



HAL
open science

Définition de l'aléa inondation au travers d'une modélisation hydraulique 2D sur la commune de Trets (13)

Falko Luz

► **To cite this version:**

Falko Luz. Définition de l'aléa inondation au travers d'une modélisation hydraulique 2D sur la commune de Trets (13). Sciences de l'ingénieur [physics]. 2019. dumas-03552915

HAL Id: dumas-03552915

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03552915v1>

Submitted on 2 Feb 2022

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

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

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

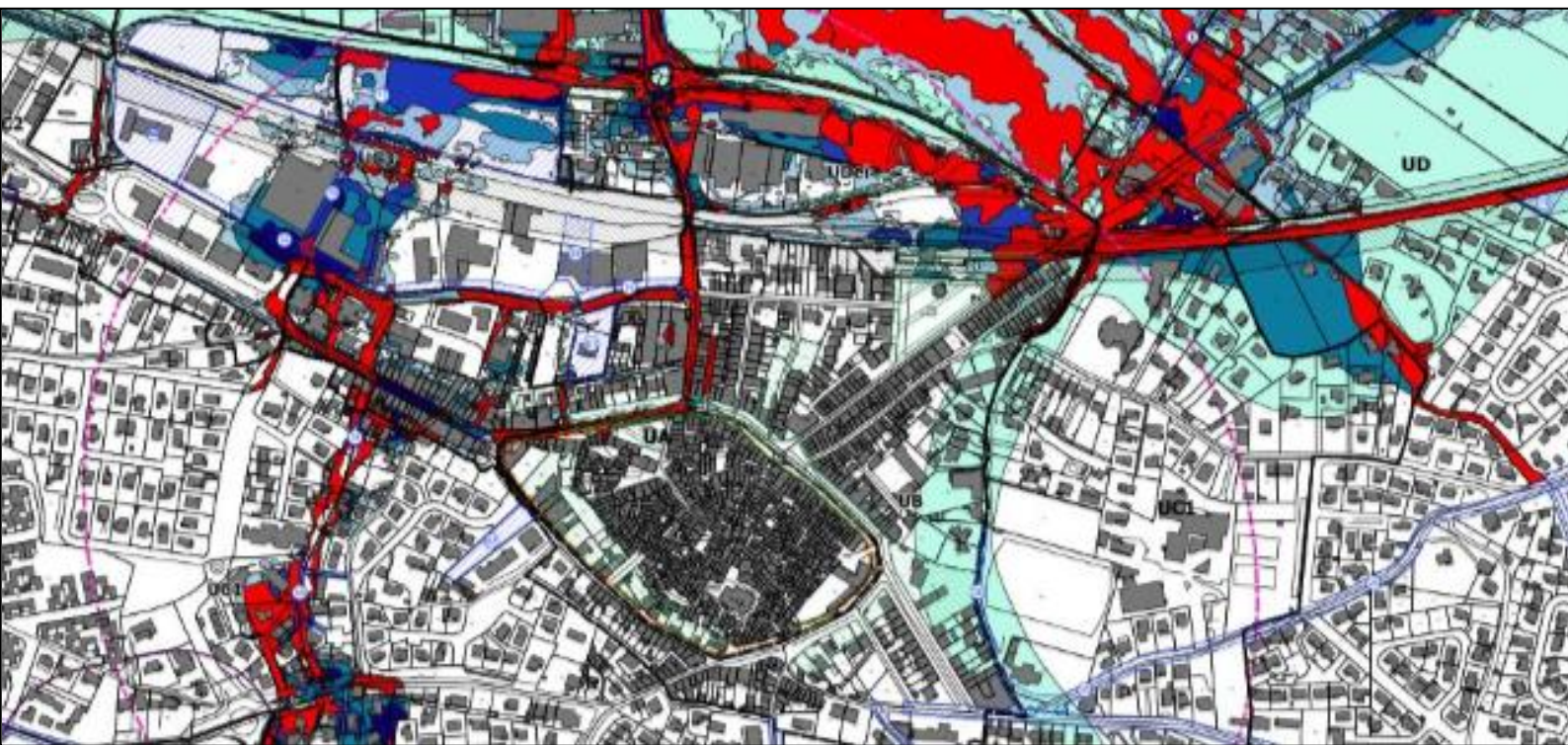
DEFINITION DE L'ALEA INONDATION AU TRAVERS D'UNE MODELISATION HYDRAULIQUE 2D SUR LA COMMUNE DE TRETZ (13)

Falko LUZ

Promotion Grand Lyon

Octobre 2019

**Stage réalisé du 20.03.2019 au 30.08.2019 à
Vauvenargues, Bouches-du-Rhône, France**



Remerciements

Je remercie, tout d'abord, l'ensemble des personnes extérieures au bureau AquaGeoSphere qui m'ont accordé leur temps pour me fournir les éléments nécessaires à la réalisation de cette étude.

Un grand merci ensuite à Zoran Kaufmann et Aurélien Beaumont, ingénieurs d'AquaGeoSphere, qui ont su se montrer disponibles en tout instant pour ma formation et pour répondre à mes interrogations.

Je remercie aussi Quentin Russo, stagiaire en ma compagnie, pour son enthousiasme au quotidien.

Mes remerciements les plus sincères vont également à Angélique Guyot dont l'aide s'est toujours révélée précieuse.

Mais enfin, et surtout, c'est à mon maître de stage, Pierre-Emile Van Laere, que je porte toute ma reconnaissance et mes plus sincères remerciements pour m'avoir offert la possibilité de mener mon stage de fin d'études à AquaGeoSphere. Il a également toujours su m'encadrer avec bienveillance et rester disponible et à mon écoute. Je le remercie pour la confiance qu'il a su m'accorder tout au long de cette étude.

Résumé

Définition de l'aléa inondation au travers d'une modélisation hydraulique 2D sur la commune de Trets (13).

En 2017, la commune de Trets a approuvé une révision de son Plan Local d'Urbanisme. La cartographie du risque inondation sur son territoire a notamment été redéfinie par le bureau d'études ARTELIA. Une réglementation plus précise concernant les aménagements en zone inondable y a été ajoutée.

M. Ferrante, propriétaire d'un terrain repris en zone inondable selon un aléa à déterminer, a déposé une demande d'aménagement de sa parcelle. Afin de pouvoir étudier sa demande, la mairie de Trets a demandé qu'une étude hydraulique précise et quantifie le risque au droit du présent projet.

Cette étude a été réalisée par le bureau d'études AquaGeoSphere au travers d'une modélisation hydraulique 2D. L'emprise du modèle a été conçue à l'échelle du bassin versant amont au projet. Les hypothèses prises sur le débit de référence centennal injecté dans le modèle, estimé à 11 m³/s, et sur les coefficients de rugosité ont été vérifiées par une analyse de sensibilité.

Les hauteurs d'eau maximales obtenues sur la parcelle sont inférieures à 0,5 m. Les vitesses d'écoulement maximales sont globalement inférieures à 1 m/s sur la partie ouest de la parcelle mais sont cependant supérieures à 1 m/s en partie est de la parcelle.

Suite au croisement réglementaire des hauteurs et des vitesses d'écoulement, la partie ouest du terrain est en zone d'aléa modéré et donc constructible. En revanche, du fait des vitesses d'écoulement élevées, la partie est située en zone d'aléa fort, y rendant impossible tout aménagement.

Abstract

Definition of flood hazard through 2D hydraulic modelling in the municipality of Trets (13), France.

In 2017, the municipality of Trets approved a revision of its Local Urban Plan. The mapping of flood risk on its territory has been redefined by the ARTELIA engineering office. More precise regulations concerning urban developments in flood-prone areas have been added.

Mr. Ferrante, owner of a land located on a floodplain where the hazard is not defined, has filed an application to develop his parcel. In order to be able to study its request, the city requested that a hydraulic study should specify and quantify the risk on the present project.

This study was conducted by the AquaGeoSphere engineering office using 2D hydraulic modelling. The model footprint was designed at the scale of the catchment upstream of the project. The assumptions made about the 100-year reference flow rate injected into the model, estimated at 11 m³/s, and about the roughness coefficients were verified by a sensitivity analysis.

The maximum water levels obtained on the plot are less than 0.5 m. The maximum flow velocities are generally less than 1 m/s on the western part of the plot but are over 1 m/s on the eastern part of the plot.

Following the crossing of heights and flow velocities designed in the Local Urban Plan, the western part of the site is in a moderate risk zone and therefore is constructible. On the other hand, due to the high flow velocities, the eastern part is located in a high hazard zone, making it impossible to develop it.

TABLE DES MATIERES

Remerciements	1
Résumé	2
Abstract	3
Liste des figures	5
Liste des tableaux	7
Liste des sigles	8
INTRODUCTION	9
1. CONTEXTE DE L'ETUDE	10
1.1. Présentation générale de la commune de Trets	10
1.2. Contexte hydrographique de la commune	11
1.3. Etat des lieux des connaissances sur le risque inondation	12
1.3.1. Avant l'étude ARTELIA 2016-2017	12
1.3.2. Etude ARTELIA 2016-2017	14
1.4. Contexte réglementaire sur la commune	15
1.4.1. Cartographie du risque inondation	15
1.4.2. Réglementation associée au risque inondation	17
1.5. Localisation et objet de la mission	18
1.6. Bassin versant en amont de la parcelle	19
2. CONSTRUCTION DU MODELE HYDRAULIQUE	21
2.1. Modèle utilisé	21
2.2. Emprise du modèle	22
2.3. Données topographiques	23
2.4. Conditions aux limites	24
2.4.1. Condition limite amont	24
2.4.2. Condition limite aval	26
2.4.3. Coefficient de rugosité	26
2.5. Maillage du modèle	27
2.6. Analyse de sensibilité	28
3. RESULTATS DE LA MODELISATION	31
3.1. Résultats bruts	31
3.2. Résultats lissés	32
3.2.1. Méthode 1 : lissage manuel	33
3.2.2. Méthode 2 : lissage « en pyramide »	35
3.2.3. Méthode 3 : lissage « en pyramide »	43
3.2.4. Choix de la méthode conservée	45
3.3. Conclusions d'après la réglementation	46
CONCLUSION	47
BIBLIOGRAPHIE	48
LISTE DES ANNEXES	49

Liste des figures

Figure 1 : Localisation de la commune de Trets (13) (Source : Google Maps, 2019)	10
Figure 2 : Réseau hydrographique de la commune de Trets (Source : Géoportail, 2019)	12
Figure 3 : Grilles de croisement des hauteurs et des vitesses (Source : Rapport de présentation du PLU de Trets, 2017)	15
Figure 4 : Carte de zonage du risque inondation sur la commune de Trets.....	16
Figure 5 : Localisation du projet à Trets (13) (Source : IGN (Institut National de l'Information Géographique et Forestière))	18
Figure 6 : Localisation du projet et du bassin versant intercepté à Trets (13) (Source : QGIS, 2019).....	19
Figure 7 : Définition des écoulements préférentiels au sein du bassin versant amont du projet à Trets (13) (Source : QGIS, 2019).....	20
Figure 8 : Délimitation du modèle sur la commune de Trets (13) (Source : QGIS, 2019)	22
Figure 9 : Données topographiques exploitées pour le modèle (Source : RGE ALTI 1m® de l'IGN)	23
Figure 10 : Hydrogramme représentant l'événement injecté dans le modèle (Source : HEC-RAS, 2019)	25
Figure 11 : Localisation à Trets (13) de l'injection du débit dans le modèle (Source : QGIS, 2019).....	25
Figure 12 : Couverture du sol sur la commune de Trets (13) (Source : CLC, 2012).....	27
Figure 13 : Maillage utilisé pour le modèle (Source : HEC-RAS, 2019).....	28
Figure 14 : Taux de variation de la hauteur d'eau et de la vitesse d'écoulement modélisées en fonction de la variation du débit injecté	30
Figure 15 : Taux de variation de la vitesse d'écoulement modélisée en fonction de la variation des coefficients de rugosité.....	30
Figure 16 : Grille de croisement de l'aléa inondation avec attribution de valeurs propres à chaque aléa (Source : Rapport de présentation du PLU de Trets, 2017).....	31

