'analyser les débits dans le lit mineur des rivières et de déterminer les zones inondables. Il intègre de nombreux moyens de saisie de données, de composants d'analyse hydraulique, de stockage de données, d'édition de rapports sous forme de tables et de graphiques.

Le modèle utilisé jusqu'à la version 5.0 était unidimensionnel, ce qui signifie qu'il n'existait pas de modélisation bidimensionnelle de la zone inondée et de la cinématique de la propagation des inondations dans le lit majeur de Cours d'eau.

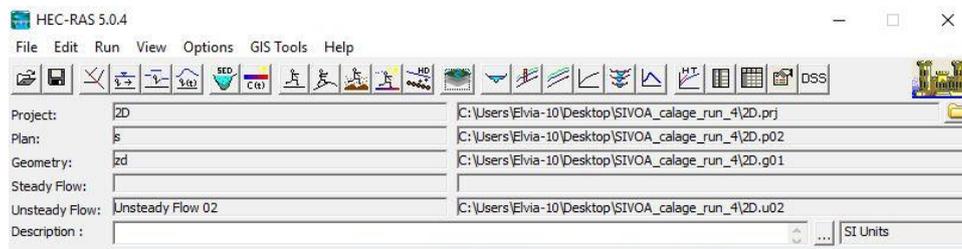


Figure 12: Interface de HEC-RAS 5.0.3

Depuis la version 5.0, il est possible de réaliser des modélisations 1D, 2D et 1D couplé 2D de la rivière et des plaines d'inondation.

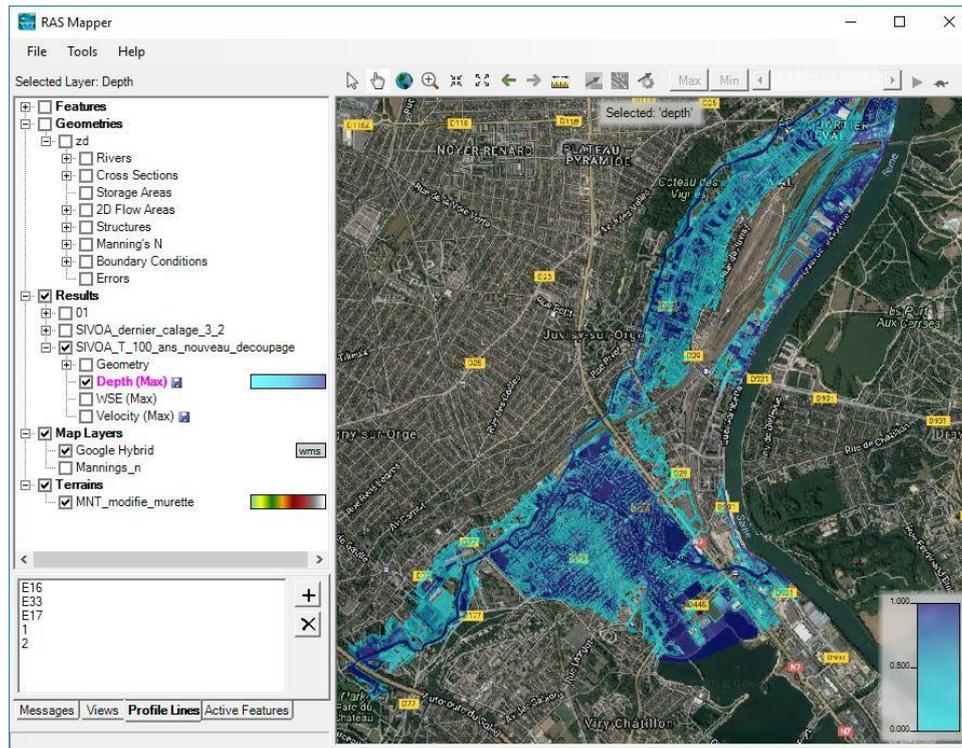


Figure 13: Exemple de Modélisation hydraulique sur HEC-RAS

Le calcul des écoulements sur HEC RAS se fait par la résolution des équations de Barré de Saint Venant. Ces équations occupent encore aujourd'hui une place primordiale dans les études en hydraulique maritime ou fluviale. Elles décrivent les écoulements à surface libre en eaux peu profondes, d'où leur appellation anglaise "Shallow Water Equations".

3.2. MODELE 1D-2D

Le modèle 1D-2D consiste à représenter le lit mineur du cours d'eau par des profils en travers et son lit majeur en 2D.

3.2.1. CREATION DE LA GEOMETRIE 1D

La géométrie de cours a été tracée à l'aide de RIVEGIS qui est une extension de QGIS permettant de créer une géométrie de modèle HEC RAS à partir de données spatiales (MNT). L'extension est similaire à celle de HEC-GEORAS. Pour les opérations de stockage de données et spatiales, une base de données PostGIS est nécessaire.

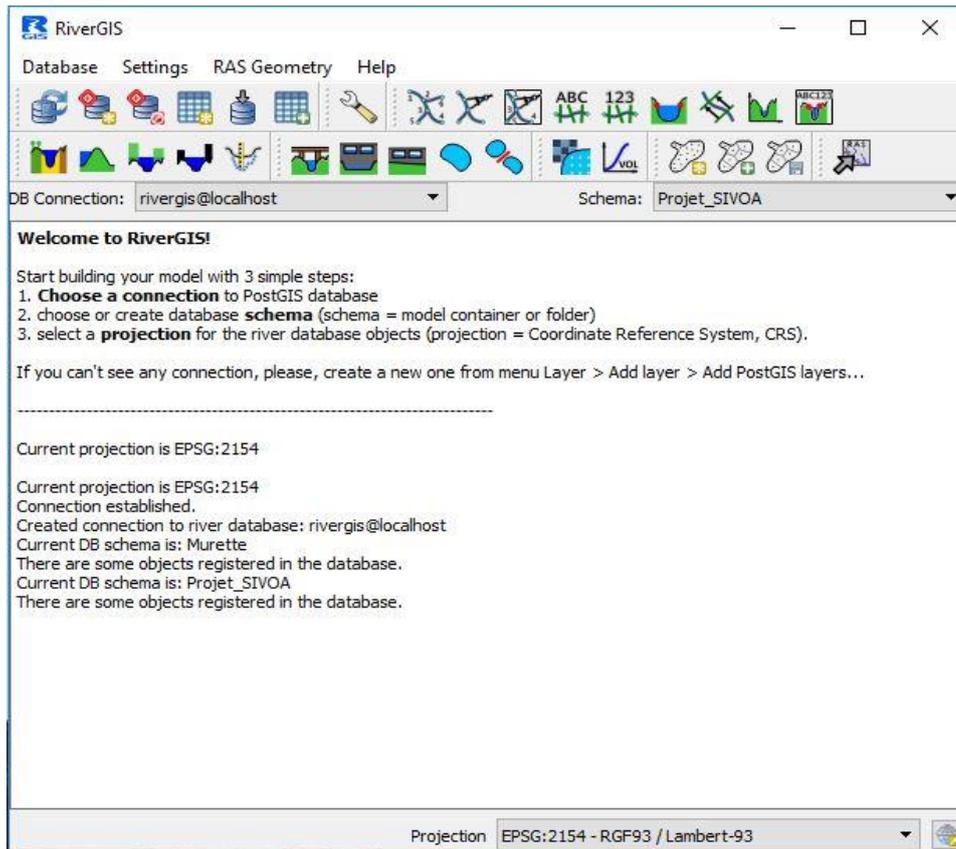


Figure 14 : L'interface de l'extension RIVERGIS

Pour avoir l'accès à l'extension RIVERGIS sur QGIS il fallait :

- Connecter à la base de données PostGIS.
- Choisir ou créer un schéma de base de données.
- Choisir un système de projection pour le modèle.

Pour le traçage de la géométrie il fallait suivre les étapes suivantes :

- Créer / importer une géométrie (Lignes de cours d'eau, Les profils en travers),
- Construire du réseau hydraulique,
- Définir des données des profils en travers supplémentaires,
- Calculer les attributs des profils en travers (Station, Distance par rapport l'aval, etc.),
- Créer un fichier d'importation SIG HEC-RAS,

Les données de géométrie du modèle sont stockées dans des tableaux de base de données de la rivière.

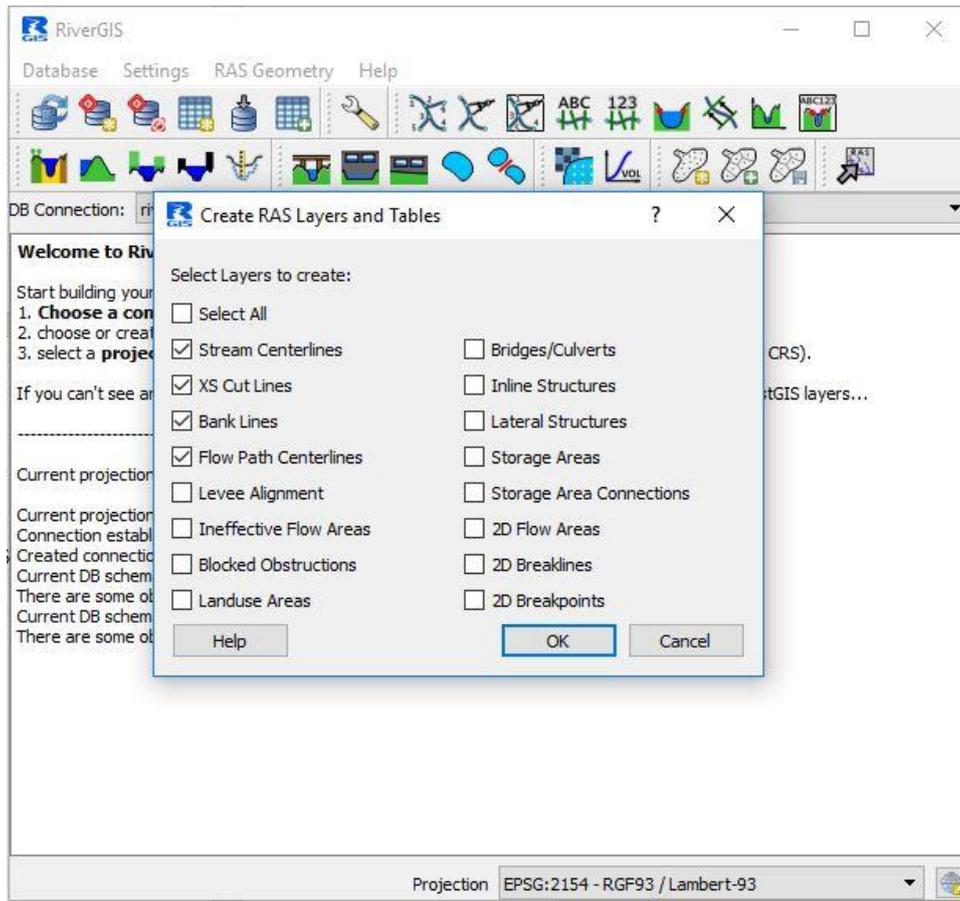


Figure 15 : Les bases de données à choisir sur RIVERGIS pour le projet SIVOA

Trois bases de données qui sont toujours nécessaire pour la création du Modèle sur RIVERGIS : Stream CenterLines, XS Cut Lines et Flow path. Le reste est optionnel.

Pour Ce projet, les trois bases de données nécessaires et la base de données « Bank Lines » étaient utilisés. Cette dernière était ajoutée pour définir la limite du canal principal et les rives gauches et droites sur les profils en travers.

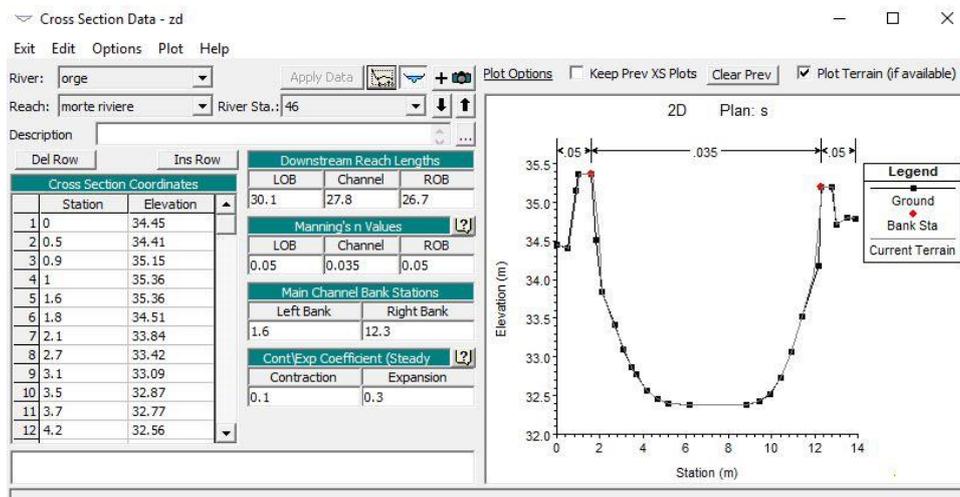


Figure 16: Profil en travers tracé sur RIVERGIS et importé sur HEC-RAS

Les ouvrages hydrauliques et la jonction divergente qui partage l'orge en deux cours d'eau ont été créés sur HEC-RAS.

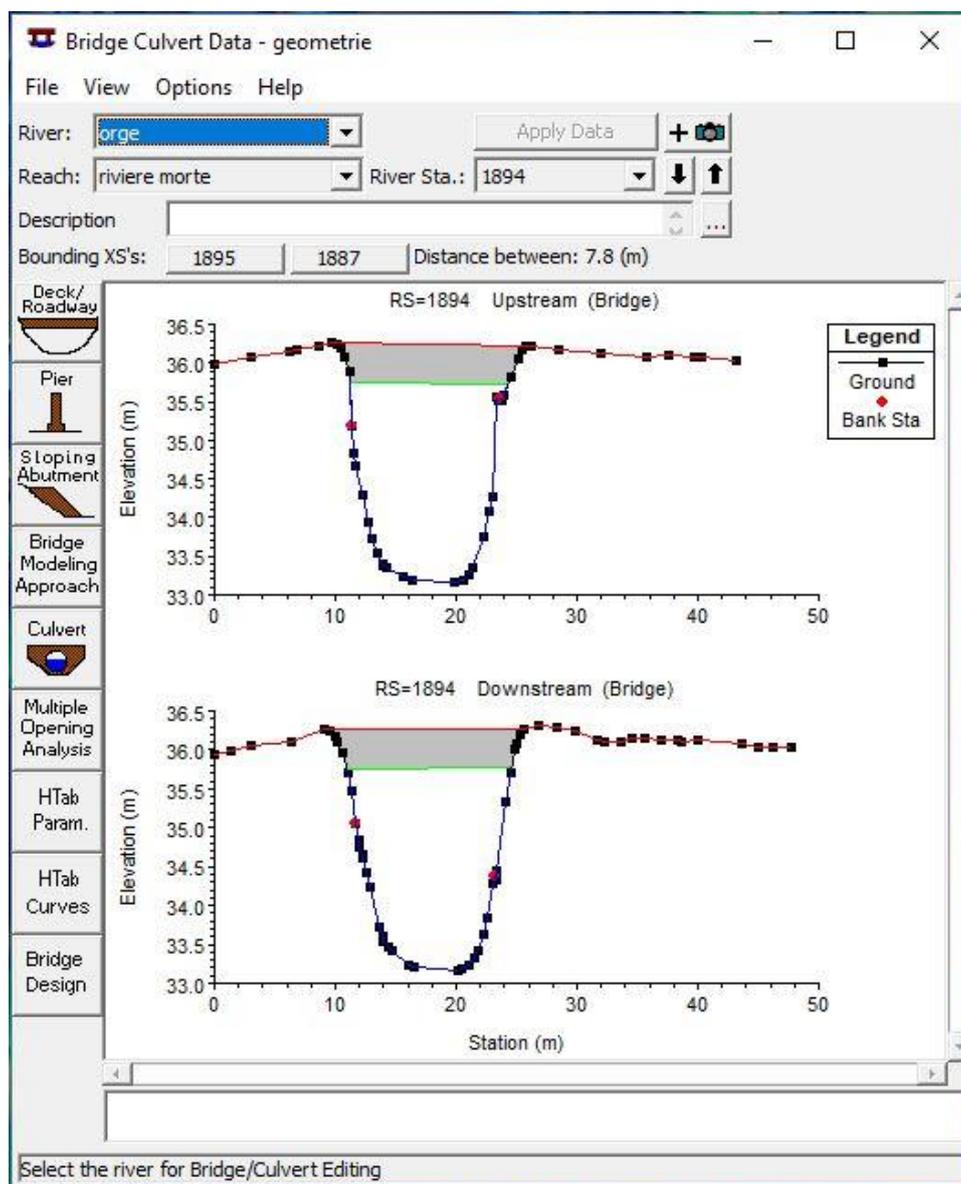


Figure 17: Pont crée sur la morte rivière

3.2.2. CREATION DE LA ZONE 2D

Pour le modèle 1D-2D, le lit majeur a été représenté en 2D. Ainsi, la taille de la cellule dans la zone 2D a été fixée à 10 m et elle a été affinée à 3m dans les zones concernées par l'étude pour une meilleure précision de la propagation de l'inondation. Le choix d'augmenter la taille des cellules dans le lit majeur et de l'affiner dans certaines zones est dû principalement au temps de calcul sur HEC-RAS.