Figure 17 : Exemples de pixels à éliminer au niveau de la parcelle de M. Ferrante, Trets (13) (Source : QGIS, 2019).....	32
Figure 18 : Code couleur attribué au raster selon la valeur de l'aléa (Source : QGIS, 2019) ...	33
Figure 19 : Exemples de polygones couvrant les pixels à modifier (Source : QGIS, 2019)	33
Figure 20 : Résultat du lissage manuel au droit de la parcelle (Source : QGIS, 2019).....	34
Figure 21 : Schéma de la superposition des différentes couches d'aléas.....	35
Figure 22 : Fenêtre d'accueil de la Calculatrice Raster (Source : QGIS, 2019).....	36
Figure 23 : Masque non-binaire au droit de la parcelle (Source : QGIS, 2019)	36
Figure 24 : Masque binaire au droit de la parcelle (Source : QGIS, 2019)	37
Figure 25 : Raster de l'aléa faible après découpage au droit de la parcelle (Source : QGIS, 2019).....	38
Figure 26 : Fenêtre de paramétrage de l'outil <i>Buffer</i> (Source : QGIS, 2019).....	39
Figure 27 : Vecteur de l'aléa faible après utilisation d'un <i>Buffer</i> 2m au droit de la parcelle (Source : QGIS, 2019).....	39
Figure 28 : Vecteur de l'aléa faible après utilisation d'un <i>Buffer</i> inverse -2m au droit de la parcelle (Source : QGIS, 2019).....	40
Figure 29 : Couche vectorielle finale de l'aléa faible au droit de la parcelle et à l'échelle du bassin versant amont (Source : QGIS, 2019).....	40
Figure 30 : Raster binaire de l'aléa faible à modéré après isolation du raster initial au droit de la parcelle (Source : QGIS, 2019)	41
Figure 31 : Masque binaire de l'aléa faible à modéré au droit de la parcelle (Source : QGIS, 2019).....	42
Figure 32 : Hiérarchisation des couches d'aléas pour la cartographie de l'aléa inondation sur l'emprise du modèle (Source : QGIS, 2019)	43
Figure 33 : Comparaison de la carte d'aléa inondation brute avec la carte d'aléa inondation lissée (Source : QGIS, 2019)	43

Figure 34 : Comparaison des cartes d'aléa inondation brute et des méthodes de lissage 2 et 3 (Source : QGIS, 2019).....	43
Figure 35 : Vecteur de l'aléa faible obtenu après vectorisation du raster initial au droit de la parcelle (Source : QGIS, 2019).....	44
Figure 36 : Vecteur de l'aléa faible après utilisation d'un <i>Buffer</i> 1m au droit de la parcelle (Source : QGIS, 2019).....	44
Figure 37 : Comparaison des couches d'aléas faibles finales des méthodes 2 et 3 (Source : QGIS, 2019).....	45

Liste des tableaux

Tableau 1 : Liste des états de catastrophe naturelle sur la commune de Trets (Source : DICRIM, 2010).....	11
Tableau 2 : Couverture du sol sur la commune de Trets (13) (Source : CLC, 2012)	26

Liste des sigles

AZU	Autres Zones Urbanisées
CLC	Corine Land Cover
CU	Centre Urbain
DDTM	Direction Départementale des Territoires et de la Mer
DICRIM	Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs
EPCI	Etablissement Public de Coopération Intercommunale
HECRAS	<i>Hydrologic Engineering Centers River Analysis System</i>
HGM	Hydrogéomorphologique
IGN	Institut National de l'Information Géographique et Forestière
LIDAR	<i>Light Detection and Ranging / Laser Detection and Ranging</i>
MNT	Modèle Numérique de Terrain
PHE	Cote des Plus Hautes Eaux
PLU	Plan Local d'Urbanisme
QGIS	Quantum Geographic Information System
RGE	Référentiel à Grande Echelle
SAGE	Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SCoT	Schéma de Cohérence Territoriale
SCP	Semi-Automatic Classification Plugin
SIG	Système d'Information Géographique
TN	Cote du Terrain Naturel
TRI	Territoire à Risques Importants d'Inondation
USACE	U.S. Army Corps of Engineers
ZAC	Zone d'Aménagement Concerté
ZPPU	Zone Peu ou Pas Urbanisée

INTRODUCTION

Le département des Bouches-du-Rhône est un territoire soumis à des épisodes pluvieux parfois violents [4]. Plusieurs communes du département sont affectées par des inondations rapides dues aux débordements de leurs réseaux pluviaux. Certains de ces événements sont pourtant maîtrisables. Ainsi, de nombreuses communes du département ont récemment approuvé un Plan de Prévention du Risque Inondation (PPRI) (Annexe 1) et révisé leur Plan Local d'Urbanisme (PLU) afin de réorienter leur urbanisation vers les secteurs présentant moins de risques [8].

Ainsi, la commune de Trets, qui a déjà fait l'objet de plusieurs arrêtés portant reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle due à des inondations [3], a ainsi approuvé une révision de son PLU en décembre 2017 après avoir intégré une redéfinition de l'aléa inondation sur son territoire communal. Néanmoins, aucun PPRI n'a pour le moment été établi sur la commune et le risque inondation n'a pas été précisé sur l'ensemble des zones à risque (Annexes 1 à 4).

D'après le PLU, le terrain de M. Ferrante est repris en zone inondable selon un aléa « à déterminer ». Par principe de précaution [7], toute nouvelle construction y est donc pour le moment interdite. Mais ce propriétaire a déposé une demande d'aménagement de son terrain dans l'optique de vendre plusieurs lots à des particuliers. Afin de pouvoir étudier la demande de M. Ferrante, la mairie de Trets a ainsi demandé qu'une étude hydraulique précise et quantifie le risque au droit du présent projet.

Dans le cadre de cette étude, ma mission a notamment été de construire un modèle hydraulique 2D afin de qualifier l'aléa inondation sur l'ensemble du bassin versant amont à l'emprise du projet. Les résultats obtenus, une fois validés par la DDTM des Bouches-du-Rhône, pourront ensuite être intégrés au PLU de la commune de Trets.

Une présentation des différentes études hydrauliques menées sur la commune et de la réglementation en vigueur précède dans ce rapport le développement de la construction de ce modèle. Enfin, une méthode de cartographie sur un logiciel SIG (Système d'Information Géographique) pour « lisser » les résultats bruts obtenus sera proposée.

1. CONTEXTE DE L'ETUDE

1.1. Présentation générale de la commune de Trets

Trets est une commune des Bouches-du-Rhône (13) située dans la plaine agricole de la haute vallée de l'Arc s'étendant au sud de la Montagne Sainte Victoire et en piémont du massif du Regagnas. S'étendant sur 70,3 km², la commune compte 10 719 habitants depuis le dernier recensement de la population en 2013 [8].



Figure 1 : Localisation de la commune de Trets (13) (Source : Google Maps, 2019)

Aux portes de l'agglomération aixoise, Trets fait partie de la métropole Aix-Marseille Provence, territoire Pays d'Aix (Figure 1). Cet EPCI (Etablissement Public de Coopération Intercommunale) a récemment (2016) remplacé la Communauté d'Agglomération du Pays d'Aix (CPA). Ce territoire est régi par le SCoT (Schéma de Cohérence Territoriale) Pays d'Aix dont la commune est la porte d'entrée principale à l'est.

La zone urbaine de Trets est caractérisée par un cœur urbain très dense et une couronne d'habitats pavillonnaires. Le reste du territoire communal est beaucoup plus rural.

1.2. Contexte hydrographique de la commune

D'après le Dossier Départemental des Risques Majeurs, une part importante du territoire de la commune de Trets est soumise au risque inondation. La commune a notamment déjà fait l'objet d'arrêtés portant reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle due à des inondations (Tableau 1).

	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
Tempête	06/11/1982	10/11/1982	18/11/1982	19/11/1982
Séisme	19/02/1984	20/02/1984	11/05/1984	24/05/1984
Mouvements de terrain consécutifs à la sécheresse	01/05/1989	31/12/1991	16/08/1993	03/09/1993
	01/01/1992	30/09/1993	03/3/1995	17/03/1995
Mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols	01/10/1993	31/03/1998	10/09/1998	22/08/1998
	01/04/1998	30/06/1998	27/12/2000	29/12/2000
Inondations et coulées de boues	07/09/1998	07/09/1998	29/12/1998	13/01/1999
Mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols	01/01/2002	30/06/2002	30/04/2008	22/05/2003
	01/01/2007	31/03/2007	07/08/2008	13/08/2008
	01/07/2007	30/09/2007	07/08/2008	13/08/2008
Inondations et coulées de boues	14/12/2008	15/12/2008	17/04/2009	22/04/2009
	13/10/2014	12/10/2014	17/02/2015	19/02/2015

Tableau 1 : Liste des états de catastrophe naturelle sur la commune de Trets (Source : DICRIM, 2010)

Les environs de Trets et d'Aix en Provence sont drainés par l'Arc qui est un fleuve côtier prenant sa source au pied du Mont Aurélien (Var) à 470 m d'altitude. La plaine de l'Arc est ainsi soumise au risque inondation de l'Arc et des ruisseaux le rejoignant. Plusieurs crues ont notamment inondé la zone en 1978, 1998 et 2000 [8].

La montagne de Regagnas, en piémont de laquelle est située Trets, est drainée par 4 ruisseaux (Figure 2) qui traversent d'abord la zone urbaine puis la plaine avant de rejoindre l'Arc :

- Le ruisseau des Seignièrès : exutoire des eaux de la partie Est du centre urbain avec un linéaire de 1 km sur la commune,
- Le ruisseau de la Bagasse : exutoire des eaux du centre historique avec un linéaire de 0,9 km sur la commune,
- Le ruisseau de la Gardi : affluent rive gauche de l'Arc avec un linéaire de 2,4 km sur la commune (7 km de linéaire total),
- Le Vallat du Longarel : linéaire de 6,0 km.

Les deux premiers ruisseaux sont les principaux affluents de l'Arc et sont très anthropisés. Sur l'ensemble de sa traversée du centre historique, le ruisseau de la Bagasse est canalisé et enterré. Le ruisseau des Seignièrès est lui partiellement bétonné.

Par conséquent, les zones urbanisées sont également touchées par des inondations dues aux débordements des réseaux pluviaux séparatifs empruntés par les ruisseaux présentés précédemment.

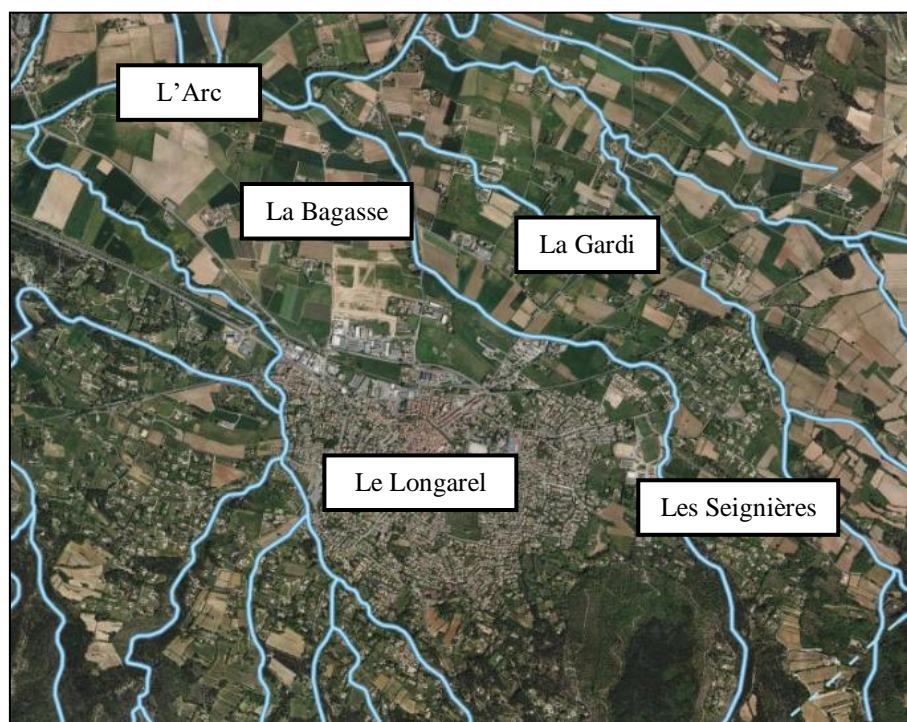


Figure 2 : Réseau hydrographique de la commune de Trets (Source : Géoportail, 2019)

1.3. Etat des lieux des connaissances sur le risque inondation

1.3.1. Avant l'étude ARTELIA 2016-2017

Un Plan de Prévention de Risque Inondation (PPRI) n'a pas encore été réalisé par les services de l'Etat sur le territoire communal [8]. Mais depuis plusieurs années, la commune souhaitait ainsi connaître plus précisément le risque inondation sur l'Arc et les principaux ruisseaux traversant la commune.

1.3.1.1. Approche hydrogéomorphologique (HGM)

D'après l'Atlas des Zones Inondables (AZI) des Bouches-du-Rhône, déterminant les zones submersibles en cas de crue ou de fortes précipitations, la commune est reprise en zone de risque inondation lié à l'Arc. Les ruisseaux traversant Trets ont également fait l'objet de cette étude. Cette cartographie de la zone inondable du fleuve et de ses principaux affluents a été réalisée par une approche HGM.

Cette approche étudie le fonctionnement naturel des cours d'eau en analysant la structure des vallées et en particulier les formes fluviales mises en place au fur et à mesure des crues successives [5]. Autrement dit, elle se fonde sur la compréhension du fonctionnement naturel de la dynamique des cours d'eau en étudiant finement la morphologie des plaines alluviales et en retrouvant sur le terrain les limites physiques associées aux différents lits (mineur, moyen, majeur) façonnés par les crues passées.

Cette cartographie définit ainsi les terrains potentiellement inondables. Des mesures de précaution doivent donc préférablement être prises pour ces derniers. Néanmoins, l'autorisation d'urbanisation de ces terrains peut être accordée si une étude hydraulique permet de conclure sur leur non-inondabilité pour une crue d'occurrence centennale [7].

Suite à cette cartographie produite à l'initiative des services de l'Etat, la commune a demandé la réalisation de plusieurs études hydrauliques avec pour but de préciser le risque inondation sur son territoire communal.

1.3.1.2. Etudes hydrauliques sur l'Arc

Le Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) du bassin versant de l'Arc a été approuvé en mars 2014 et intégré aux annexes du PLU de Trets approuvé en 2017.

En raison de l'Arc et de ses principaux vallats, la commune de Trets est incluse dans le Territoire à Risque important d'Inondation (TRI) d'Aix-en-Provence et Salon-de-Provence [8]. L'aléa inondation y a alors été déterminé de manière plus précise par des études hydrauliques du bureau d'études *SAFEGE*.

1.3.1.3. Etudes hydrauliques sur les affluents de l'Arc

La définition précise de l'aléa inondation des ruisseaux traversant la commune avant de rejoindre l'Arc a nécessité la réalisation de plusieurs études hydrauliques par différents bureaux d'études.

Le bureau d'études *GINGER* a notamment produit deux études hydrauliques sur le ruisseau du Longarel en septembre 2006 et juin 2008. Ce ruisseau et celui de la Bagasse ont par la suite fait l'objet d'une étude complémentaire menée en février 2012 par les cabinets *envéo Aménagement* et *CEREG Ingénierie*.

De même, deux études hydrauliques ont également été réalisées par les bureaux d'études *GINGER* (août 2006) et *PROVENCE GEO CONSEILS* (février 2007) sur le ruisseau de la Gardi sur le territoire communal de Trets.

Mais ces nombreuses études hydrauliques réalisées sur les cours d'eau et sur le réseau pluvial traversant la zone d'extension urbaine de Trets restent complexes et parfois contradictoires (méthodes et hypothèses différentes). Par conséquent, les informations intégrées au PLU n'ont pas toujours été appropriées [6]. Ainsi, en 2010, la commune a statué en faveur de la révision de son document d'urbanisme [6]. Pour définir ses orientations d'aménagement et dans le cadre de sa politique de prévention contre le risque inondation, la commune a demandé que cette révision permette une meilleure prise en compte des risques naturels d'inondation.

Par demande de la commune, en 2010 puis 2012, les cabinets *envéo Aménagement* et *CEREG Ingénierie* ont alors affiné et complété la délimitation des zones inondables dans le secteur d'extension urbaine dans la plaine de Trets via deux études hydrauliques complémentaires basées sur une modélisation bidimensionnelle. Les résultats obtenus ont ensuite été complétés par une étude sur le ruisseau de la Gardi.

1.3.2. Etude ARTELIA 2016-2017

Le PLU de Trets a été révisé et approuvé le 12 décembre 2017. Dans le cadre de cette nouvelle révision, le bureau d'études *ARTELIA* a réalisé une nouvelle étude afin de redéfinir les aléas et le risque inondation des ruisseaux de la Gardi, de la Bagasse et des Seignières (janvier 2015) à l'aide d'un modèle hydraulique couplé 1D/2D. Elle a ensuite été complétée en novembre 2015 avec l'ajout d'une étude sur le ruisseau du Longarel. En octobre 2017, une étude s'est concentrée sur la définition de l'impact de la construction de la ZAC (Zone d'Aménagement Concerté) René Cassin sur la zone inondable du terrain projeté. Cette définition du risque inondation a ensuite été intégrée dans le PLU de Trets et complétée par un règlement également intégré au PLU.

La cartographie du risque inondation obtenue par ces dernières études est présentée dans la partie suivante.

1.4. Contexte réglementaire sur la commune

1.4.1. Cartographie du risque inondation

Conformément aux préconisations de la DDTM des Bouches-du-Rhône, *ARTELIA* a réalisé une cartographie de la zone inondable en croisant les hauteurs et les vitesses calculées pour l'évènement pluvieux de référence centennal et en appliquant ainsi la grille de croisement ci-dessous (Figure 3).

Pour les zones où la hauteur d'eau maximale atteinte n'excède pas 5 cm, une classe d'aléa particulière a été définie. En effet, le risque de dommages importants est négligeable à cette hauteur et ce, quelle que soit la vitesse d'écoulement atteinte.

Le PLU retranscrit les résultats de cette étude en identifiant des zones à risque inondation. L'annexe 1 du règlement précise les prescriptions à respecter pour chaque type de zone. Elles sont ainsi décrites par différentes symbologies. Pour les cours d'eau qui ont fait l'objet d'une étude comprenant une modélisation hydraulique des écoulements permettant de définir des hauteurs et des vitesses associées à un épisode pris comme référence hydrologique, les zones suivantes ont été définies (Figure 4) :

- Les zones rouges pour les Zones Peu ou Pas Urbanisées (ZPPU) ;
- Les zones rouge et bleu clair pour les Autres Zones à Urbaniser (AZU) ;
- Les zones bleu foncé pour les Centres Urbains (CU).

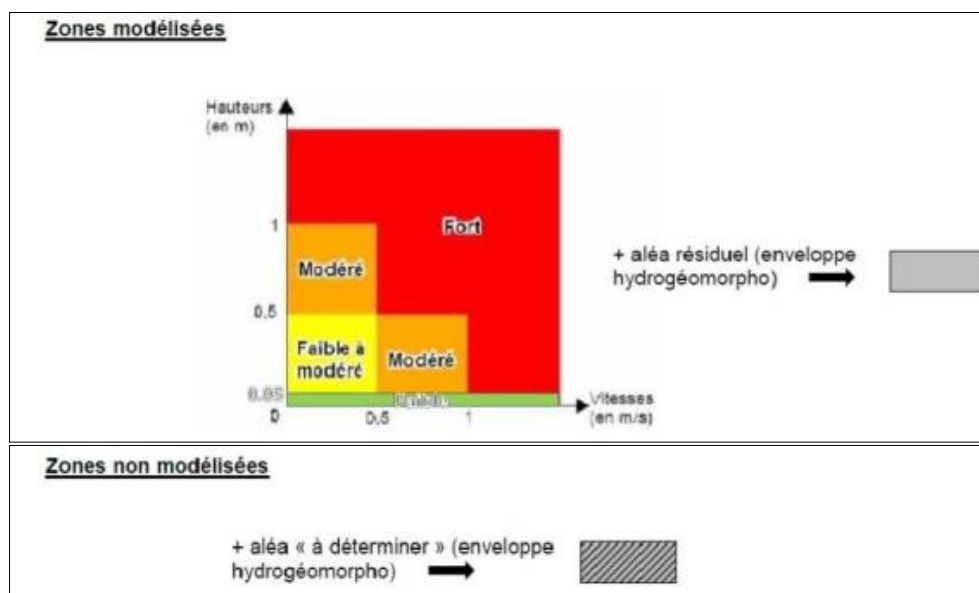


Figure 3 : Grilles de croisement des hauteurs et des vitesses (Source : Rapport de présentation du PLU de Trets, 2017)