La connexion entre la zone 1D et 2D se fait par une structure latérale qui permet de déverser l'eau dans la zone 2D en cas du débordement. En effet, elle a plusieurs fonctions mais pour qu'elle établisse la connexion entre la zone 1D et celle 2D, il fallait prendre la hauteur du remblai de la structure égalé à celle du terrain naturel et le Coefficient de déversement entre 0.06 et 0.28.

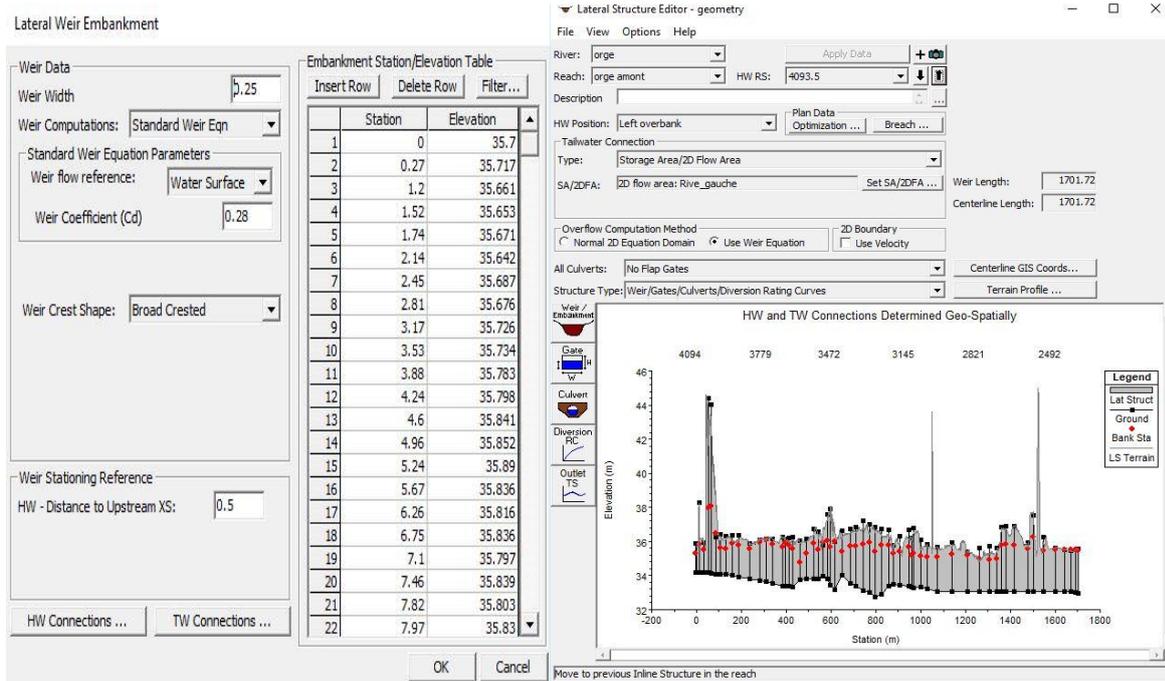


Figure 18 : Paramétrage de la structure latérale

3.3. MODELE 2D

Depuis la version 5.0 de HEC-RAS, il est possible de modéliser les écoulements seulement en 2D. Ainsi le projet a été réalisé avec la version HEC-RAS 5.0.3. De ce fait, La construction du modèle peut se faire seulement en 2D.

La taille des cellules utilisé a été fixé à 10 m. Ainsi, elle a été affiné à 3 m niveau de 5 stations de pompage et 2.5 m au niveau des cours d'eau. L'affinage des cellules a été faite par les lignes de ruptures.

Pour le cours d'eau. Les lignes de rupture doivent passer obligatoirement au niveau de la limite des parois de cours d'eau pour éviter que le modèle commence à injecter de l'eau dans les points bas qui sont situés à coté de cours d'eau.

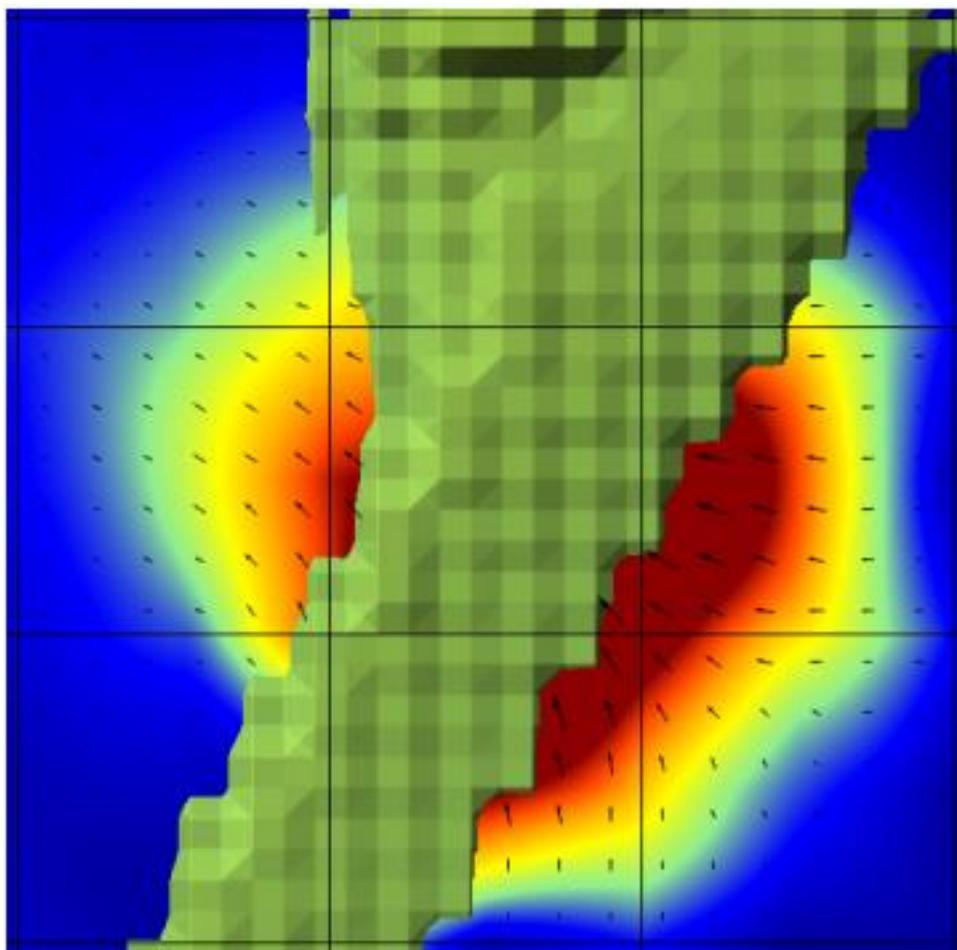


Figure 19: exemple de maillage

Dans la figure au-dessus il est remarquable que le modèle à injecter de l'eau de part et d'autre de la murette. Cela est dû au mauvais maillage du modèle.

Pour résoudre le problème, l'utilisation des lignes de rupture est souhaitable pour renforcer l'alignement des cellules au niveau de la paroi du cours d'eau

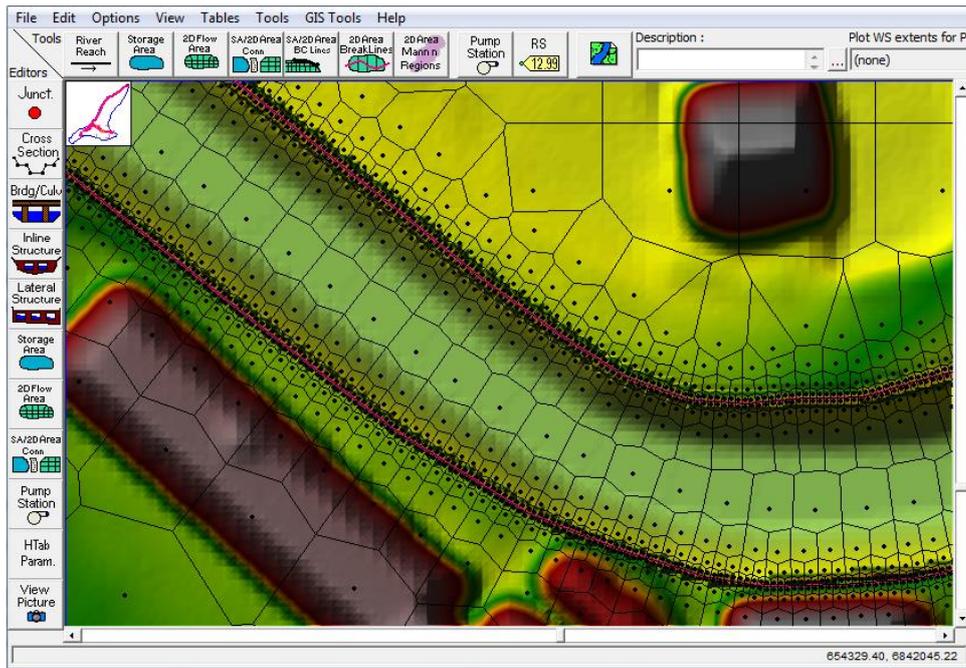


Figure 20 : Exemple de renforcement du maillage

3.3.1. LES OUVRAGES HYDRAULIQUES DANS LE MODELE 2D

La construction des ouvrages hydrauliques dans le modèle 2D n'est pas assez développer comme celle du modèle 1D. Cependant, il est possible de construire les ouvrages hydrauliques grâce à l'outil « SA/2D Area connection ».

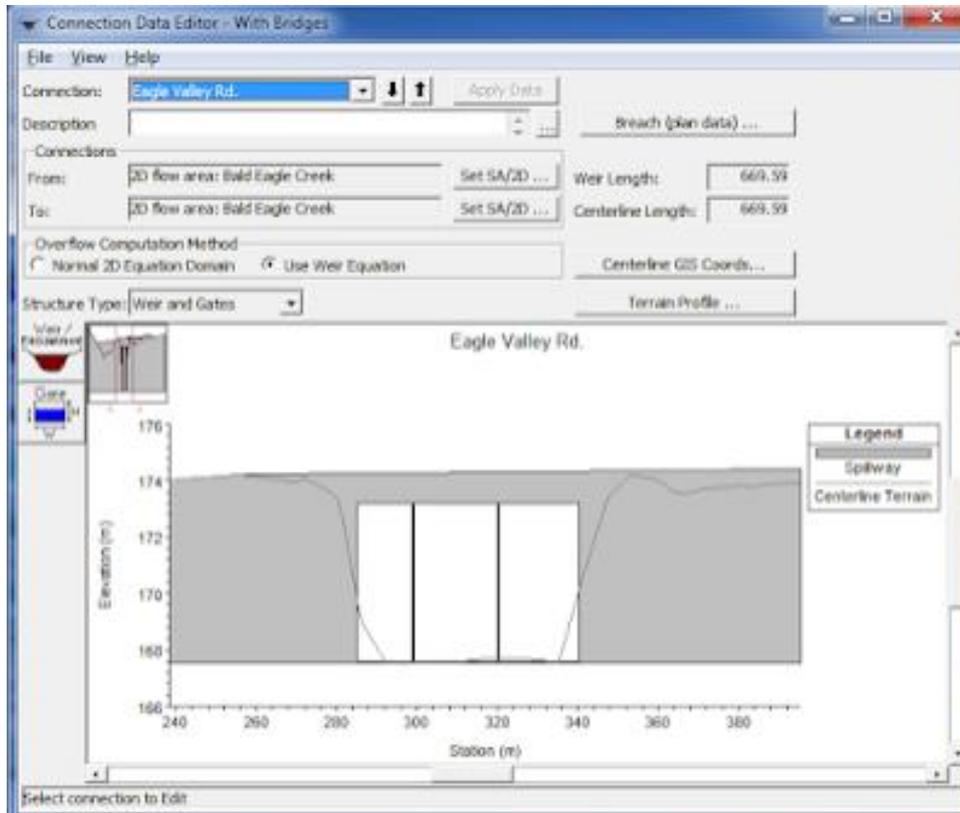


Figure 21: Création des ponts dans la zone 2D

La contrainte de construction des ouvrages hydrauliques dans la zone 2D est de rendre le modèle instable. Ce pour cela On a décidé de ne pas construire les ponts dans le modèle 2D sachant que tous les derniers n'ont pas des piles implantées dans le cours d'eau qui peuvent être un obstacle à l'écoulement.

3.4. HYDROLOGIE DU MODELE

3.4.1. CONDITIONS AUX LIMITES AMONT

Les modèles sont alimentés par des hydrogrammes externes .De ce fait, l'injection des débits se fait au niveau de la station Morsang sur Orge qui est une station hydrométrique disposant de plus de 40 années de mesure et dont l'hydrologie a été étudiée lors de l'étude de faisabilité d'une zone de ralentissement dynamique des crues sur la plaine du Carouge à Bretigny-sur-Orge réalisée par le SIVOA.

La station de Morsang-sur-Orge est située à environ 2 kilomètres en amont du secteur d'étude. De plus, elle est la station la plus proche à la zone d'étude, c'est pourquoi il a été choisi d'injecter directement dans le modèle hydraulique les hydrogrammes synthétiques définis à Morsang-sur-Orge par le SIVOA lors de cette précédente étude.