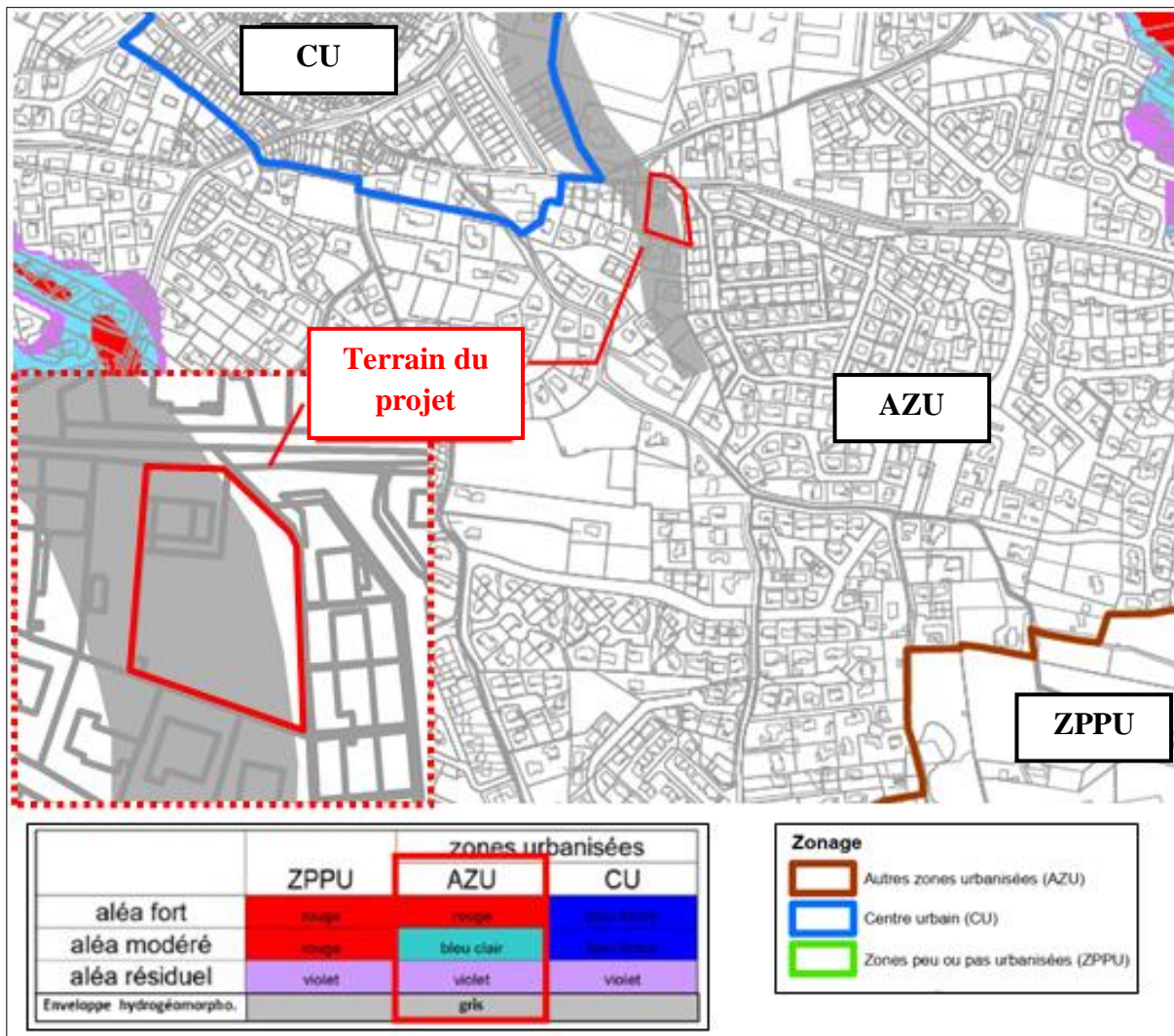


Figure 4 : Carte de zonage du risque inondation sur la commune de Trets

Pour tous les types d'enjeux (quelle que soit l'urbanisation), l'aléa exceptionnel est délimité en violet pour les cours d'eau ayant fait l'objet d'une modélisation hydraulique. Il intègre aussi les zones modélisées où le niveau d'eau est de 5 cm maximum.

Les zones grises correspondent à des secteurs compris dans l'enveloppe HGM et qui n'ont pas fait l'objet de modélisation hydraulique. La méthode HGM permet de définir l'emprise de l'aléa exceptionnel.

L'aléa « faible à modéré » résultant de la grille de croisement des hauteurs et des vitesses a été considéré en tant qu'aléa modéré lors de la réalisation du croisement avec le critère d'urbanisation.

Comme le montre la carte du zonage du risque inondation annexée au PLU présentée ci-contre, la parcelle de M. Ferrante est localisée en zone inondable du secteur AZU. Plus précisément, elle est partiellement située au sein d'une zone comprise dans l'enveloppe HGM (zone grise) et qui n'a donc pas été modélisée hydrauliquement.

1.4.2. Réglementation associée au risque inondation

1.4.2.1. Règles générales

Dans le Règlement du PLU, les prescriptions suivantes sont énoncées :

- « De manière générale, tout projet doit être conçu de façon à ne pas aggraver le risque inondation, sur le site-même du projet et sur les sites environnants.
Est désigné par « projet » tout aménagement, ouvrage, installation, exploitation ou construction nouvelle. Ceci inclut les projets d'intervention sur l'existant tels les changements de destination, les extensions et les reconstructions, et ce qu'ils soient soumis ou non à la nécessité d'une déclaration préalable ou de l'obtention d'un permis de construire. » [9] p. 116.
- « Les projets seront conçus, réalisés et exploités de manière à :
 - ✓ Assurer une transparence hydraulique optimale ;
 - ✓ Limiter autant que possible les obstacles à l'écoulement des eaux (par exemple en positionnant l'axe principal des installations dans le sens du plus grand écoulement des eaux) ;
 - ✓ Présenter une résistance suffisante aux pressions (ancrage, amarrage...) et aux écoulements jusqu'à la crue de référence ;
 - ✓ Ne pas induire de phénomènes d'affouillement des berges naturelles ou de mettre en danger la stabilité des talus de rives. » [9] p. 116-117.

1.4.2.2. Prescriptions relatives aux zones de risques en secteur AZU

Dès lors que le projet est localisé en zone AZU (zone à urbaniser), les zones rouge, bleu clair, violette et grise sont particulièrement considérées. Les principales prescriptions relatives au futur projet édictées dans le règlement écrit du PLU [8] sont détaillées ci-après.

Zone violette

Dans cette zone, « la création ou l'aménagement de sous-sol, à l'exception de cas spécifiques » est interdite. En revanche, y est autorisé « toute construction sous réserve que le 1^{er} plancher aménagé soit calé au minimum à la cote TN + 20 cm » (cote du Terrain Naturel).

Zone grisée

Au sein de cette zone, la réglementation indique que, « par principe de précaution en l'absence de connaissance de l'aléa de référence, la totalité de l'emprise de la zone HGM est considérée comme potentiellement soumise à un aléa fort, et de fait fermée à toute construction nouvelle ».

Zone rouge

Dans cette zone, « la création de bâtiments neufs ainsi que la création de remblais » est interdite. En revanche, « la matérialisation au sol d'emplacements de stationnement dans le cadre d'un projet de construction ou d'aménagement urbain » y est autorisée.

Zone bleu clair

Dans cette zone, « la création ou l'aménagement de sous-sol, à l'exception de cas spécifiques » est interdite. En revanche, les cas suivants, listés dans le règlement écrit du PLU [9], sont autorisés :

- La création de locaux d'hébergement sous réserve que le 1^{er} plancher aménagé soit calé au minimum à la cote PHE + 20 cm (cote des Plus Hautes Eaux). A l'occasion de ces travaux, il est nécessaire de mettre en œuvre des mesures de mitigation.
- Dans le cadre d'un bâtiment d'habitation, la création de garages fermés, dans la limite de 20 m² d'emprise au sol par logement sur l'unité foncière. La surélévation du plancher du garage est vivement recommandée.
- La matérialisation au sol d'emplacements de stationnement dans le cadre d'un projet de construction ou d'aménagement urbain.

Le règlement précise également que « l'emprise au sol de la construction sur la partie inondable du terrain support du projet est limitée : elle doit être inférieure à 30 % de cette surface inondable, ou jusqu'à 50 % si cette emprise supplémentaire est conçue de telle sorte qu'elle réponde à l'objectif de transparence hydraulique ».

1.5. Localisation et objet de la mission

Monsieur Ferrante souhaite vendre son terrain dans l'optique qu'il y soit réalisé un lotissement. Le terrain est situé Avenue de Grisole, sur le territoire de la commune de Trets (Figure 5). La parcelle concernée est référencée AK-32 au cadastre. Elle présente une superficie de 1 950 m². D'après le PLU, le projet est localisé en zone Uc1 correspondant à une zone urbaine affectée à de l'habitat et des activités commerciales, artisanales et de service.

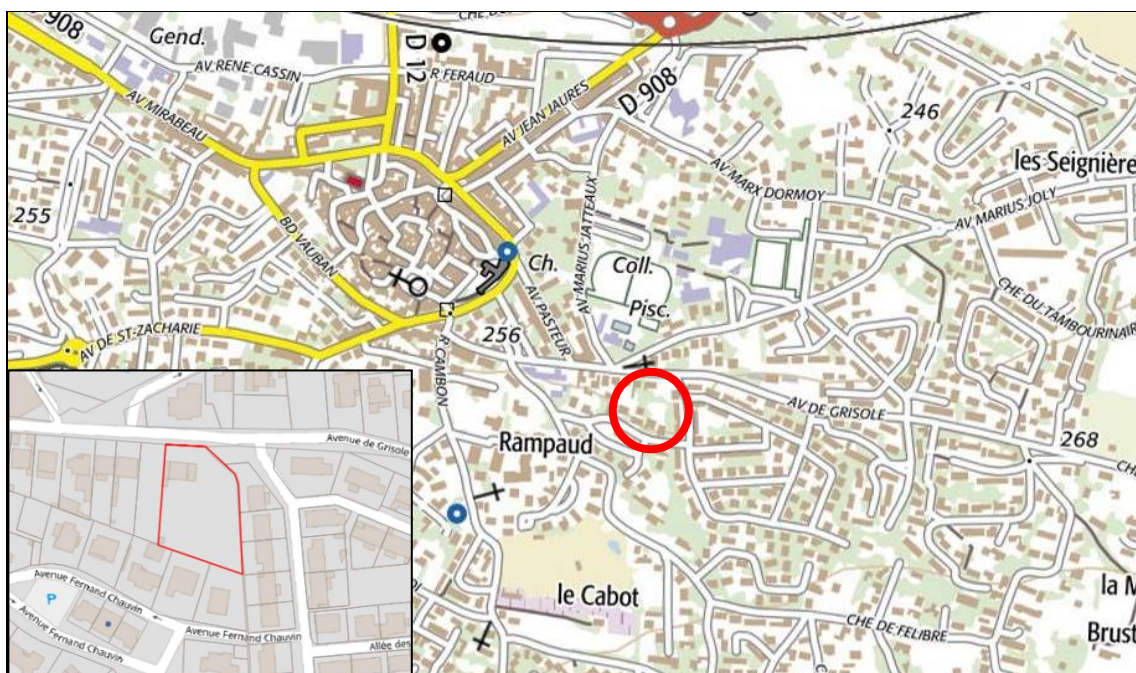


Figure 5 : Localisation du projet à Trets (13) (Source : IGN (Institut National de l'Information Géographique et Forestière))

La cartographie du PLU de la commune reprend le terrain de M. Ferrante en zone inondable selon un aléa « à déterminer » (zone grise). Cette zone correspond à l'enveloppe HGM et n'a pas été modélisée hydrauliquement.

En l'absence de qualification de l'aléa inondation au droit de cette zone grise (hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement), le principe de précaution s'applique interdisant toute nouvelle construction. Afin de pouvoir étudier la demande d'aménagement du terrain de M. Ferrante, la mairie de Trets a demandé qu'une étude hydraulique précise et quantifie le risque au droit du présent projet. Au regard de cette nouvelle information, les impositions du PLU seront reconsidérées afin de savoir si la réalisation d'un lotissement est envisageable sur la parcelle en question.

La présente étude concerne dès lors la réalisation d'une étude hydraulique destinée à estimer les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulement générées par un événement pluvieux de référence au droit du projet. Cette étude sera réalisée au travers d'une modélisation hydraulique 2D.

1.6. Bassin versant en amont de la parcelle

Aucun réseau hydrographique n'est répertorié directement à proximité de la parcelle de M. Ferrante (Figure 6). Celle-ci est cependant localisée au droit d'un vallon et draine un bassin versant d'une superficie de plus de 61 ha. Les eaux de ruissellement traversant le terrain rejoignent en aval le ruisseau de la Gardi. Le bassin versant est occupé par des zones agricoles et naturelles dans sa partie amont et est fortement urbanisé dans sa partie aval.

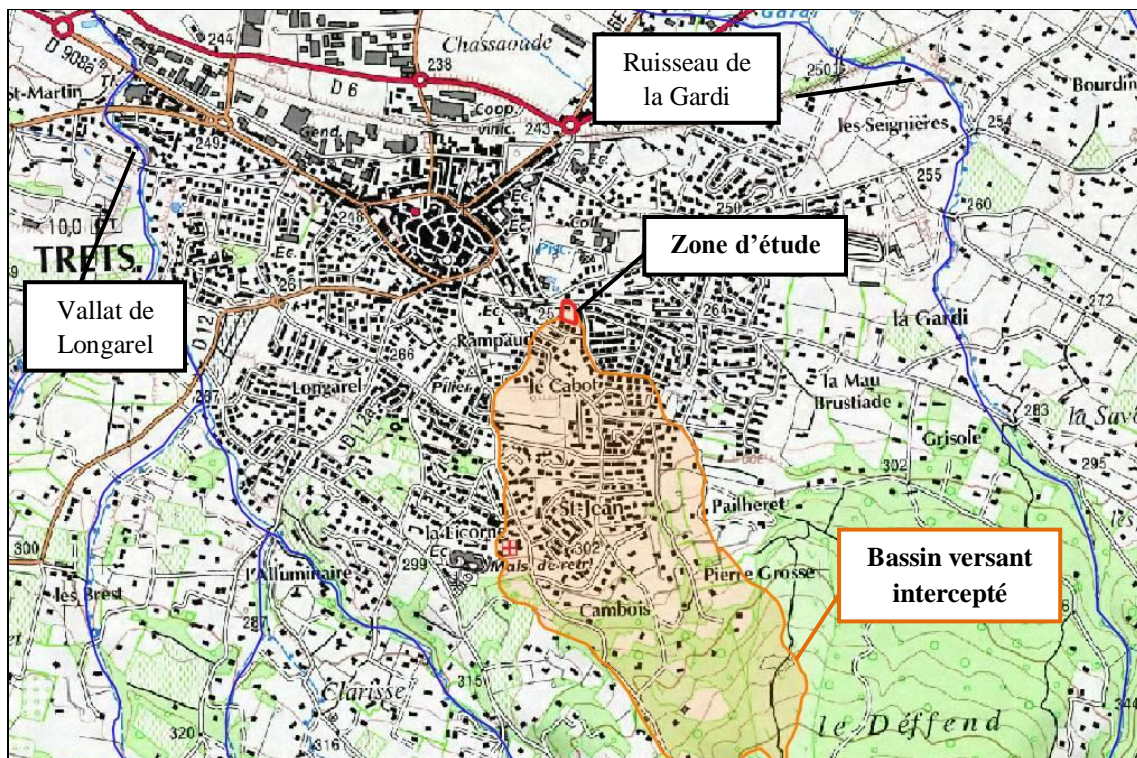


Figure 6 : Localisation du projet et du bassin versant intercepté à Trets (13) (Source : QGIS, 2019)

Les limites du bassin versant intercepté par la propriété de M. Ferrante ont été définies à partir des données du RGE Alti 1m (Référentiel à Grande Echelle) et de visites de terrain. Dans un premier temps, les écoulements préférentiels (Figure 7) ont été déterminés à partir de l'information topographique du modèle numérique de terrain (MNT). Un premier découpage du bassin a ainsi été réalisé. La visite sur le site d'étude a permis de préciser le découpage, et notamment, d'exclure du bassin versant les écoulements provenant des allées des Genêts, des Amandiers, des Lavandiers et des Lauriers Roses à l'est du projet.

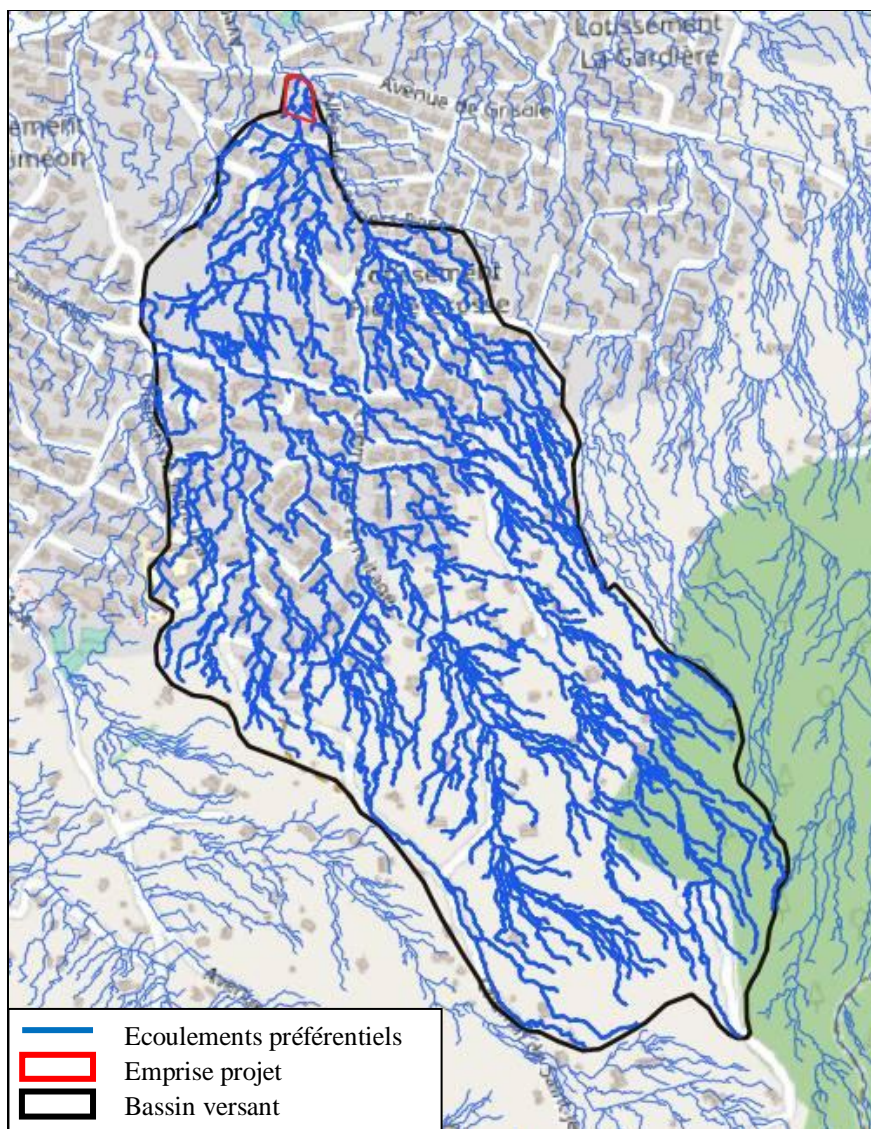


Figure 7 : Définition des écoulements préférentiels au sein du bassin versant amont du projet à Trets (13)
(Source : QGIS, 2019)

2. CONSTRUCTION DU MODELE HYDRAULIQUE

2.1. Modèle utilisé

Afin de modéliser la zone d'étude, le code HEC-RAS 2D (*Hydrologic Engineering Centers River Analysis System*) est utilisé. En l'absence de réseau hydrographique, la réalisation d'une modélisation 2D est en adéquation avec la configuration du secteur et les objectifs attendus. Les principaux logiciels utilisés pour la réalisation de l'étude sont les suivants :

- HEC-RAS 2D est un ensemble de codes de modélisation dédiés aux écoulements à surface libre développés par le USACE (*US Army Corps of Engineers*) ;
- QGIS est un système d'information géographique. Il sera utilisé pour le traitement des données topographiques en entrée de modèle et pour la présentation sous forme cartographique des résultats issus de la modélisation hydraulique.

Le module hydrodynamique de HEC-RAS 2D permet de modéliser toute zone assujettie à des écoulements multidirectionnels. Il simule les variations du niveau d'eau et des débits en réponse à une quantité de variables (précipitation, évaporation, rugosité du lit...).

HEC-RAS 2D est particulièrement adapté aux milieux tels que les plaines inondables ou les zones urbaines et dispose donc d'un domaine d'application vaste (risque d'inondation et analyse détaillée des champs d'expansion de crues, rupture de barrage et de digue).

La propagation des ondes de crue s'appuie sur un maillage créé à partir de données topographiques surfaciques. La création de ce maillage est une étape importante pour la modélisation. Les cotes des points du maillage sont obtenues par interpolation des points du semis.

Les simulations permettent d'obtenir les niveaux d'eau et les composantes de la vitesse dans le domaine étudié.

2.2. Emprise du modèle

L'emprise du modèle représente une superficie de 242,5 ha délimitée sur la figure ci-dessous (Figure 8). Elle reprend la surface totale du bassin versant amont du projet. Comme demandé par la DDTM des Bouches-du-Rhône, l'emprise du modèle se conçoit à l'échelle du bassin versant et intègre la zone AZU du PLU de la commune de Trets concernée par l'axe d'écoulement.

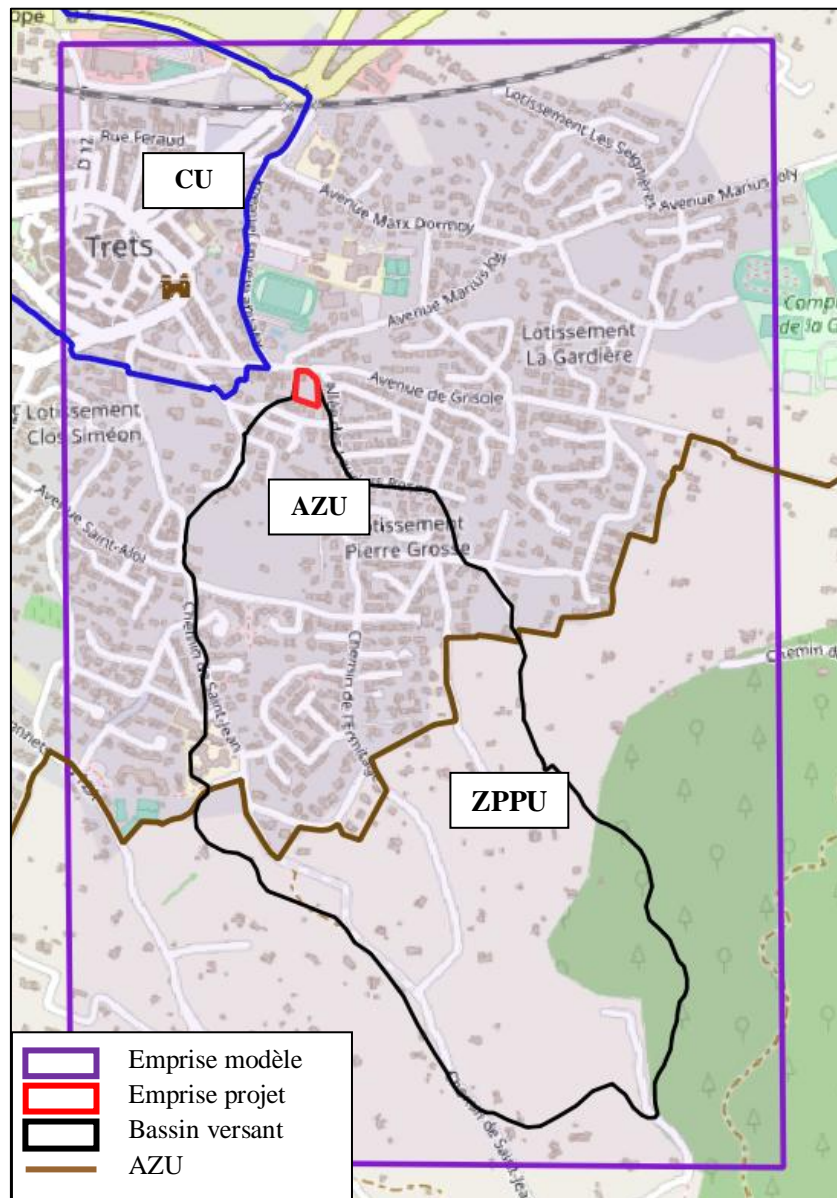


Figure 8 : Délimitation du modèle sur la commune de Trets (13) (Source : QGIS, 2019)