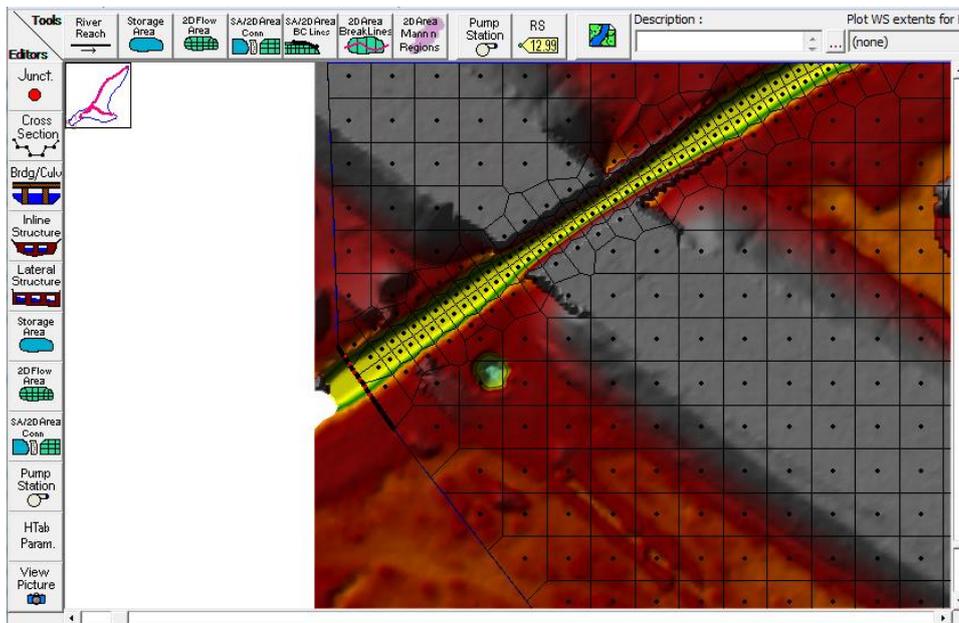


Figure 22: Zone d'injection des hydrogrammes en tête du modèle

Les différents hydrogrammes injectés en tête du modèle sont présentés sur la figure suivante. Les débits de pointe de l'Orge à Morsang-sur-Orge sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 1 : Débits de pointe des hydrogrammes synthétiques injectés à Morsang-sur-Orge

Période de retour	5 ans	10 ans	20 ans	30 ans	50 ans	100 ans
Débit de pointe au niveau de la station Morsang sur Orge (m3/s)	29.3	33.3	37.1	39.3	52.8	71.3

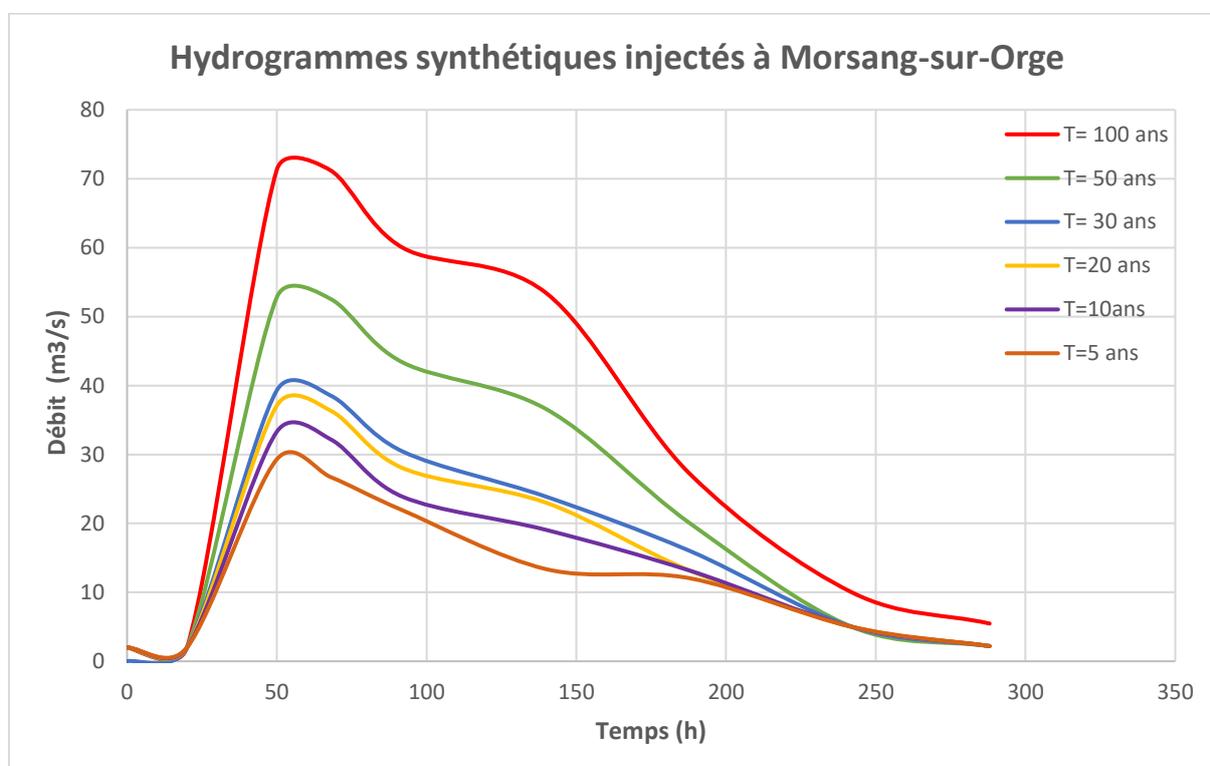


Figure 23 : Hydrogrammes synthétiques injectés à Morsang-sur-Orge

3.4.2. CONDITIONS AUX LIMITES AVAL

Les conditions limites aval sont définies par les niveaux de la Seine et ont été établies en mettant en place aux exutoires de l'Orge et de la Morte Rivière une condition limite en cote en fonction du débit de l'Orge et de la Morte Rivière.

Pour simuler la crue quinquennale de l'Orge, les niveaux de Seine sont ceux observés pour une crue annuelle. Pour la crue centennale, les niveaux de Seine sont ceux observés pour une crue d'occurrence vicennale. Cette dernière condition a été retenue pour la réalisation de l'AZI par Hydratec. Pour les périodes de retour intermédiaires les cotes de la Seine sont définies

proportionnellement à la période de retour de la crue de l'Orge. La pente hydraulique de la Seine entre l'exutoire de la Morte Rivière et l'exutoire de l'Orge est considérée comme constante pour toutes les crues considérées de l'Orge.

Tableau 2: Définition des cotes de Seine en aval du modèle hydraulique

T (ans)	Cote Seine Morte Rivière (mNGF)	Cote Seine Orge (mNGF)
5	33.00	32.40
10	33.22	32.62
20	33.43	32.83
30	33.65	33.05
50	34.08	33.48
100	35.15	34.54

3.5. CALAGE ET VALIDATION DU MODELE

Après la création de l'architecture de deux modèles 2D et 1D couplé 2D, le choix a été fixé sur le modèle 2D car le modèle 1D-2D a montré beaucoup d'instabilité qui est dû à la jonction. Malgré plusieurs essais d'amélioration du modèle pour le rendre stable on n'a pas réussi à le stabiliser. L'instabilité au niveau de la jonction est dû à la géométrie du modèle au niveau de la jonction qui n'a pas nous permis d'ajouter d'autre profil en travers proche d'elle et la variation rapide de la géométrie de l'orge juste après le partiteur.

La crue de Juin 2016 sur l'Orge et la Seine a provoqué des inondations sur l'Orge. Le débit mesuré sur l'Orge a été estimé d'une occurrence trentennale. Le modèle hydraulique Orge-Morte Rivière va donc être calé sur cet événement.

3.6. HYDROLOGIE DE L'EVENEMENT

3.6.1. DONNEES HYDROMETRIQUES SUR L'ORGE

L'hydrogramme à Morsang-sur-Orge est présenté par la figure suivante. Il est injecté en amont dans le modèle.

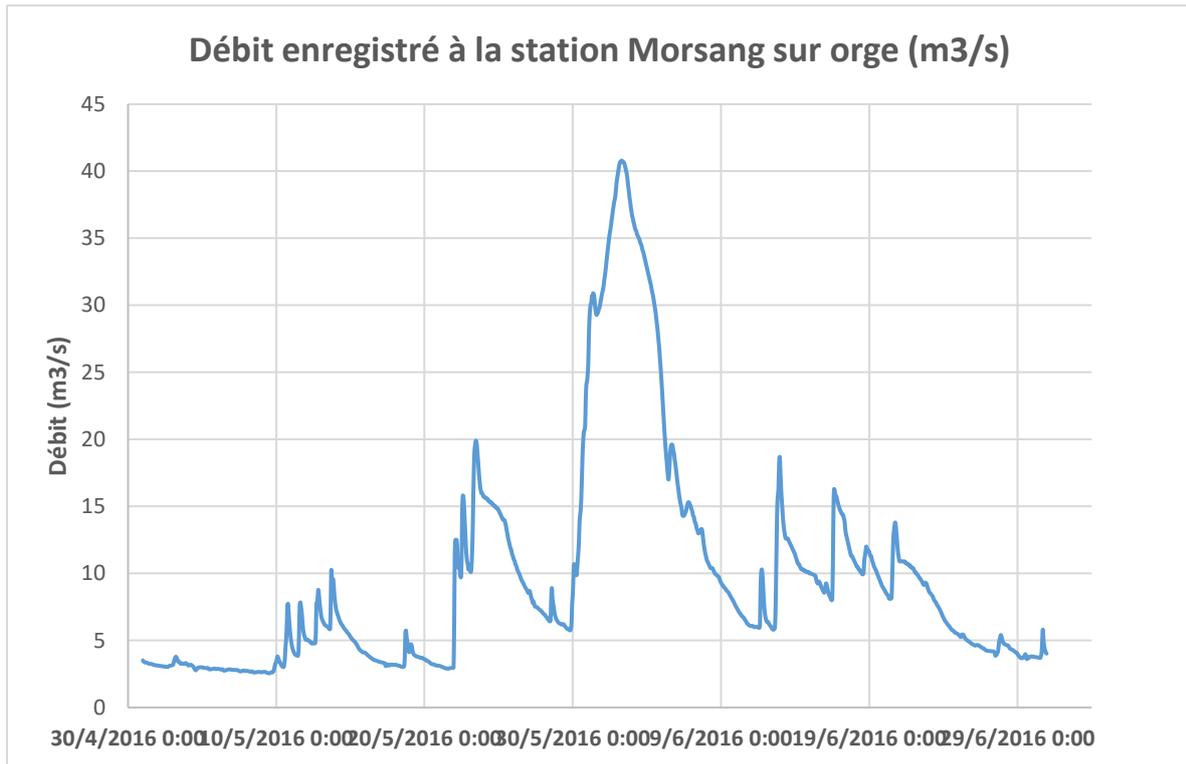


Figure 24: Hydrogramme à Morsang/Orge

La figure suivante présente la localisation des échelles limnimétriques sur la zone d'étude.

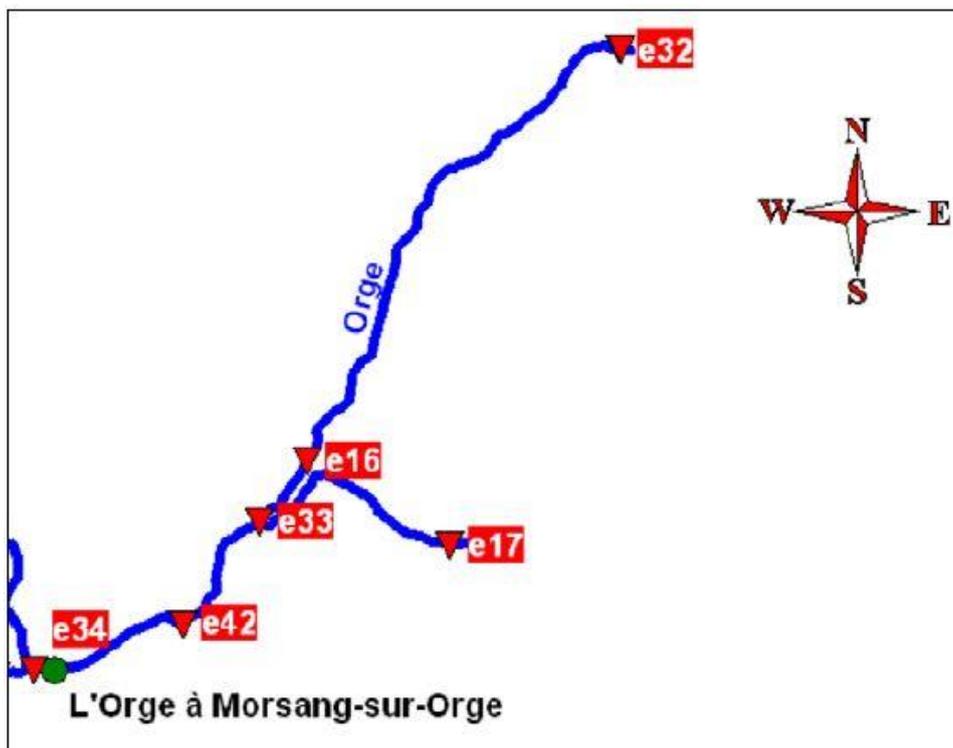


Figure 25: Localisation des échelles du SIVOA

Les mesures disponibles lors de la crue de 2016 sont les mesures de niveau aux échelles

E33 et E16 sur l'Orge et E17 sur la Morte Rivière. Elles sont présentées ci-dessous.

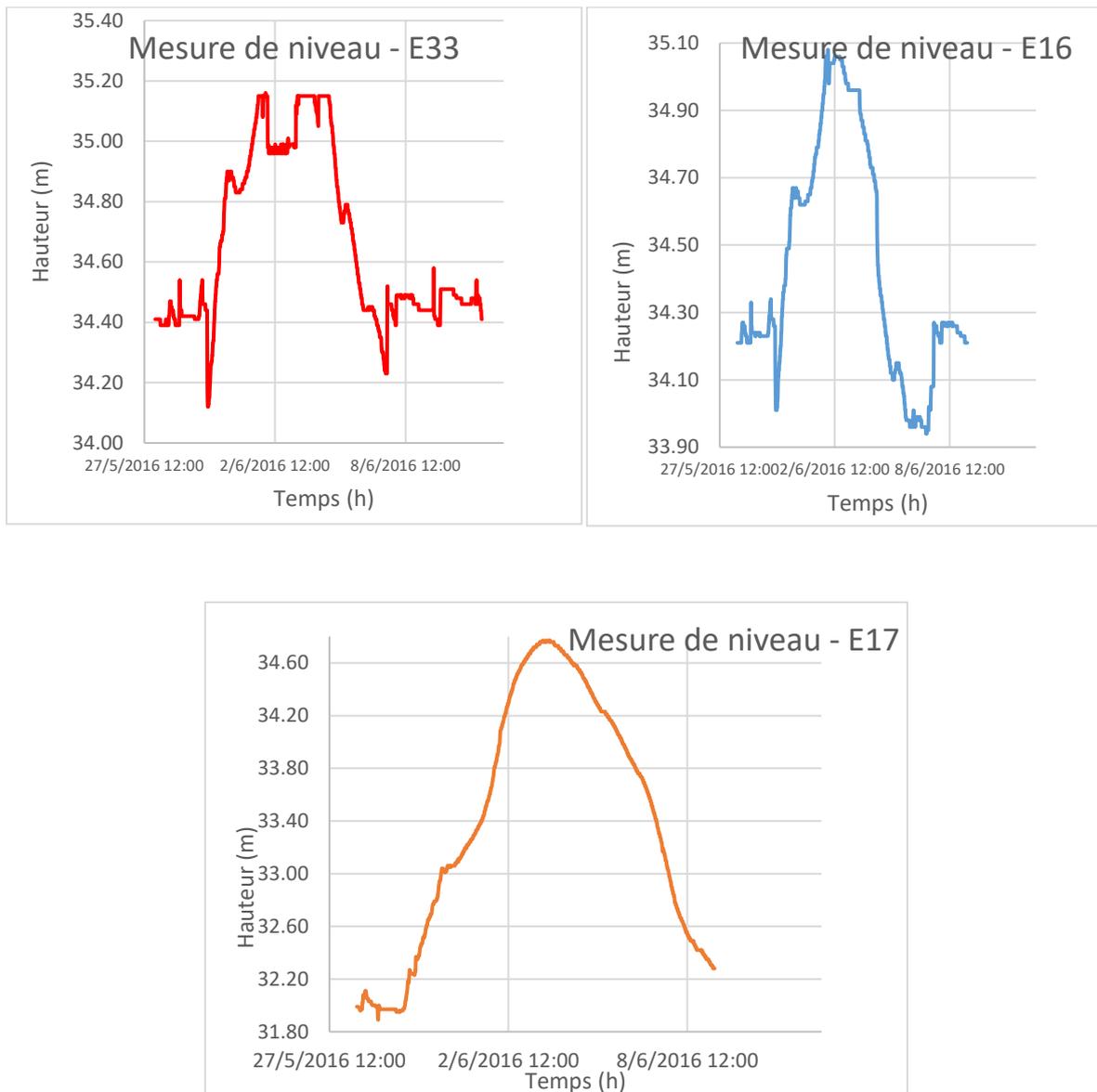


Figure 26 : Mesures de niveau sur l'Orge et la Morte rivière - Crue de 2016

Avant la crue, le niveau en amont du partiteur est établi à environ 34,40mNGF, ce qui diffère des 34,58 m NGF théorique de la fiche ouvrage mais n'a que peu d'incidence sur le niveau atteint en crue.

La mesure en amont du partiteur montre un maximum « plat » de 35,15mNGF. Il faudrait déterminer si c'est une limite du capteur ou un maximum réel. De plus, il semble y avoir une dérive du capteur entre le 01/06 à 23h et le 03/06 à 11h car le niveau en amont du partiteur est inférieur à celui en aval sur le bras de l'Orge (pas impossible mais étonnant).

Avant la crue, le niveau en aval du partiteur est établi à 34,20mNGF environ. La mesure montre un maximum de 35,08mNGF le 02/06 à 3h, peut-être suivi d'une légère dérive du capteur (chute brutale de 11cm) puis un nouveau maximum local de 35,06 le 02/06 en début d'après-midi.

Avant la crue, le niveau est établi à environ 32,00 m NGF puis atteint 37,77 m NGF le 3 Juin 2016 aux alentours de 20h. Le niveau à l'échelle E17 est évidemment fortement influencé par le niveau en Seine.

3.6.2. DEROULEMENT DU CALAGE

Le calage se fait en changeant les coefficients de rugosité de Manning pour le lit mineur du cours d'eau.

Le Calage de ce modèle a été basé sur la crue de 2016 est pas sur le débit nominal de l'orge. Ce pour cela, les coefficients de Manning seront forcés et ne reflèteront pas la réalité.