2.3. Données topographiques

Les données topographiques exploitées dans le cadre de cette étude sont issues de levés LIDAR (RGE Alti 1m) (*Light Detection and Ranging*). Le RGE Alti 1m est un MNT constitué par l'IGN qui a pour vocation la description du relief au pas de 1 m. La figure 10 présente les données topographiques issues de ce MNT sur la zone d'étude.

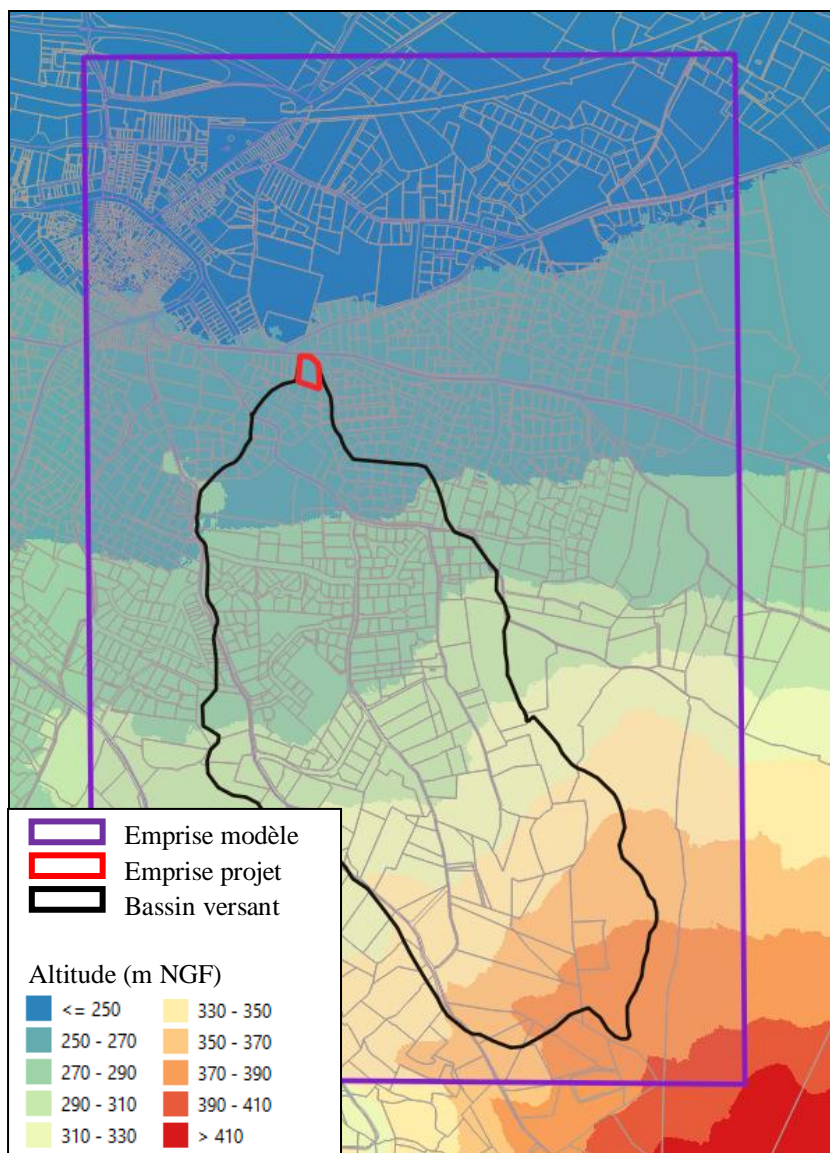


Figure 9 : Données topographiques exploitées pour le modèle (Source : RGE ALTI 1m® de l'IGN)

2.4. Conditions aux limites

2.4.1. Condition limite amont

Les zones exposées aux risques d'inondation par débordement de cours d'eau ont été identifiées sur l'ensemble de la commune dans le cadre de différentes études hydrauliques. Celles-ci ont été synthétisées au sein du PLU approuvé en 2017 sur la base de la crue centennale retenue comme la crue de référence.

La condition limite amont sera dès lors constituée par l'injection d'un débit correspondant à un événement centennal en tête de bassin versant. Nous nous sommes basés sur les hypothèses hydrologiques prises dans le cadre de l'étude hydrauliques réalisée par le bureau *ARTELIA* en 2017 [1]. Dans son étude, le débit spécifique centennal du bassin versant de la Bagasse au sein duquel s'insère notre projet a été estimé à $16 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^{1,6}$. Rapporté à une surface de 61 ha, le débit centennal que nous considérerons dans le cadre de cette étude est ainsi de $11 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le débit spécifique se définit comme la contribution de l'écoulement par unité de surface [2], autrement dit comme le volume d'eau qui s'écoule en moyenne chaque seconde par km^2 du bassin. Ce débit correspond ainsi au rapport du débit moyen annuel du cours d'eau et de la superficie de son bassin versant [2]. Le débit spécifique permet de comparer différents cours d'eau en dépit de l'étendue des bassins versants [2] à laquelle ils ne sont que faiblement liés [1].

Le débit spécifique obtenu par *ARTELIA* résulte de l'analyse de 80 bassins versant à Rognes (13) qui a permis de dresser des abaques de débits spécifiques [1]. L'utilisation de ces abaques a donc permis de déterminer le débit spécifique du ruisseau de la Bagasse dont on connaissait la surface du bassin versant que celui-ci draine. Cette méthode et la valeur de ce débit ont également été validées par la DDTM des Bouches-du-Rhône.

2.4.1.1. Hydrogramme de projet

Le présent modèle fonctionne en régime transitoire. Cela permet d'intégrer le facteur temps à travers la prise en compte d'un hydrogramme.

L'utilisation d'un hydrogramme permet une mise en eau progressive du modèle. L'intérêt principal est ainsi de prendre en compte le stockage éventuel qu'il peut y avoir et ainsi le laminage de la pointe de crue. Un hydrogramme fictif simple triangle, d'une durée de 4 heures et dont le débit maximal de $11 \text{ m}^3/\text{s}$ survient après 2 heures est ainsi injecté dans le modèle (Figure 10).

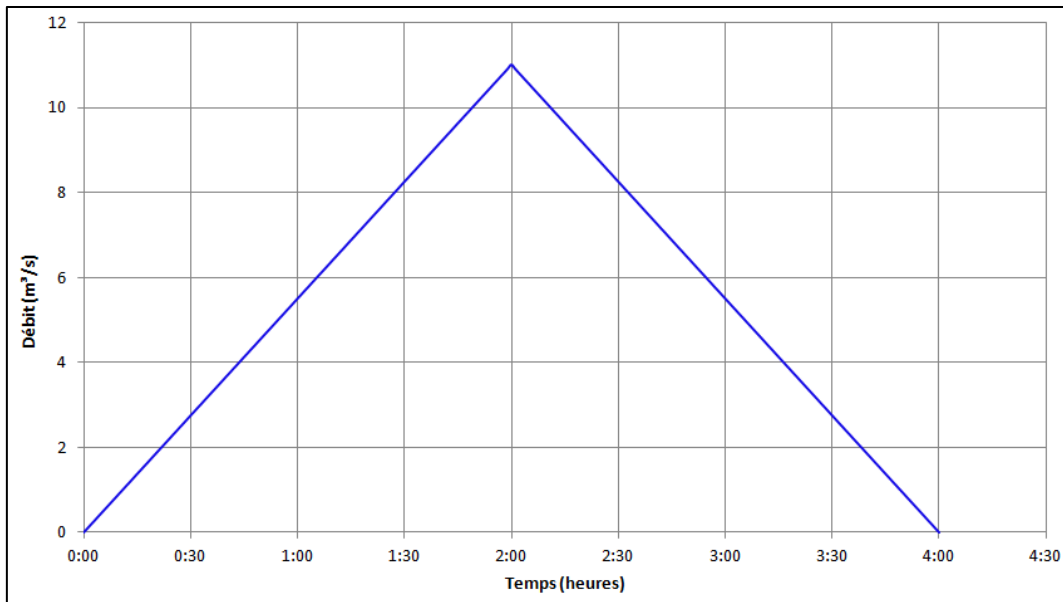


Figure 10 : Hydrogramme représentant l'événement injecté dans le modèle (Source : HEC-RAS, 2019)

2.4.1.2. Injection de l'hydrogramme dans le modèle

Le modèle comprend une injection localisée en amont du bassin versant drainée par la parcelle du projet (Figure 11). Cette injection constitue la limite amont du modèle hydraulique.

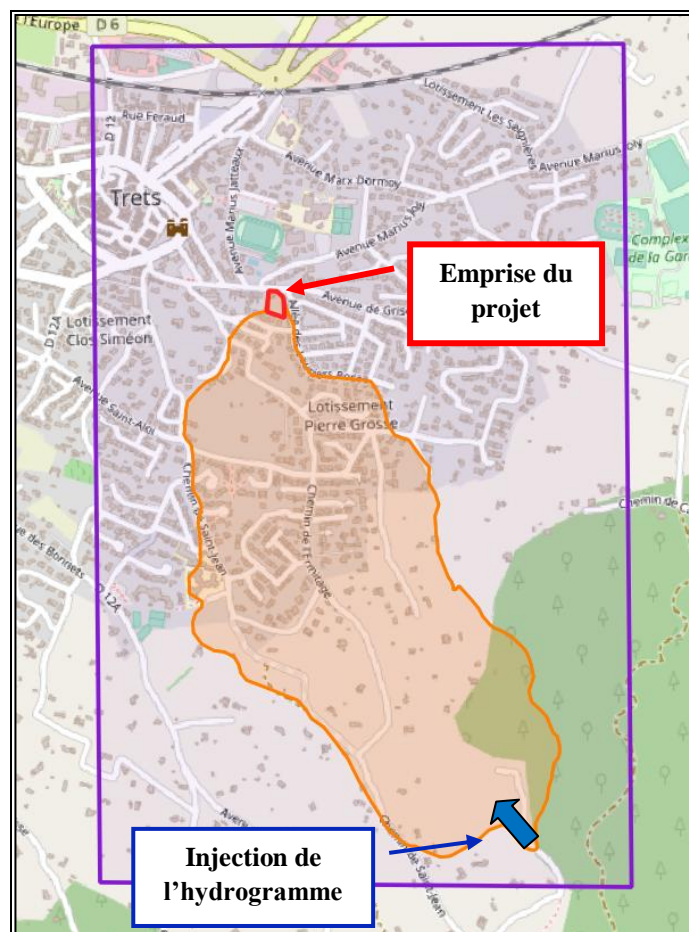


Figure 11 : Localisation à Trets (13) de l'injection du débit dans le modèle (Source : QGIS, 2019)

2.4.2. Condition limite aval

En l'absence de contrainte avale marquée, la condition limite aval du modèle est constituée par la topographie du MNT. La limite du modèle a été positionnée suffisamment en aval du projet pour permettre au modèle de s'équilibrer et y éviter tout risque de perturbation.