Le calage pour le modèle 2D a été fait en créant une couche d'occupation de sols pour la zone 2D même pour le cours en le découpant à chaque changement de la nature de lit mineur.

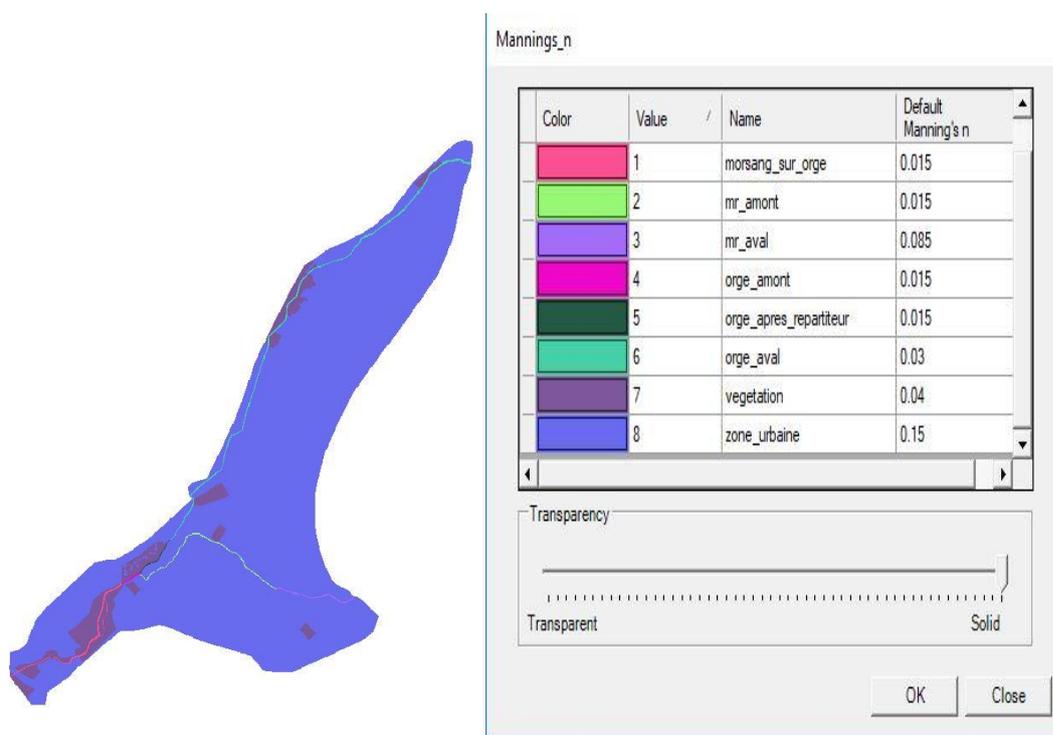


Figure 27: Carte d'occupation de sol

Après la création de la carte d'occupation de sol. On a attribué un coefficient de rugosité pour la chaque couche et au fur et à mesure des résultats se fait l'ajustement des coefficients.

L'inconvénient de calage de modèle 2D ce qu'il a été réalisé manuellement et du coup il prend un temps plus que celui pour le modèle 1D couplé 2D.

3.7. DETERMINATION DE L'ALEA

Suite à la modélisation hydraulique, une analyse sera déterminée afin de caractériser le risque inondation au niveau de différentes stations de pompage de SIVOA en s'appuyant sur le type d'aléa.

Les éléments des aléas pris en compte seront :

- Les côtes d'eau maximales atteintes par l'emprise des crues simulées (m NGF),
- Les vitesses d'écoulements (m/s).

Les durées d'immersion obtenues après simulation définiront le degré de l'impact engendré sur les 5 stations de pompage du SIVOA.

Les classes retenues pour déterminer l'aléa sont comme suit :

Tableau 3 : Classification des classes de hauteur

Hauteur d'eau (m)	
H < 0.5 m	
0.5 m < H < 1 m	
H > 1 m	

Tableau 4: Classification des classes de vitesses

Vitesse (m/s)	
V < 0.2 m/s	
0.2 m/s < V < 0.5 m/s	
V > 0.5 m/s	

La classification des hauteurs et des vitesses a été déterminée à partir des méthodologies utilisées pour l'élaboration du PPRI de l'Essonne.

Le croisement des deux grilles de classification hauteurs d'immersion et des vitesses d'écoulement donne une grille d'évaluation de l'aléa inondation comme suit :

Tableau 5: Classification des classes d'aléa

	H < 0.5 m	0.5 m < H < 1 m	H > 1 m
V < 0.2 m/s	Aléa faible	Aléa Moyen	Aléa fort
0.2 m/s < V < 0.5 m/s	Aléa Moyen	Aléa Moyen	Aléa fort
V > 0.5 m/s	Aléa fort	Aléa fort	Aléa fort

3.8. EVALUATION DE LA VULNERABILITE DES STATIONS DE POMPAGES

Une fois l'analyse de l'état initial ainsi que l'étude hydraulique réalisée une étude de sensibilité des sites étudiés face au risque inondation sera dressée pour chaque type d'aléas.

Il en découlera une description des points sensibles au risque inondation. Suite à cela, une évaluation de l'impact engendrée sur les stations sera dressée comme suit :

- Impact sur les bâtiments (structures, fondations, revêtements, murs, portes.)
- Impact sur les équipements (armoires électriques, machineries, systèmes de mesures, groupe électrogènes)
- Impact sur la qualité du service (continuité de service, fonctionnement des pompes, sur débits entrants, coupure d'électricité, capacité de stockage des bâches, RUTP)

Il sera, de plus, primordial d'étudier les enjeux principaux à intégrer dans le cadre de l'audit des bâtiments :

- D'assurer au maximum le maintien des activités malgré l'inondation,
- De déterminer les conditions de gestion de l'inondation avec la nécessité de conserver même pendant l'inondation les moyens matériels à disposition et le fonctionnement des équipements électriques, mécaniques et de préserver les réseaux d'eaux,
- D'assurer au mieux le retour à la normal au plus vite à la suite d'un événement d'inondation.

IV. RESULTAT ET DISCUSSION

1. RESULTAT DE CALAGE

Le modèle a été tourné dans un premier temps avec le coefficient de Manning par défaut de la zone 2D qui est égale à 0.06. Les résultats obtenus ne sont pas satisfaisants.

Les courbes suivantes représentent les hauteurs d'eau au niveau des 3 échelles limnimétriques E33, E16 et E17

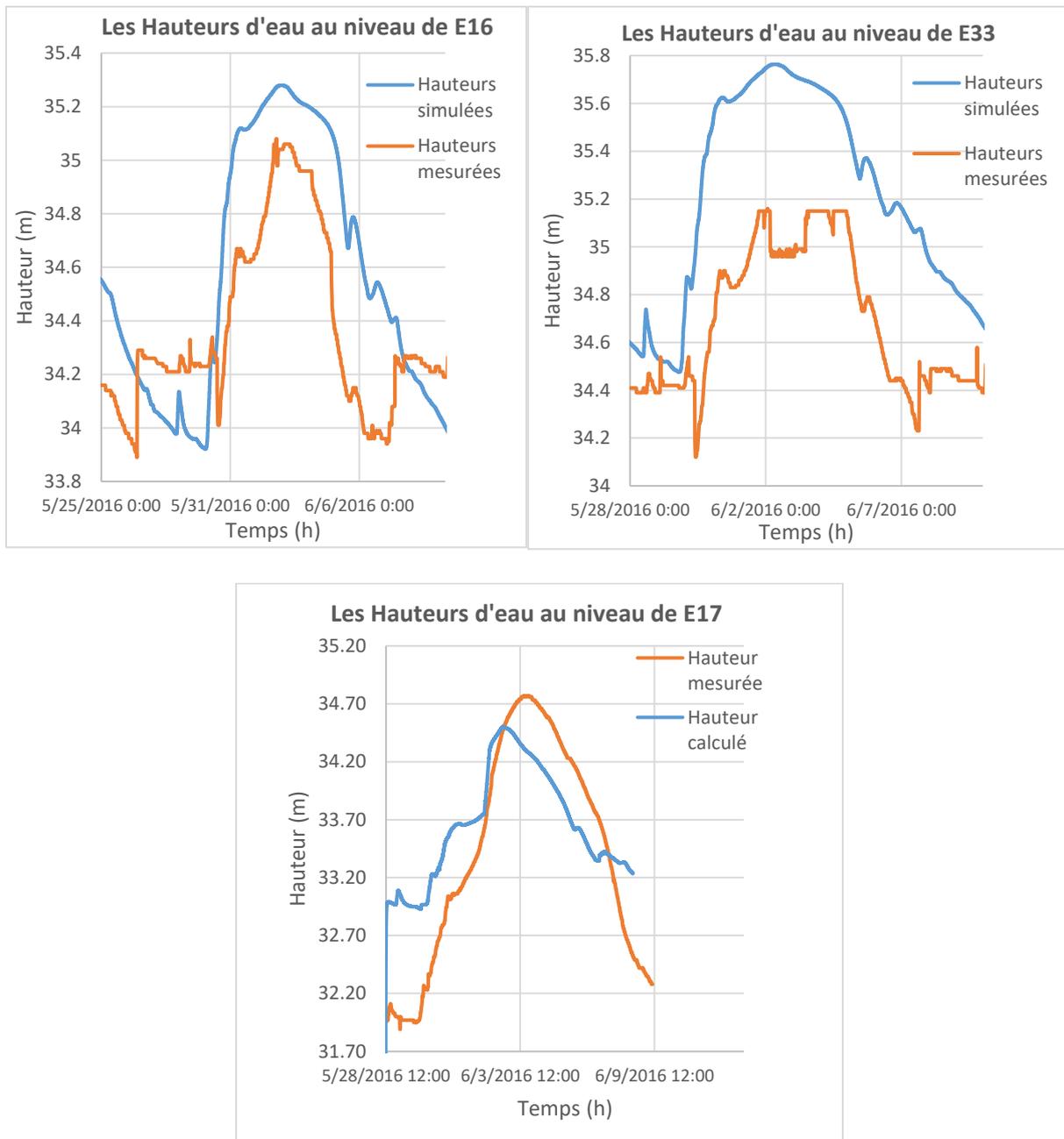


Figure 28: Les hauteurs d'eau au niveau d'E16 et E33

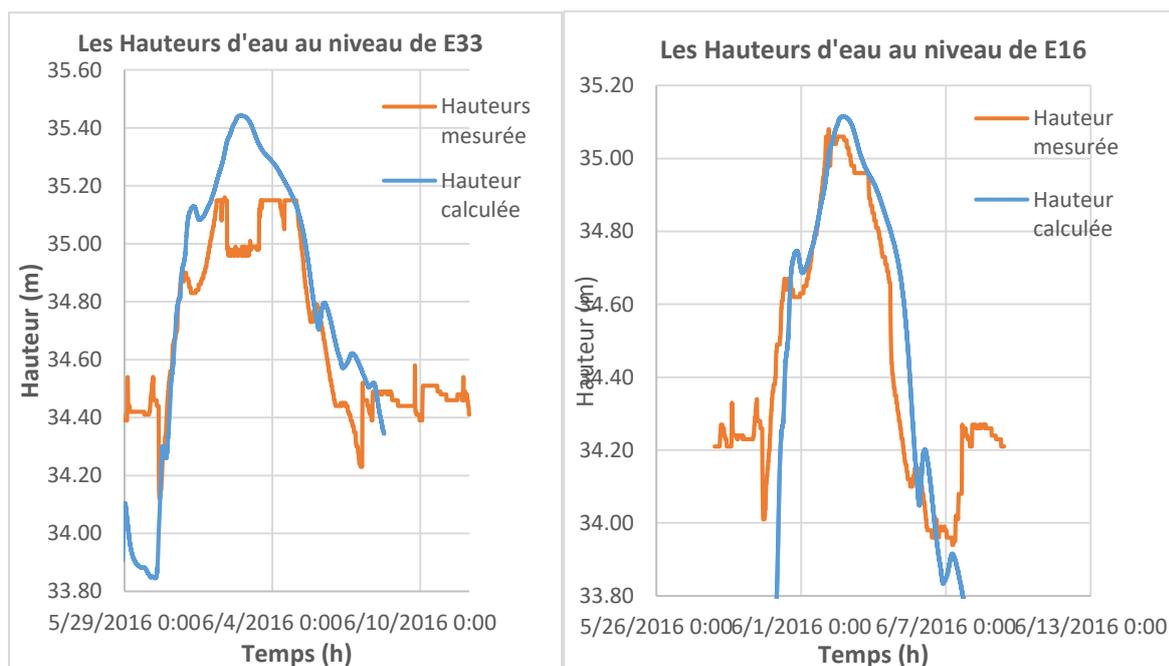
Le tableau ci-dessous représente les hauteurs mesurées et calculés ainsi la différence entre les deux.

	Hauteur maximale mesuré	Hauteur maximale calculé	Différence
E33	35.16 (douteux) m NGF	35.763 m NGF	+ 60.3 cm
E16	35.08 m NGF	35.28 m NGF	+20 cm
E17	34.77 m NGF	34.47 m NGF	-30 cm

Le calage a été réalisé en changeant les coefficients de Manning afin de réduire la différence entre les hauteurs mesurées et calculées.

Les résultats de calage sont représentés dans le tableau suivant :

	Hauteur maximale mesuré	Hauteur maximale calculé	Différence
E33	35.16 (douteux) m NGF	35.52 m NGF	+36
E16	35.08 m NGF	35.10 m NGF	+2 cm
E17	34.77 m NGF	34.765 m NGF	- 0.5 cm



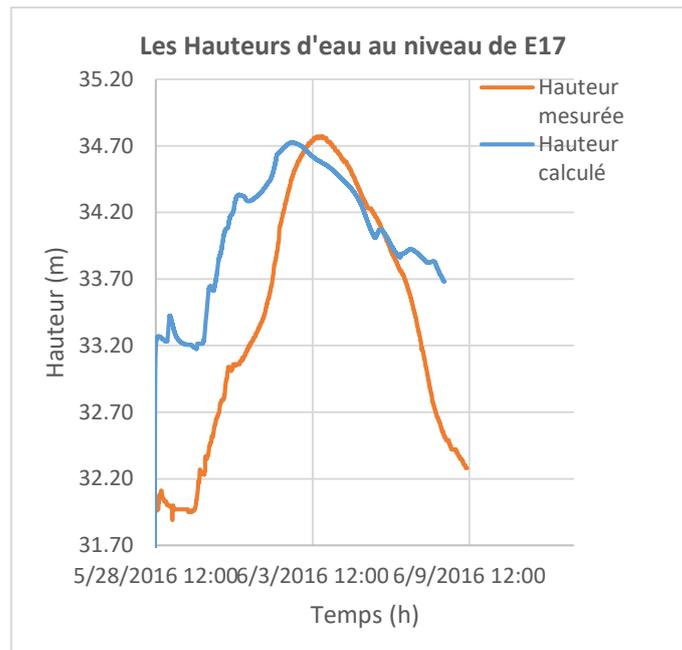


Figure 29 : Résultat du Calage au niveau des stations E33, E16 et E17

Les résultats obtenus après le calage sont très satisfaisants vu que la différence entre la hauteur mesurée et calculée au niveau de E16 a été réduite jusqu'à 2 cm et à 0,5 cm au niveau de E17. Par contre, elle a été réduite à 28 cm seulement au niveau de E33 parce que la hauteur mesurée est douteuse vu qu'il y a un aplatissement au niveau du pic de la crue de 2016.

Pour le pic de E17 a été décalé un peu ceci peut être dû aux débits en amont sont injectés après la station de Morsang-sur-Orge vu l'absence de la planche lidar qui contient la station Morsang sur orge. Ce décalage du pic n'est pas visible sur E33 et E16 car les deux stations sont plus proches à Morsang sur orge que E17. De ce fait, la réponse du modèle au pic n'est assez retardée que celle au niveau de E17.

2. RESULTAT DE DETERMINATION DE L'ALEA

L'aléa a été déterminé après la simulation de la pluie de retour T = 100 ans.

La figure ci-dessous montre l'inondation dans le lit majeur de l'orge pour T = 100. Il est remarquable que toute la zone ait été inondée.

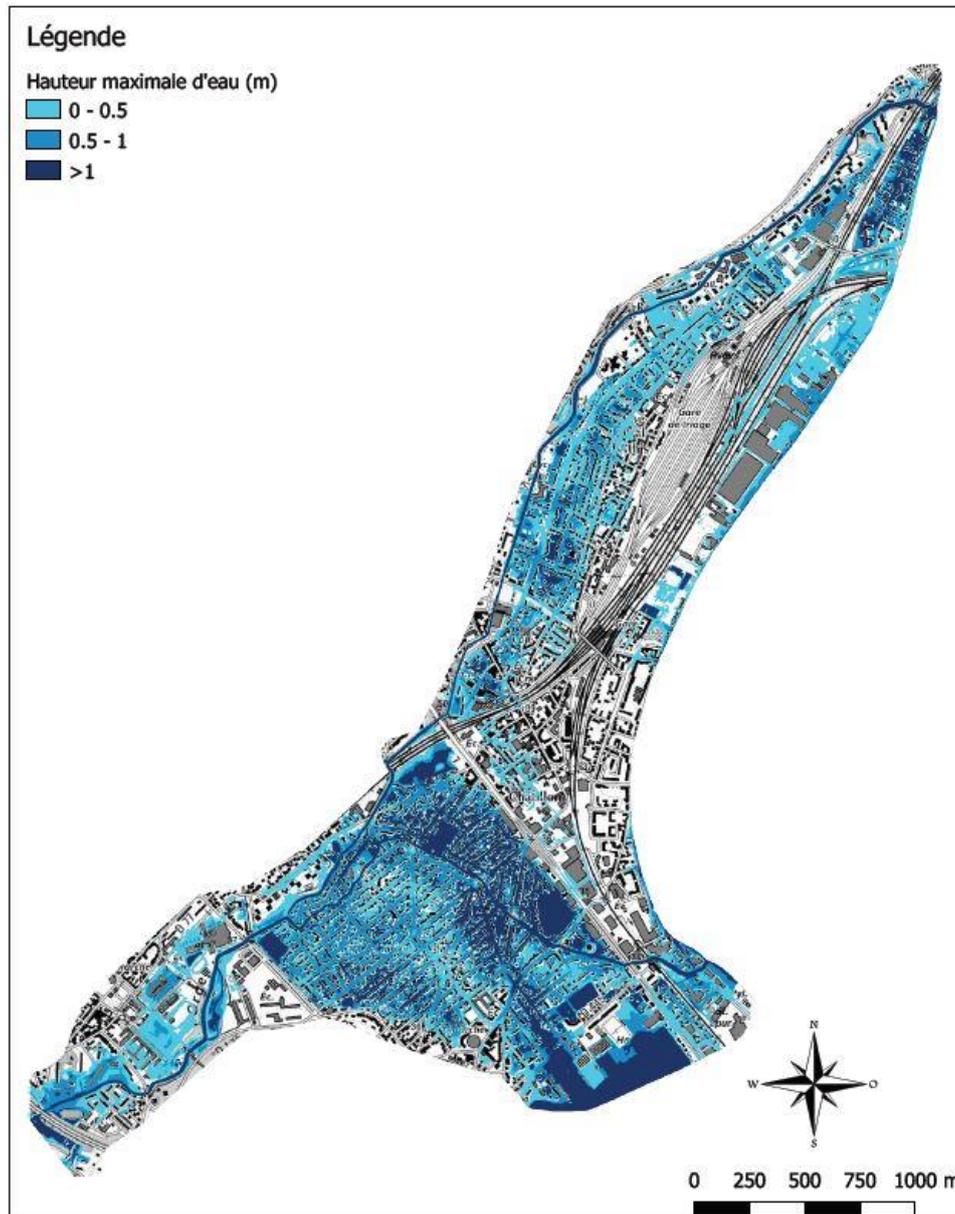
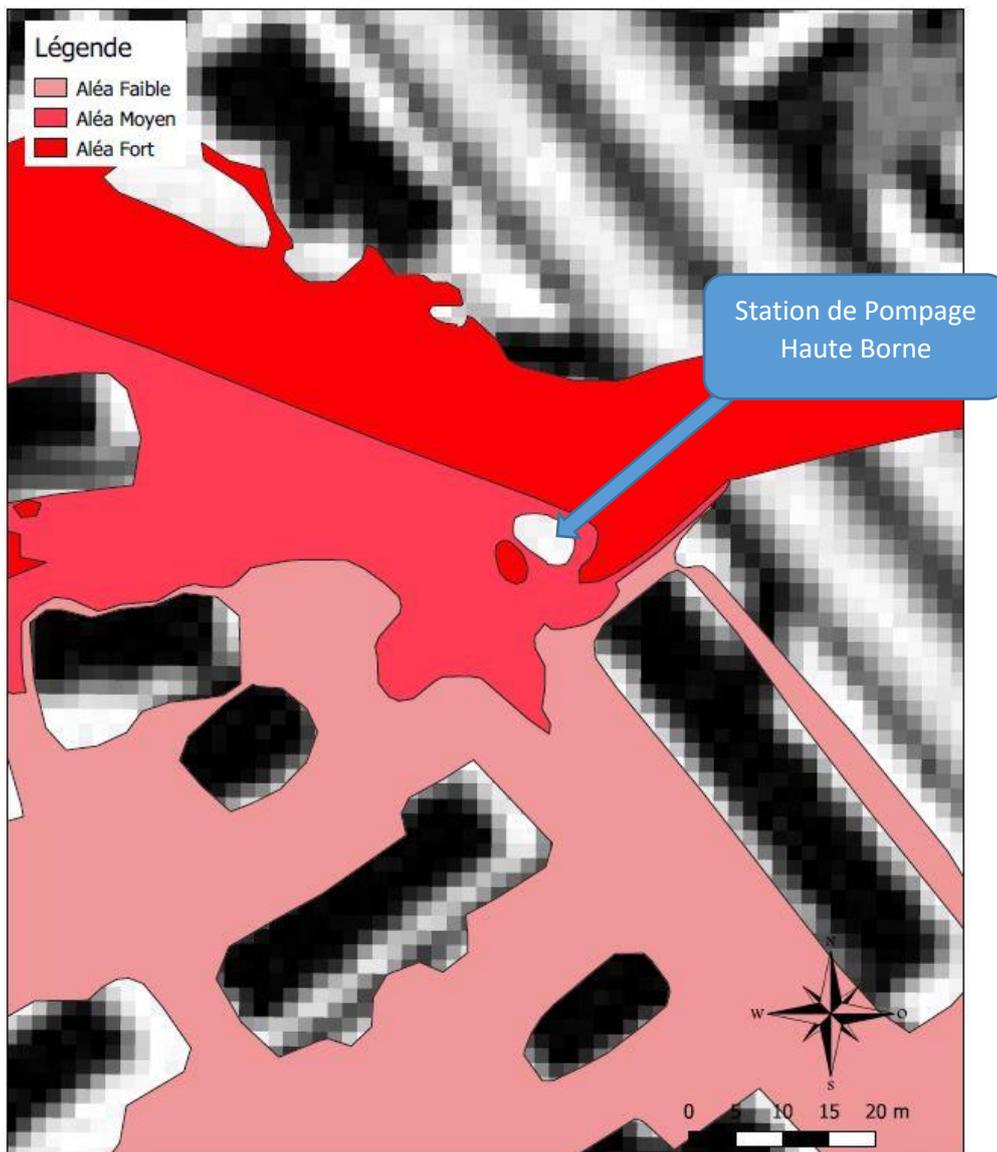


Figure 30 : Vue en plan de la zone inondé pour la crue T100 ans

Pour les résultats des autres simulations des différentes périodes de retour à partir de la crue T30 ans, ils sont mentionnés dans les annexes.

L'aléa a été obtenu au niveau de 5 stations de pompages après le croisement de deux grilles de vitesse et de la hauteur d'eau



La classification de l'aléa a été déterminée dans le paragraphe 3.6. Pour la station de pompage haute borne l'aléa est de type moyen comme il est montré dans la figure ci-dessus.

Tableau 6 : Type d'aléa par station

Station de pompage	Type d'aléa
Camélinat	Fort
Haute Borne	Moyen
Sablère	Faible
18 Avril	Faible
Complexe	Moyen

Les cartes des aléas pour les autres stations de pompage sont présentées dans les annexes.

3. PROPOSITION DES AMENAGEMENTS

Les aménagements qui sont proposés, ont pour objectif de protéger les stations contre les inondations de la crue centennale + 50 cm car elle représente la crue la plus impactante au niveau de l'aléa et des hauteurs d'eau maximales enregistrées.

Les préconisations ont pour objectif :

- Protection contre les inondations
- Réduction de vulnérabilité
- Protection des équipements

Les préconisations seront établies en fonction de l'aléa. Des exemples de préconisations qui seront étudiées, sont repris ci-dessous :

3.1. BATARDEAUX ANTI CRUE

Le batardeau est un système de protection contre les inondations et anti cure qui peut s'adapter à toutes les situations et tous les terrains. Ce barrage permet de se protéger de la montée des eaux. Il existe différentes sortes de barrières anti-inondations, à savoir : barrière métallique, barrière pneumatique, barrière en béton, barrière écluse, barrière automatique à détection de niveau, barrière démontable, barrière anti-inondation pour porte.



Figure 31 : Exemple de fonctionnement de Batardeau (source MSEI)

3.2. LES PORTES ET LES FENETRES ETANCHES

Les portes et les fenêtres sont considérées parmi les principales entrées des eaux dans les stations de pompage. Pour réduire ou éliminer l'infiltration des eaux il fallait étanchéifier les portes et les fenêtres en les changeant par des portes ou des fenêtres étanches généralement en aluminium.



Figure 32 : Porte étanche (source : ESTHI)

3.3. L'ELECTRICITE

Les armoires électriques et de télégestion ont un rôle très important dans la station de pompage car elles assurent le fonctionnement de la station et sa surveillance. La partie électrique est la partie la plus vulnérable et la plus sensible aux eaux dans toute la station. Ainsi, leurs protection se fait en relevant les armoires jusqu'à un niveau plus haut que le niveau des eaux et en les étanchéifiant. Par ailleurs, des contacts sont en cours avec ENEDIS pour le potentiel changement d'arrivée de câble EDF et la ligne téléphonique.

Les pompes de refoulement des eaux claires

Les pompes de refoulement des eaux claires servent à évacuer les eaux qui entrent dans la station durant la crue et de réduire le niveau d'eau afin de protéger les stations même si l'eau y pénètre.

3.4. LES GROUPES ELECTROGENES

Le groupe électrogène sert à assurer la continuité de fonctionnement de la station durant la coupure de l'électricité. De ce fait il parait justifier de le protéger et de l'ajouter à une station dans le cas de son absence. Ainsi, la protection de son réservoir de carburant.

3.5. SYSTEME D'ALERTE INONDATION

Le système d'alerte sert à informer les responsables des stations dès qu'il y a une intrusion des eaux dans la station et déclenche les pompes de refoulement des eaux claires.

A titre d'exemple, il sera par la suite présenté les aménagements proposés pour la station de pompage la plus vulnérable du site de l'étude.

3.6. LES AMENAGEMENTS PRECONISES POUR LE SITE DE CAMELINAT

Il existe deux stratégies principales pour réduire la vulnérabilité d'une station de pompage :

“Résister” : C'est-à-dire empêcher la pénétration de l'eau dans la station.

“Céder” : C'est-à-dire laisser l'eau entrer dans le bâtiment et prendre toutes les dispositions nécessaires à la limitation de l'endommagement et à la réduction du délai de retour à la normale.

Quelle que soit la stratégie retenue, il faut également prévoir de “mettre en sécurité” la station au moment de la crise¹. Pour le site de Camélinat, le choix a été fixé de faire les deux stratégies c'est à dire en premier lieu les aménagements préconisés vont servir à résister contre les écoulements et en deuxième lieu à céder en cas d'intrusion des eaux.

Le choix de commencer l'intervention en premier sur la station de pompage de Camélinat à été basé sur plusieurs facteurs :

- L'emplacement du site Camélinat : La station est touchée par l'inondation de deux cours d'eau (l'Orge et la Morte rivière).
- L'aléa au niveau de ce site et de type fort.
- Toute la Station est enterrée.
- Elle est parmi la plus grande station de pompage sur le secteur de SIVOA (3 pompes fonctionnent alternativement : 160 l/s par pompe).

¹Source : CEPRI



Figure 33 : Station de pompage Camélinat

Pour une crue centennale le niveau d'eau maximale enregistré est de l'ordre de 35.925 m NGF sachant que la station à une cote de 35 m NGF ainsi la vitesse maximale égale 0.12 m/s.

Il est remarquable que la partie électrique joue un rôle primordial dans le fonctionnement de la station. De ce fait il paraît justifier de construire une chambre à côté de la bache avec une cote au fond égale à 36.5 m NGF (hauteur minimale pour protection contre la crue centennale) dans le but de déplacer les armoires électriques et les armoires de télégestion et changer l'arrivée du câble EDF et la ligne téléphonique. Ainsi l'absence d'un groupe électrogène a été observée lors du diagnostic réalisé sur ce site. De ce fait, l'ajout d'un groupe électrogène paraît judicieux dans la nouvelle chambre construite en intégrant également un réservoir de carburant amarré pour ce groupe qui a la même cote au fond que celle de la chambre. Cette chambre sera construite sur pilotis pour laisser place à la libre circulation des écoulements durant la crue.

De plus, la pose de batardeaux sera réalisée qui entoureront la bache d'eau avec une hauteur de 1.5 m.

Les aménagements proposés dans le précédent paragraphe interviennent dans la stratégie de résister. Pour la deuxième stratégie on a opté d'installer une pompe de refoulement des eaux claires qui commencera à fonctionner une fois que l'eau dépassera le batardeau avec l'installation de système d'alerte inondation.

La phase de chiffrage des aménagements débutera prochainement au mois de novembre, elle sera réalisée sur la base d'une analyse coûts bénéfices qui permettra de définir la pertinence de la mise en place ou non des aménagements.

CONCLUSION

Le Travail fin d'étude n'est pas seulement un rapport technique qui étudie un problème quelconque au sein d'un stage bien déterminé. C'est un travail encore plus profond que cela, c'est ma première vraie occasion tout au long de mes années d'études à l'ESIM et l'ENGEES pour dessiner mon chemin et ma carrière professionnelle. Ce dernier me permet de passer de la théorie à la pratique, de l'imaginaire à la réalité, de la philosophie à l'obstacle tangible. Ce TFE représente ma vraie porte d'entrée pour l'insertion dans le monde du travail.

Ce stage était une opportunité pour apprendre plusieurs choses. Je cite en particulier la maîtrise de logiciel HEC RAS parce que c'était la première fois que je mets en contact avec ce logiciel. Dans ce projet, j'ai pris la réalisation de modélisation 1D couplé 2D et la modélisation 2D. Aussi, j'ai remarqué que le model 2D tourne moins rapide que le modèle 1D-2D et au niveau de stabilité, le modèle 2D à montrer moins d'instabilité que le modèle 1D-2D. De plus j'ai eu l'occasion aussi de pratiquer et de développer mes connaissances sur le logiciel QGIS. Ainsi, l'esprit de travailler en équipe au sein d'un bureau d'étude porté technique.

Les moments difficiles de ce travail étaient la création de la jonction dans le modèle 1D couplé 2D parce que le modèle a montré beaucoup d'instabilité malgré plusieurs essaye de le stabilise. Et je cite aussi le calage de modèle 2D.

Les résultats obtenus lors de la modélisation ont permis d'établir des cartes d'aléas qui ont permis de hiérarchiser la vulnérabilité des stations de pompage. Le niveau de sensibilité de chacune des stations a servi de base pour les préconisations d'aménagements qui ont pour objectif soit de protéger l'installation soit de permettre un retour de fonctionnement à la normale plus rapide.