2.4.3. Coefficient de rugosité

Le coefficient de rugosité est un paramètre essentiel du modèle hydraulique. Il est directement lié à l'occupation des sols du secteur d'étude. De manière générale, une augmentation du coefficient de rugosité (coefficient de Manning) induit une diminution de la vitesse d'écoulement et une augmentation des lignes d'eau. A contrario, une diminution de ce coefficient accélère l'écoulement, ce qui entraîne une diminution des lignes d'eau.

L'absence de données de calage au niveau de la zone d'étude ne permet pas le calage du modèle en fonction de ces coefficients de rugosité. Les valeurs attribuées à chaque type de sol sont donc estimées à partir de la littérature. Une analyse de sensibilité du modèle vis-à-vis de ces coefficients est réalisée dans le cadre de la validation de la modélisation.

La Figure 12 précise la répartition géographique des différents types de sol sur la zone modélisée. Celle-ci se base sur les données Corine Land Cover (CLC) de 2012 et le tracé routier extrait des données cadastrales.

Le Tableau 2 ci-après indique les valeurs des Manning pour chacune des occupations du sol considérées.

Couverture du sol	Coefficient de Manning ($s/m^{1/3}$)
Zone agricole	0,05
Zone naturelle	0,2
Zone industrielle	0,2
Zone urbaine	0,3
Réseau routier	0,04

Tableau 2 : Couverture du sol sur la commune de Trets (13) (Source : CLC, 2012)

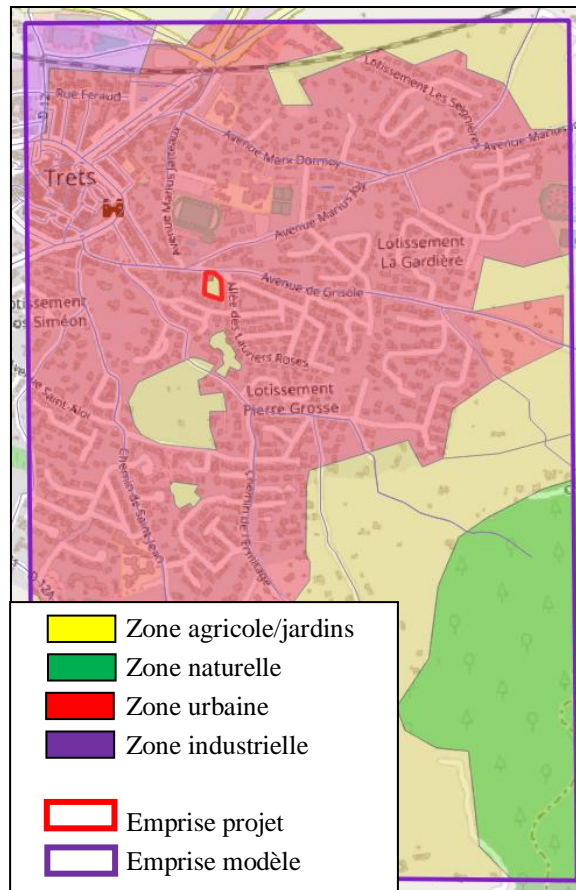


Figure 12 : Couverture du sol sur la commune de Trets (13) (Source : CLC, 2012)

2.5. Maillage du modèle

La construction d'un modèle hydraulique 2D passe par la création d'un maillage (Figure 13). Chaque maille intègre une information topographique et un coefficient de rugosité. Après modélisation, des valeurs de débits, hauteurs d'eau, cote du plan d'eau et vitesse viendront compléter les données topographiques de base.

Une taille de maille variable est retenue pour l'étude :

- Un maillage fin de 2 m afin de modéliser avec précision les zones à enjeux ;
- Un maillage plus grossier de 10 m afin de modéliser les zones sans enjeux majeur sans alourdir le modèle.

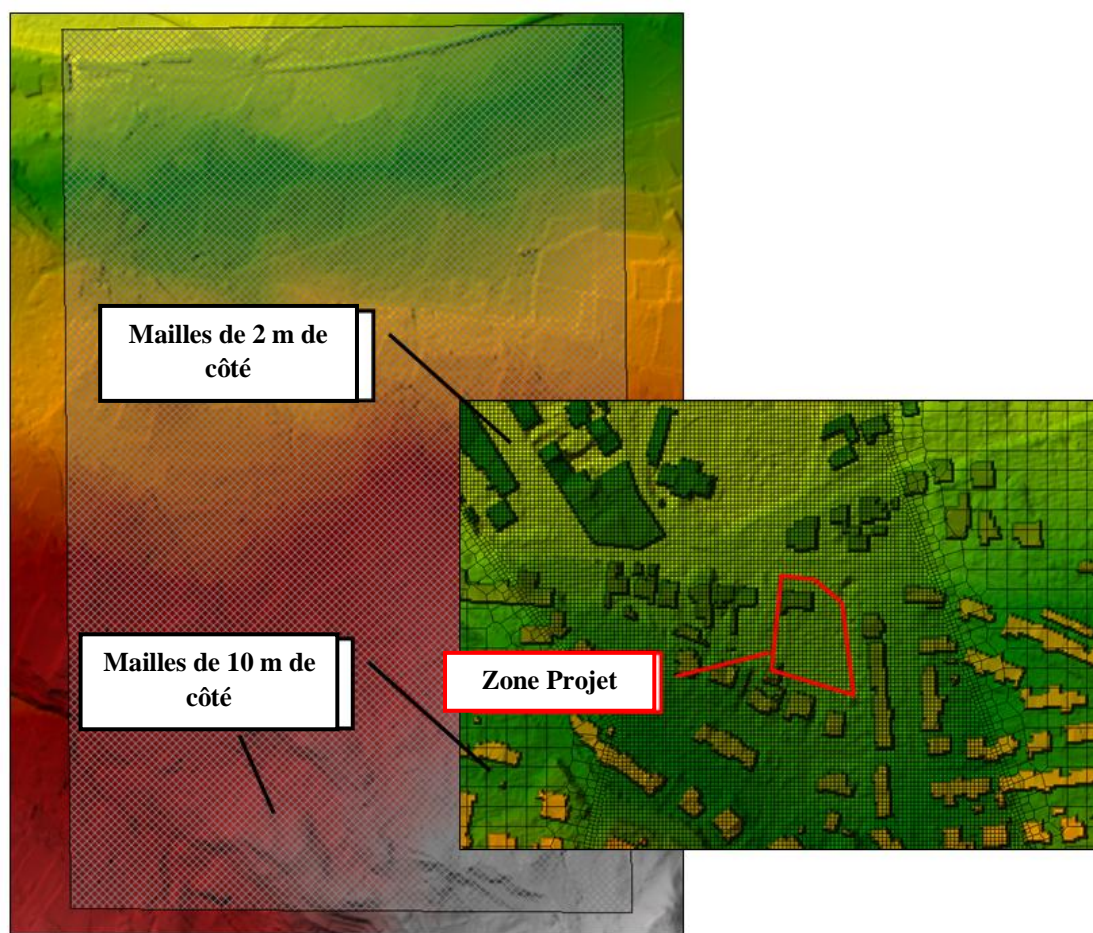


Figure 13 : Maillage utilisé pour le modèle (Source : HEC-RAS, 2019)

Il convient de noter que le logiciel HEC-RAS 2D fonctionne à une échelle plus fine que la maille en conservant une trace de l'information initiale apportée par le MNT. A cet égard, chaque maille possède une information détaillée et peut produire des résultats encore plus précis que la résolution du maillage.

2.6. Analyse de sensibilité

L'objectif d'une analyse de sensibilité est de permettre à l'utilisateur d'évaluer l'impact relatif des paramètres d'entrée sur les résultats de la simulation. L'analyse de sensibilité est définie comme étant la quantification de l'effet d'une ou de plusieurs variables d'entrée sur la ou les variables de sortie.

Dans le cadre de cette modélisation, l'analyse permet de quantifier l'influence des débits injectés dans le modèle et des coefficients de rugosité (Manning) sur les hauteurs d'eau maximales et les vitesses d'écoulement maximales simulées.

A cette fin, cinq simulations ont été effectuées. La première constitue l'état de référence. Les quatre autres consistent en l'augmentation ou la diminution de 20% des débits injectés dans le modèle ou des coefficients de Manning.

Le taux de variation T_S est calculé en pourcentage grâce à la formule suivante :

$$T_S = \frac{V_E - V_{E\text{ réf}}}{V_{E\text{ réf}}} \times 100$$

Où : $V_{E\text{ réf}}$: Valeur de référence de la variable analysée ;

V_E : Valeur correspondant à une variation donnée de la variable analysée.

Les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulements simulées ont été relevées en trois points de la parcelle (nord, sud et ouest).

Les résultats présentés sur la Figure 14 montrent qu'une augmentation ou une diminution de 20 % du débit d'entrée induit une variation de l'ordre de 10 % de la hauteur d'eau ou de la vitesse d'écoulement modélisées. Cela correspond à des variations moyennes relativement faibles comprises entre 3 et 5 cm selon les simulations. En termes de différences de vitesses d'écoulement mesurées, les variations moyennes sont comprises entre 0,05 m/s à 0,1 m/s selon les simulations.

De la même façon, les résultats présentés sur la Figure 15 montrent qu'une augmentation ou une diminution de 20 % des coefficients de Manning induit une variation de l'ordre de 10 % de la hauteur d'eau et de 10 % à 15 % de la vitesse d'écoulement modélisée. En termes de différences de hauteurs d'eau mesurées, cela correspond à des variations moyennes de 3 à 5 cm selon les simulations. En termes de différences de vitesses d'écoulement mesurées, cela correspond à des variations moyennes de 0,1 m/s à 0,3 m/s selon les simulations.

Il est rappelé que les coefficients de rugosité utilisés dans le cadre du modèle ont été choisis en conformité avec la littérature. De la même manière, la détermination des débits d'injection provient des données de l'étude réalisée par ARTELIA en 2017 qui a servi de base à la réalisation du zonage de risque inondation du PLU.

Sur cette base et du fait des variations modérées des résultats de hauteurs et vitesses relevées sur la parcelle du projet, les hypothèses prises pour les coefficients de rugosité et le débit d'injection sont conservées.