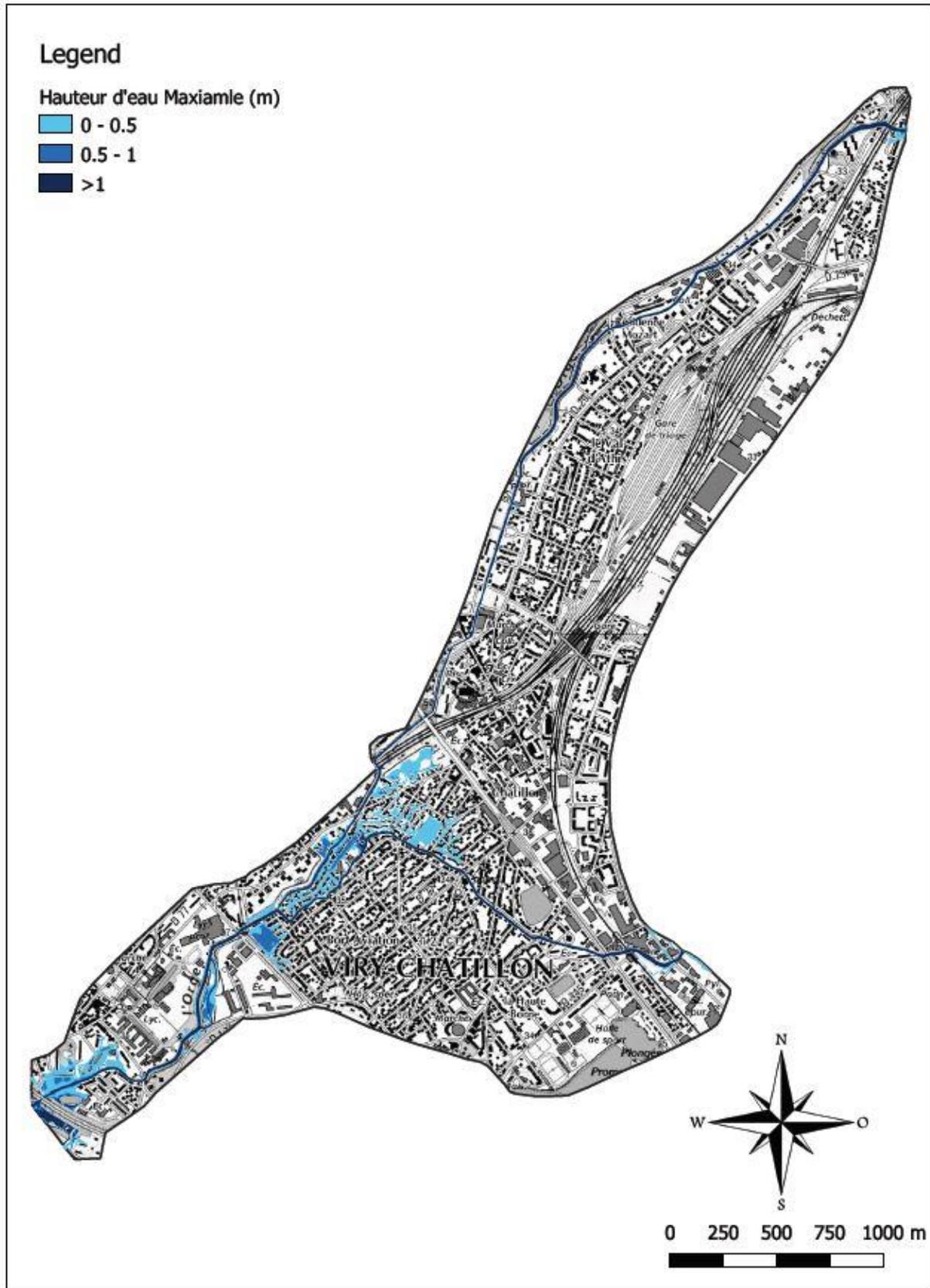
Concernant la protection contre les inondations des stations de pompage. Je pense qu'il faut prendre en considération ce risque lors de la construction des futures stations de pompages et ouvrages des systèmes d'assainissement qui seront situées en zone inondable car les stations de pompage du SIVAO n'ont aucune protection malgré le fait qu'elles soient situées au bord de l'orge. Je cite en particulier la station de pompages Camélinat qui est situé entre les deux bras de l'Orge et est inondée des deux côtés.

BIBLIOGRAPHIE

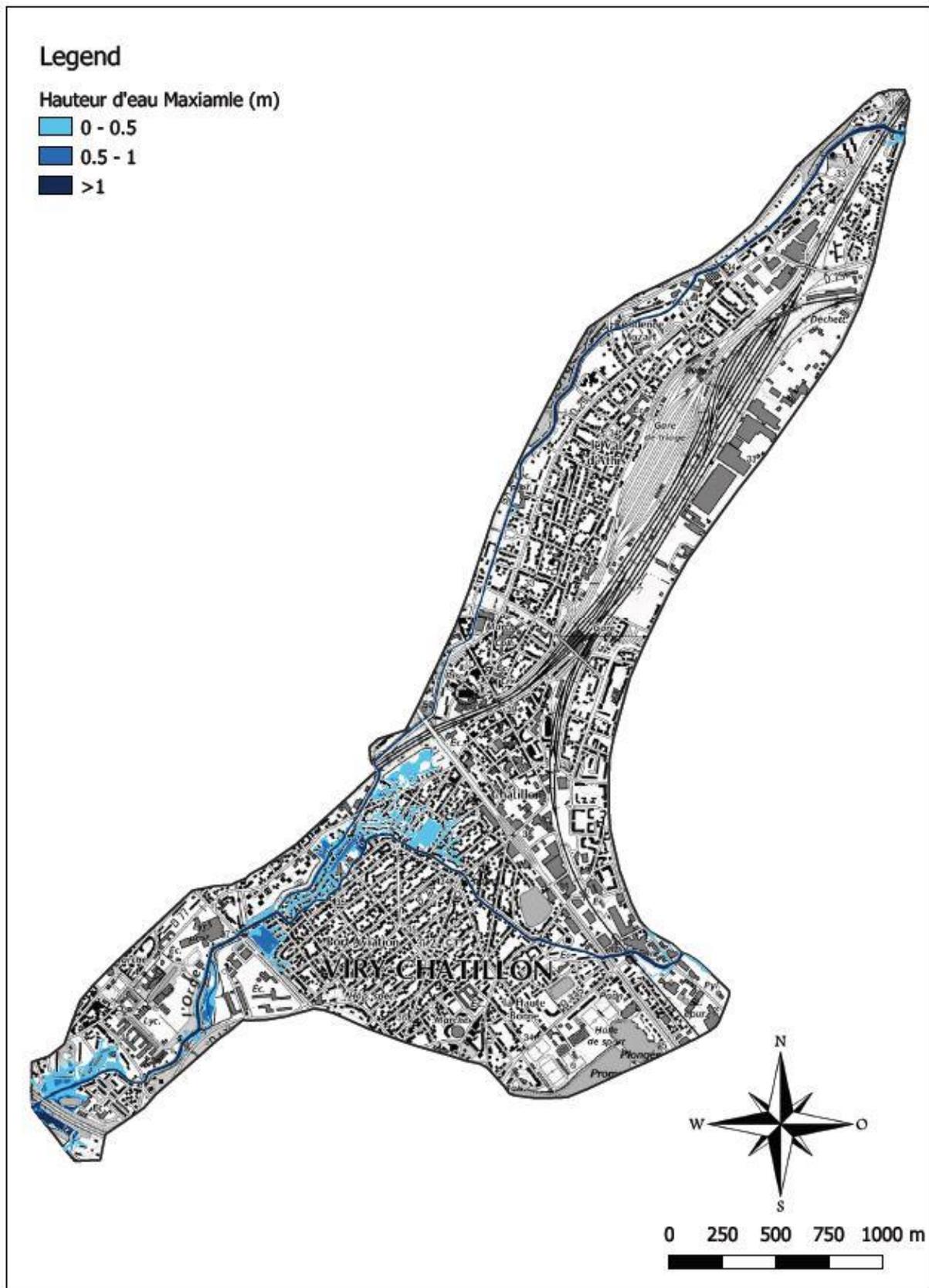
- Ministère de la transition écologique et solidaire. 2018.** *Prévention des inondations [En ligne] 2018.* [Consulté le 20/08/2018] <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/prevention-des-inondations>.
- Première évaluation nationale des risques d'inondation. 2011.** *Principaux résultats [En ligne] 2011.* [Consulté le 20/08/2018] https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/EPRI-Principaux-resultats_120712.pdf.
- QGIS. 2018.** Manuel d'utilisation de QGIS [En ligne] 2018. [Consulté le 13/06/2018] https://docs.qgis.org/2.18/fr/docs/user_manual/preamble/foreword.html.
- RIVERGIS. 2018.** *Step by step : HEC-RAS 1D Geometry [En ligne] 2018.* [Consulté le 12/09/2018] http://rivergis.com/ras1d_geometry.html.
- Proust, S. 2006.** *Hydraulique des crues et des écoulements débordants, 2016.*
- BOZONNET, Antoine. 2015.** *Etude hydraulique de définition des travaux de lutte contre les inondations de la Zorn et de la Zinsel-du-Sud (67). Travail de fin d'études, Ingénieur ENGEES, 2015.*
- BETSHOLTZ, Alexander. 2017.** *Potentials and limitations of 1D, 2D and coupled 1D-2D flood modelling in HEC-RAS, 2017.*
- SHI, Yu-e. 2006.** *Résolution numérique des équations de Saint-Venant par la technique de projection en utilisant une méthode des volumes finis dans un maillage non structuré, 2006.*
- SETEC HYDRATEC. 2017.** *Etude Hydraulique de la morte rivière, 2017.*
- Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Energie Île-de-France. 2017.** *Risque inondation des vallées de l'Orge et de la Sallemouille dans les départements de l'Essonne et des Yvelines, [En ligne] 2017.* [Consulté le 19/09/2018] http://www.essonne.gouv.fr/content/download/21717/179496/file/2-PPRI_OS-Notice-16-06-2017.pdf.
- BINCKLY, Sabine. 2013.** *Aménagements de lutte contre les inondations sur le bassin versant de la Mossig (Bas-Rhin) : Aide à la décision par la réalisation d'une Analyse Coût-Bénéfice et d'une Analyse Multicritères. Travail de fin d'études, Ingénieur ENGEES, 2015.*
- Elvia Group. 2017.** *Etude de diagnostic de la vulnérabilité de deux sites du ministère de l'intérieure face au risque inondation, 2017.*
- CEPRI. 2015.** *Comment saisir les opérations de renouvellement urbain pour réduire la vulnérabilité des territoires inondables face au risque d'inondation ? Principes techniques d'aménagement, 2015.*
- CEPRI. 2010.** *Guide méthodologique - Le bâtiment face à l'inondation, 2010.*

Annexes

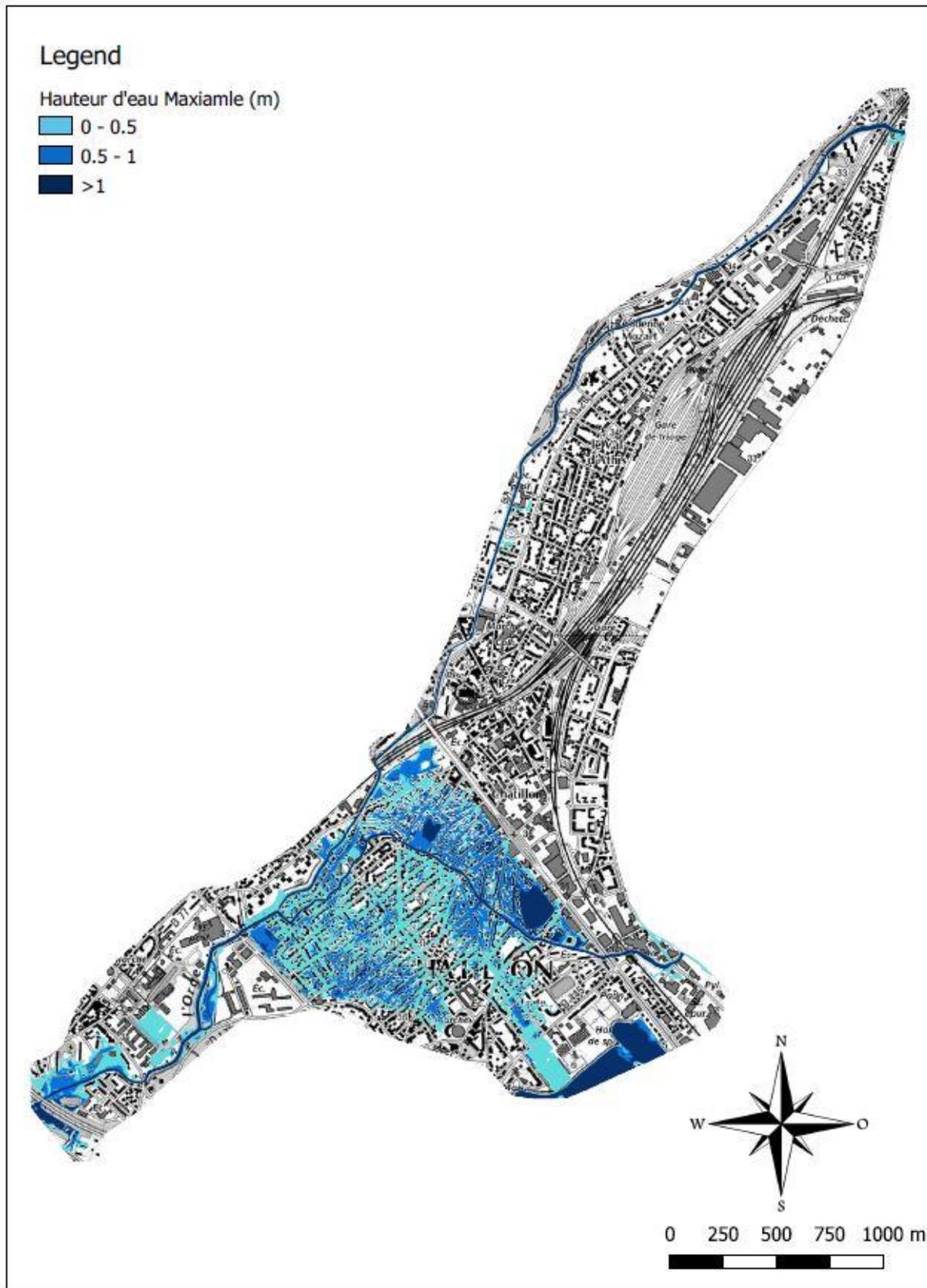
Annexes 1 : vue en plan des zones inondables pour la crue de 2016



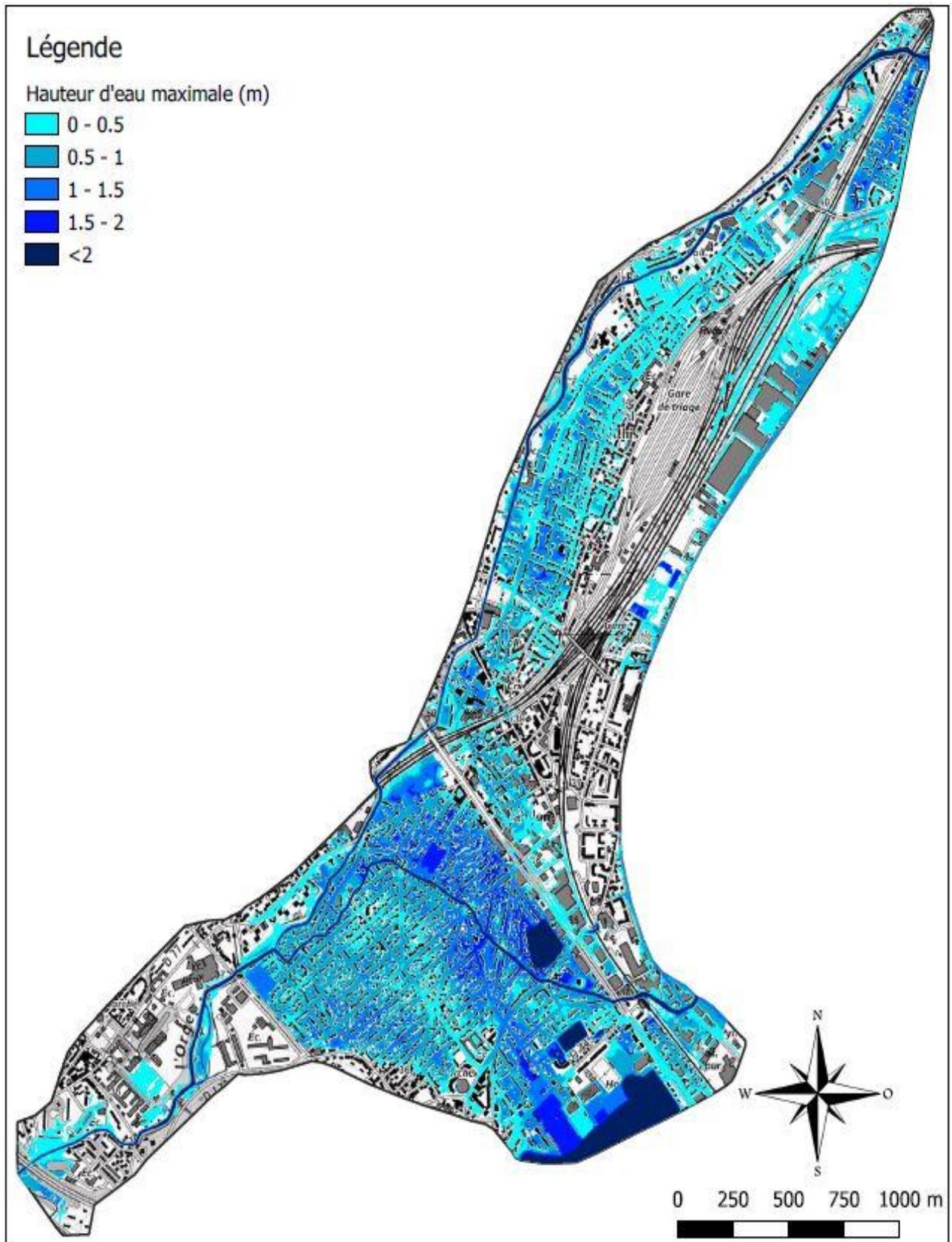
Annexes 2 : vue en plan des zones inondables pour la crue T30



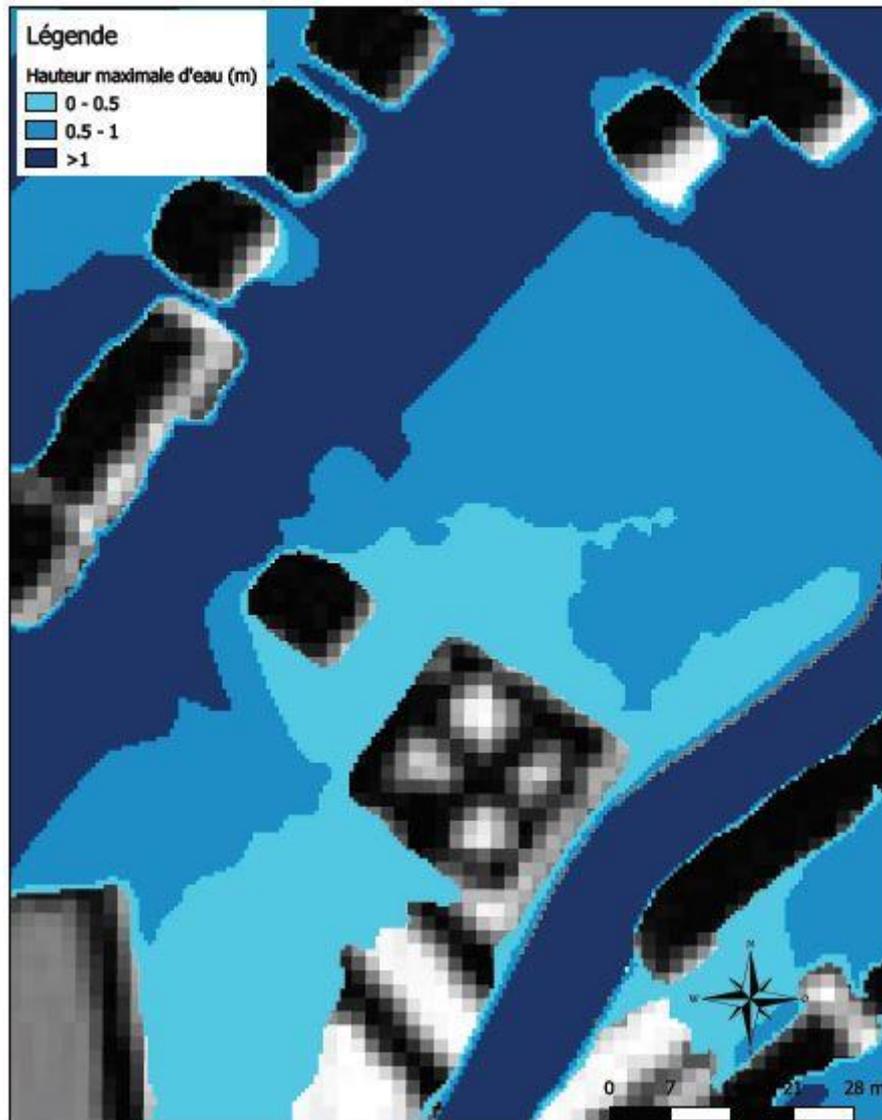
Annexe 3 : vue en plan des zones inondables pour la crue T50



Annexe 4 : vue en plan des zones inondables pour la crue T100



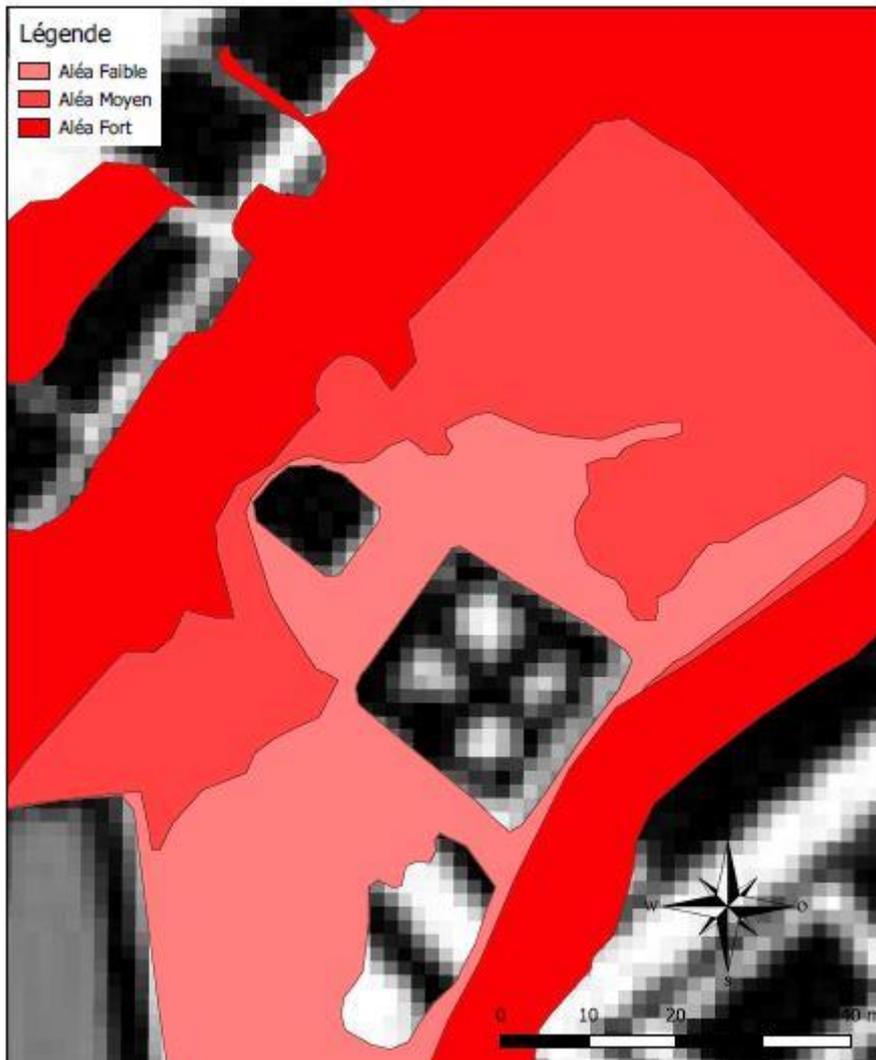
Annexe 5 : Carte des Hauteurs d'eau au niveau de la station de pompage Camélinat



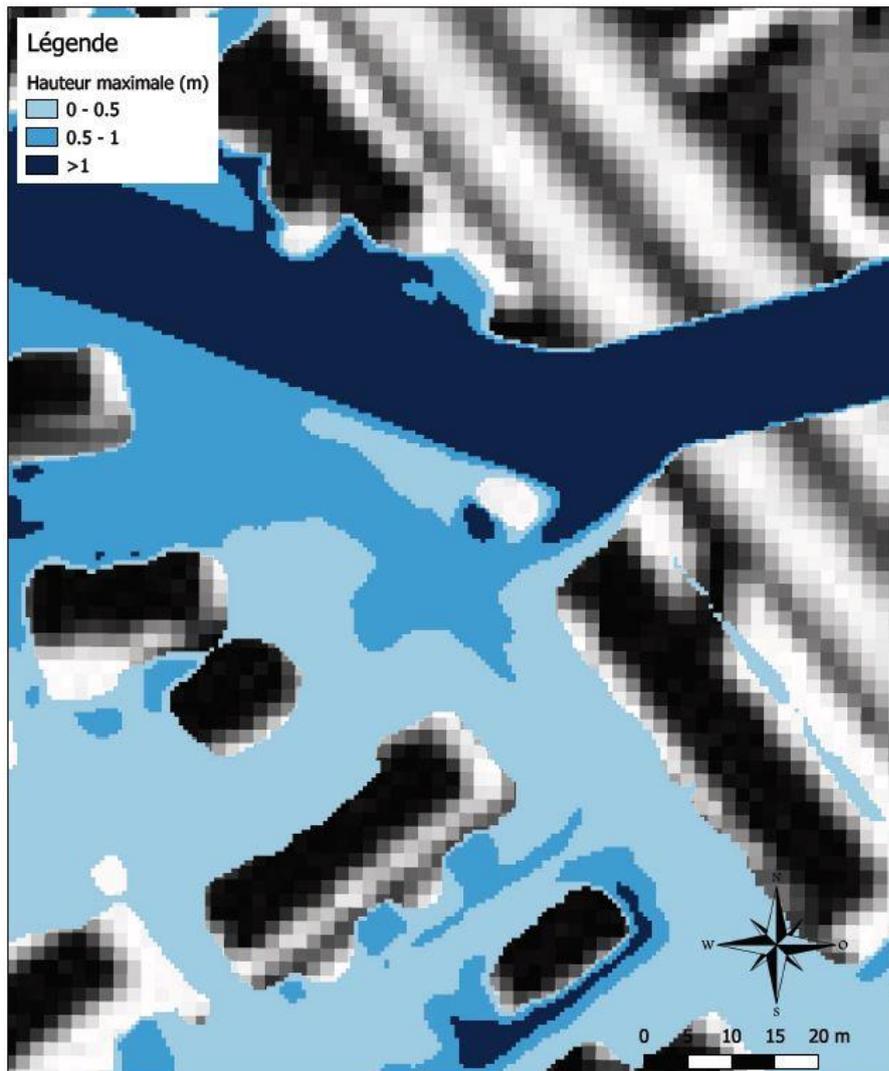
Annexe 6 : Carte des vitesses au niveau de la station de pompage Camélinat



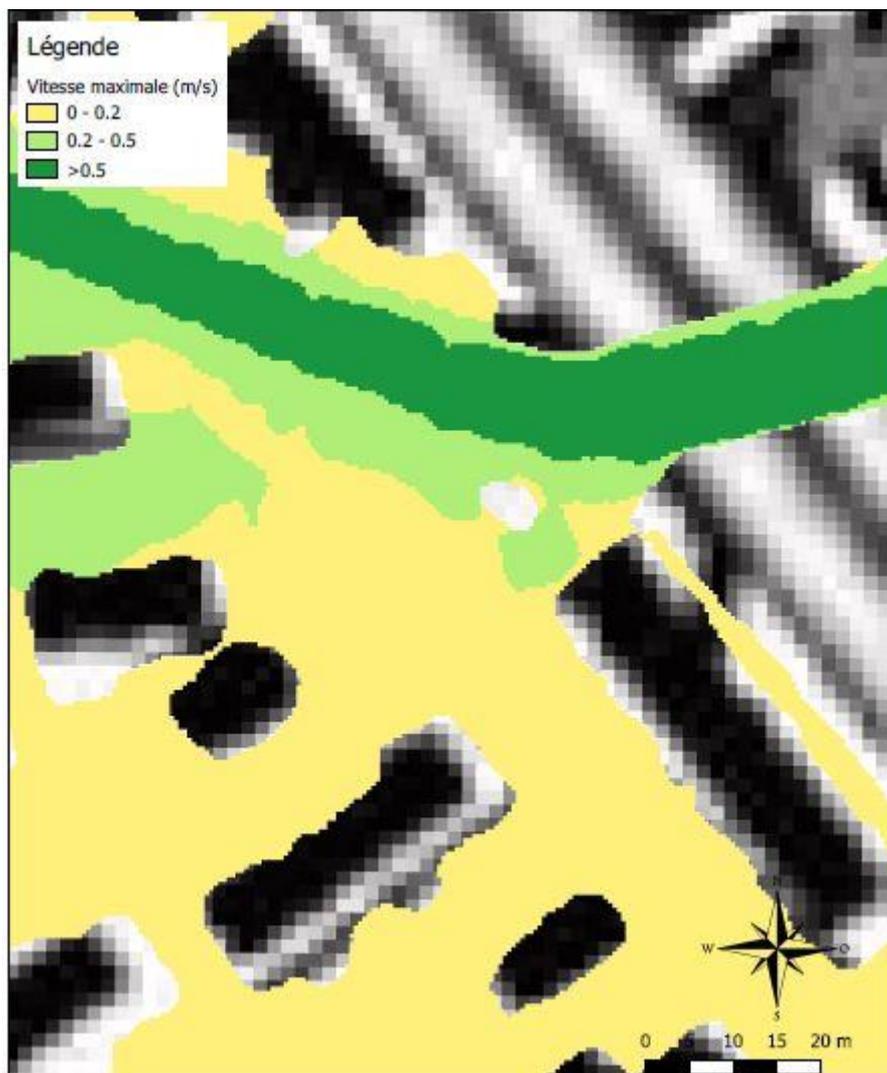
Annexe 7 : Carte des aléas au niveau de la station de pompage Camélinat



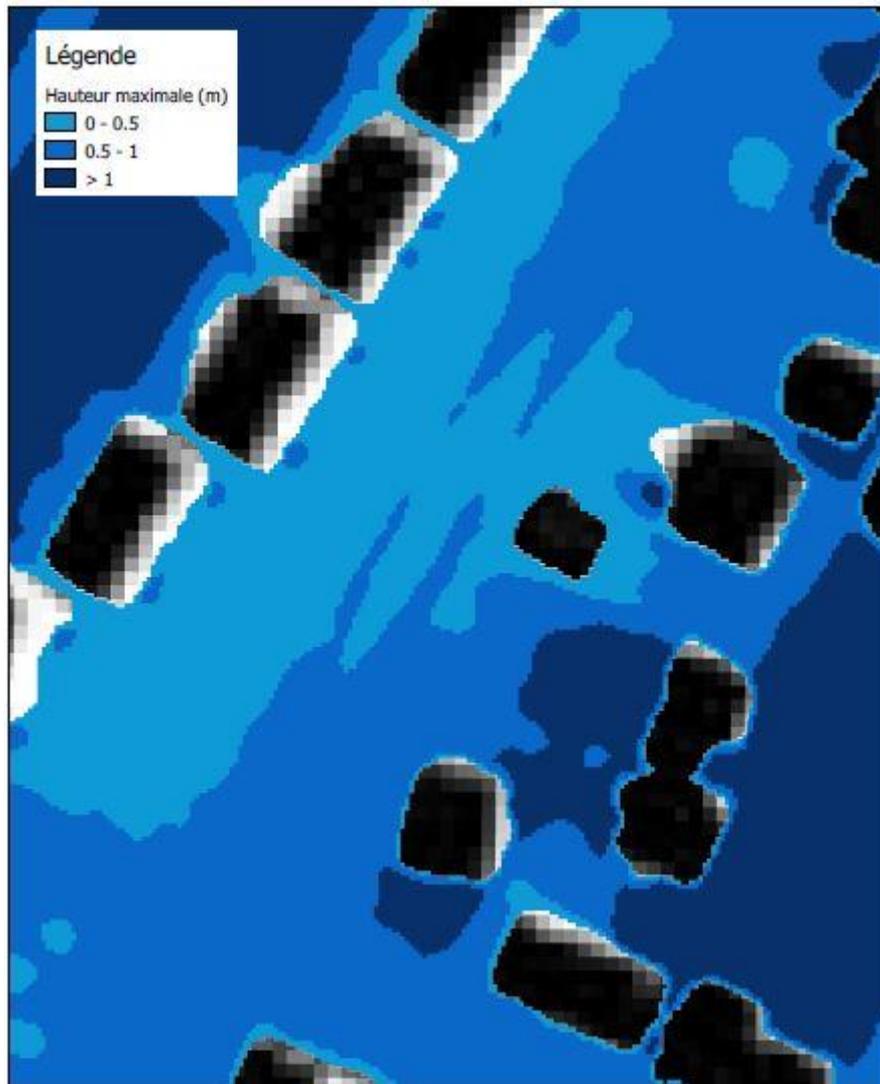
Annexe 8: Carte des Hauteurs d'eau au niveau de la station de pompage Haute Borne



Annexe 9 : Carte des vitesses au niveau de la station de pompage Haute Borne



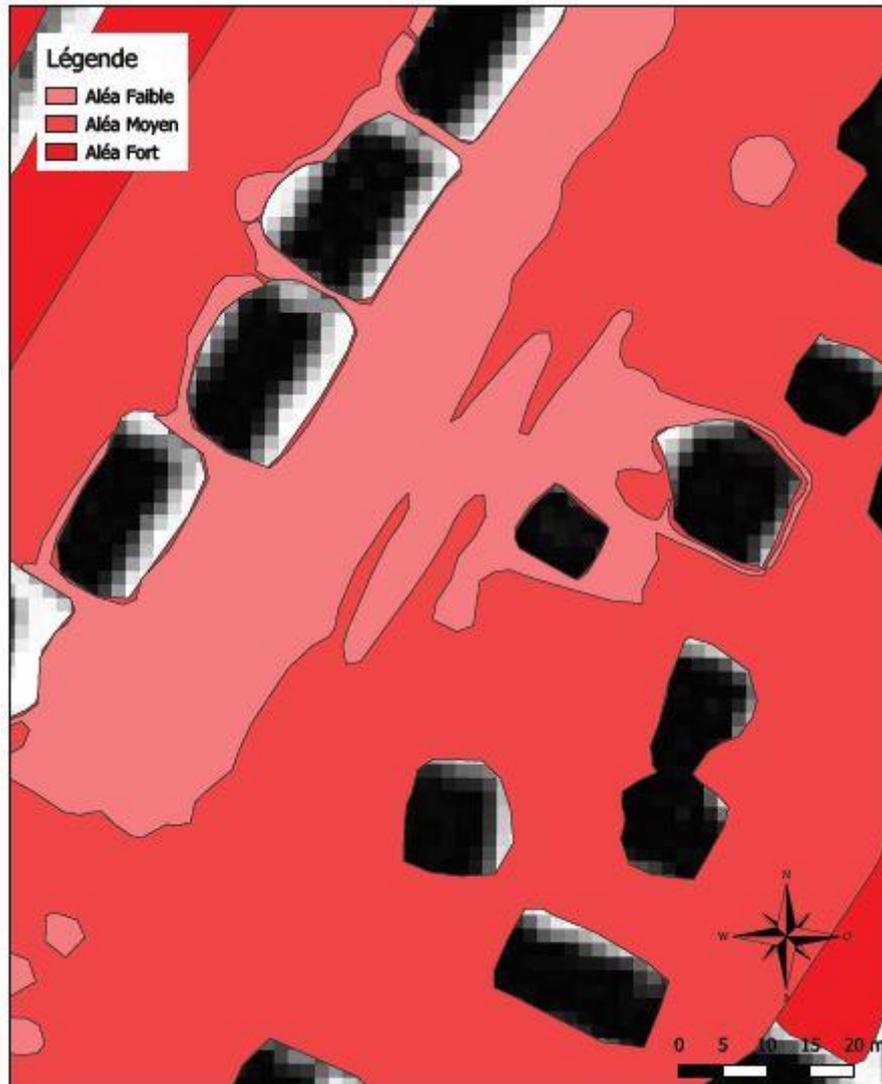
Annexe 10 : Carte des hauteurs d'eau au niveau de la station de pompage 18 Avril



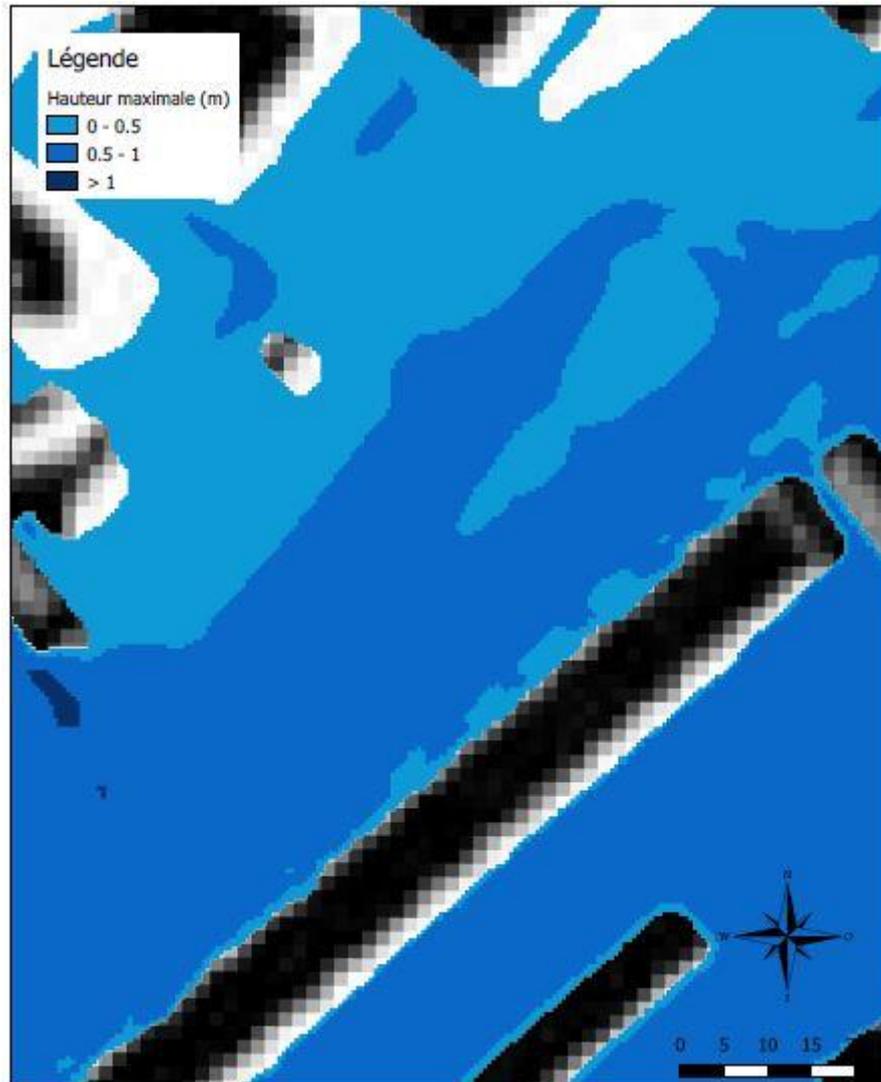
Annexe 11 : Carte des vitesses au niveau de la station de pompage 18 Avril



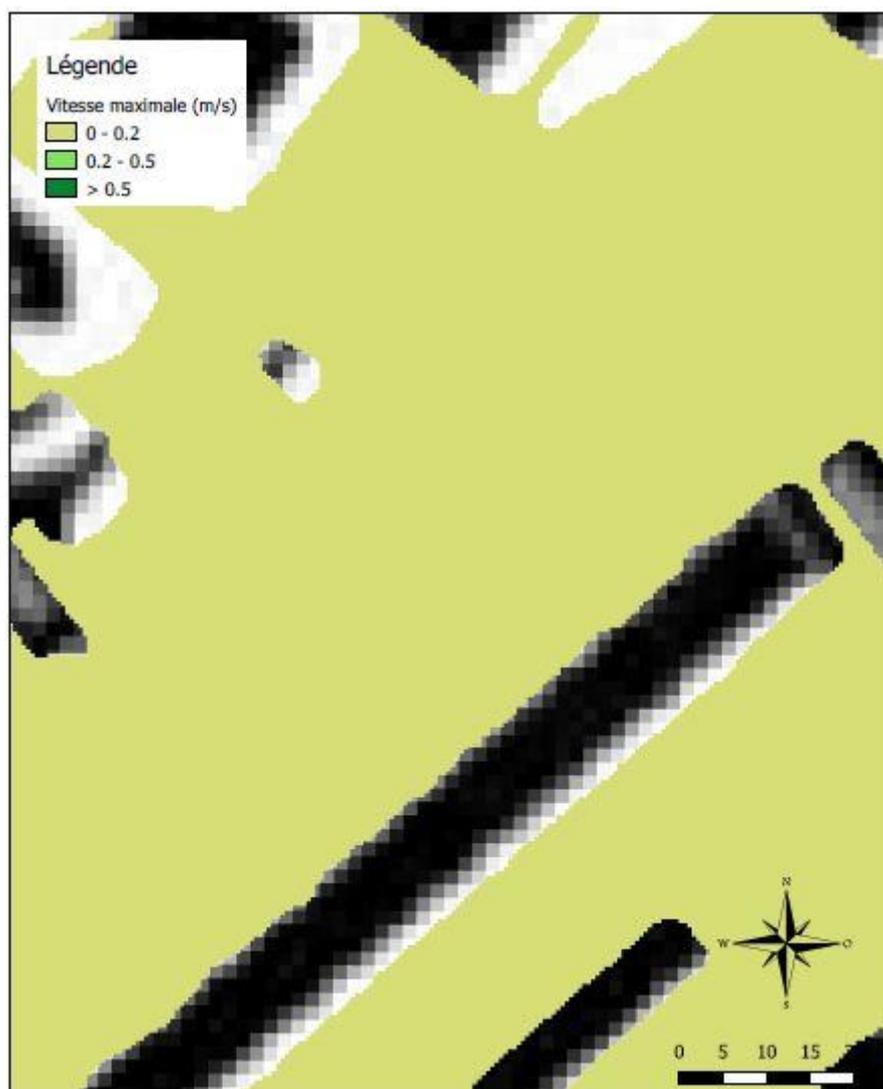
Annexe 12 : Carte des vitesses au niveau de la station de pompage 18 Avril



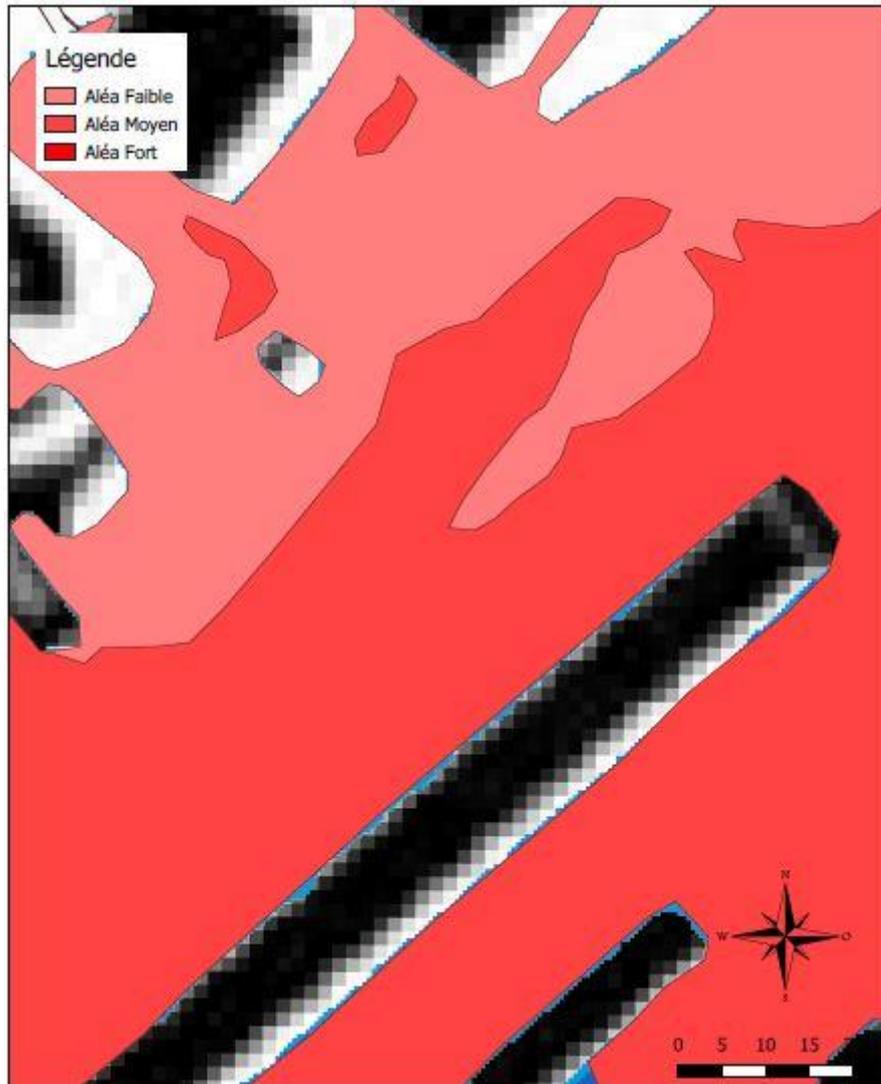
Annexe 13 : Carte des hauteurs d'eau au niveau de la station de pompage Sablière I



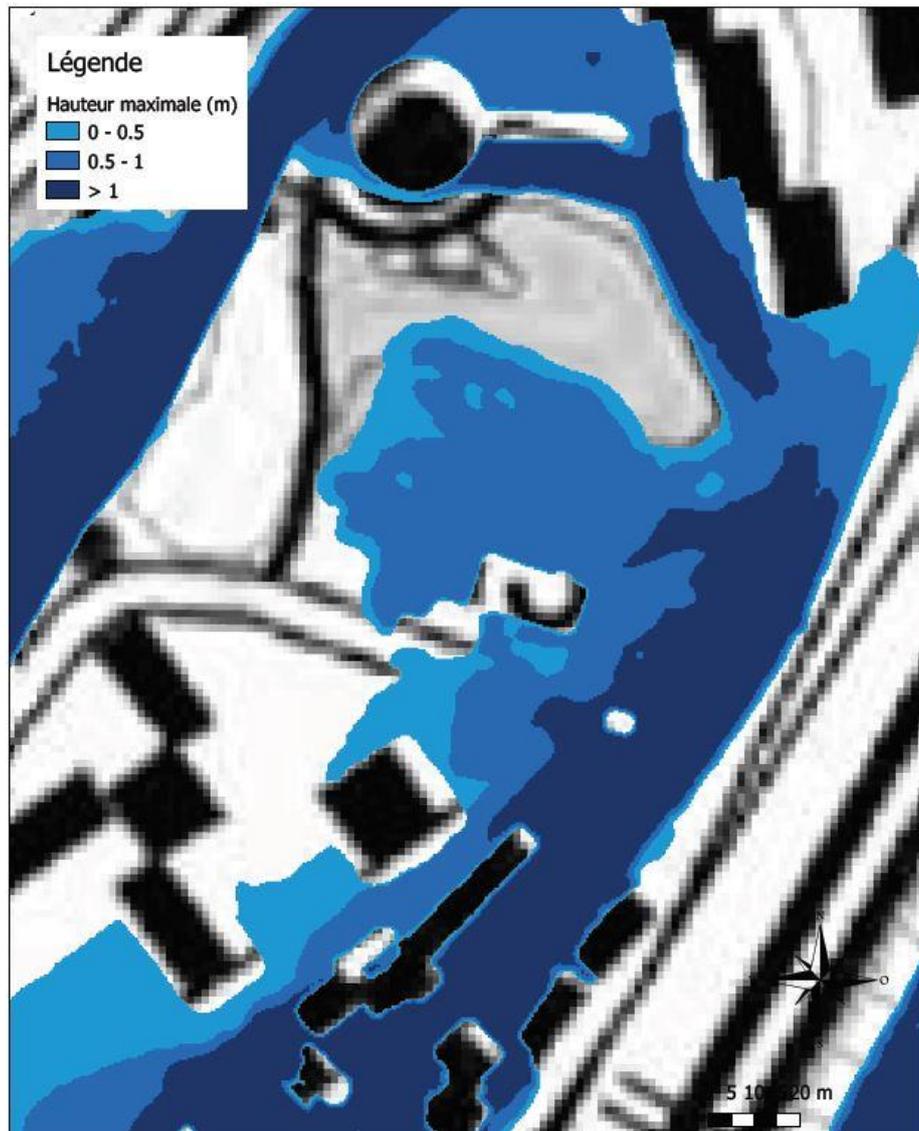
Annexe 14 : Carte des vitesses au niveau de la station de pompage Sablière



Annexe 15 : Carte des aléas au niveau de la station de pompage Sablière



Annexe 15 : Carte des Hauteurs au niveau de la station de pompage Sablière



Annexe 15 : Carte des vitesses au niveau de la station de pompage Sablière