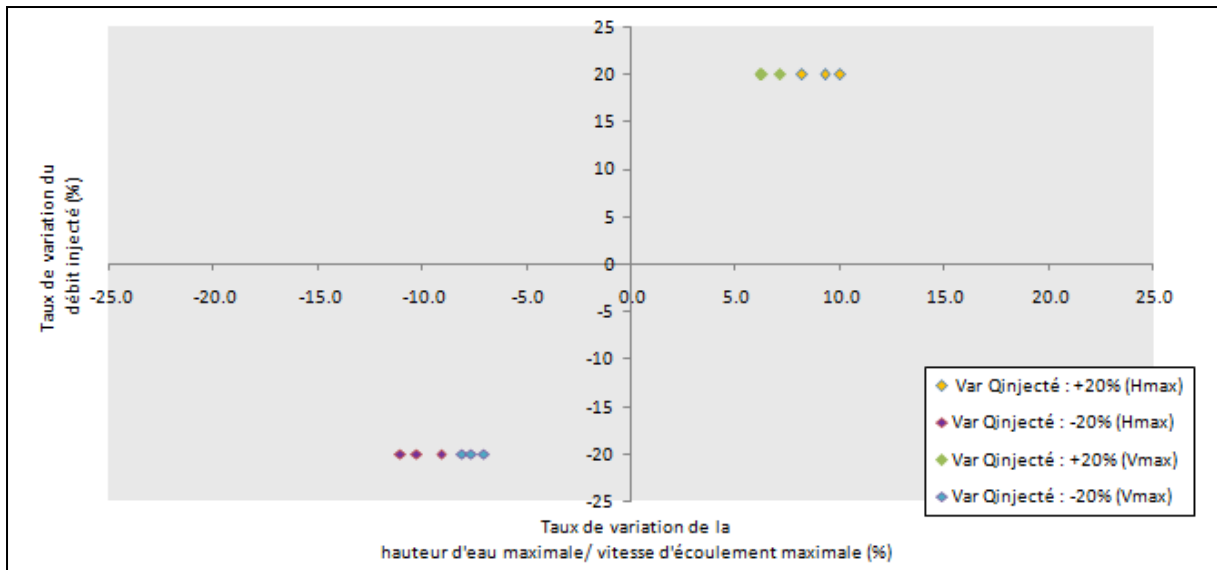


Figure 14 : Taux de variation de la hauteur d'eau et de la vitesse d'écoulement modélisées en fonction de la variation du débit injecté

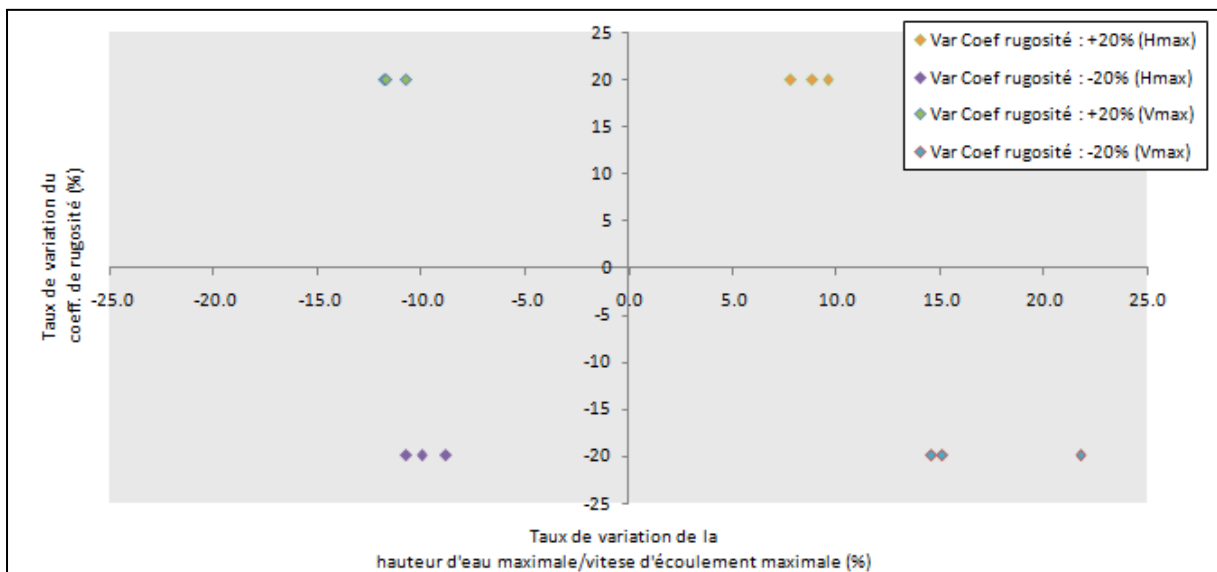


Figure 15 : Taux de variation de la vitesse d'écoulement modélisée en fonction de la variation des coefficients de rugosité

3. RESULTATS DE LA MODELISATION

3.1. Résultats bruts

La modélisation hydraulique de la zone d'étude simule l'écoulement d'un événement pluvial d'occurrence centennal au niveau de la zone d'étude. Les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulement maximales modélisées sont exportées du modèle. Les cartes en Annexes 5 à 8 présentent les résultats sur la parcelle du projet.

Les hauteurs d'eau maximales sur la parcelle sont inférieures à 50 cm et majoritairement comprises entre 20 et 40 cm. Les vitesses d'écoulement maximales sont globalement inférieures à 1 m/s, sur la partie ouest de la parcelle. Elles sont, cependant, supérieures à 1 m/s en partie est de la parcelle et atteignent un maximum de 2 m/s au sud-est de celle-ci.

Le croisement des résultats de hauteurs d'eau maximales, de vitesses d'écoulement maximales et des zones d'enjeux urbains permet de définir le zonage réglementaire du risque inondation selon la grille du PLU (cf. 1.4.1) (Annexes 9 et 10). La parcelle est reprise en zone bleue clair dans sa partie ouest. Elle est située en zone rouge au niveau de sa partie est du fait des vitesses élevées qui y sont observées.

Sur QGIS, le croisement des hauteurs et des vitesses a été réalisé à l'aide de la Calculatrice Raster et de l'expression conditionnelle suivantes :

$$("P7_Hmax"> 0)*1 + ("P7_Hmax"> 0.5)*1 + ("P7_Hmax"> 1)*1 + ("P7_Vmax"> 0)*1 + ("P7_Vmax"> 0.5)*1 + ("P7_Vmax"> 1)*1$$

Avec *P7_Hmax* le raster des résultats bruts sur les hauteurs d'eau et *P7_Vmax* le raster des résultats bruts sur les vitesses d'écoulement. En effet, en se basant sur la grille du PLU, des valeurs sont ainsi accordées (Figure 16) de telles sorte que l'aléa « faible » (en vert) ait la valeur 1, l'aléa « faible à modéré » (en jaune) la valeur 2, l'aléa « modéré » (en orange) la valeur 3 et enfin l'aléa « fort » (en rouge) les valeurs allant de 4 à 6.

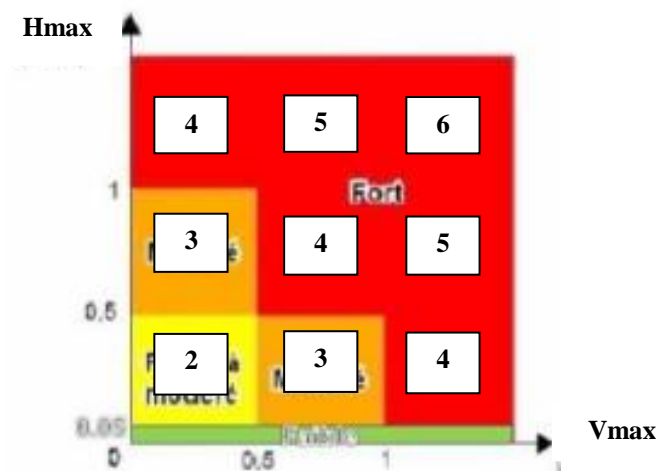


Figure 16 : Grille de croisement de l'aléa inondation avec attribution de valeurs propres à chaque aléa (Source : Rapport de présentation du PLU de Trets, 2017)

3.2. Résultats lissés

Les cartes d'aléa et de zonage réglementaire résultant du croisement hauteur/vitesse ont été lissées afin de présenter un résultat homogène et semblable aux cartes de l'étude *ARTELIA* déjà intégrées au PLU.

L'objectif était ainsi d'éliminer les zones d'aléa isolées d'une superficie inférieure à 50 m² (Figure 17). Selon l'échelle, l'emprise de la parcelle ou l'emprise du modèle, différentes méthodes ont été testées ou mises au point afin de s'approcher du modèle de la carte de synthèse de l'aléa inondation du PLU.

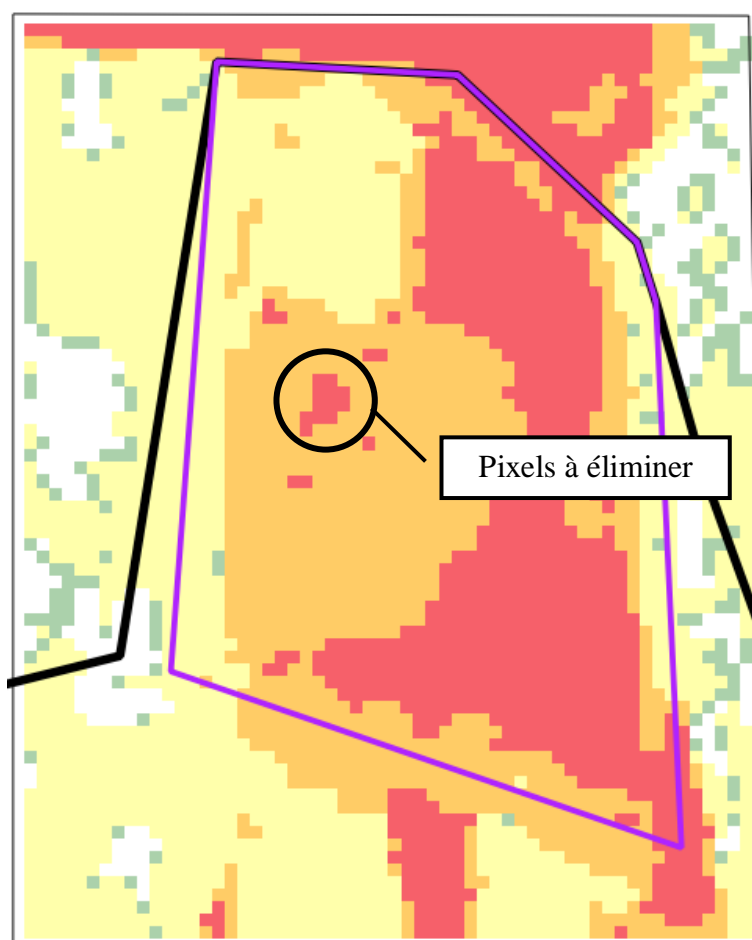


Figure 17 : Exemples de pixels à éliminer au niveau de la parcelle de M. Ferrante, Trets (13) (Source : QGIS, 2019)

3.2.1. Méthode 1 : lissage manuel

Dans un premier temps, la proposition de carte faite au client concernait uniquement sa parcelle dont la carte d'aléa a été lissée indépendamment du reste des résultats obtenus sur l'ensemble de l'emprise du modèle.

La zone à lisser étant limitée, le traitement des résultats est ainsi fait manuellement. En effet, la valeur prise par chaque pixel ou assemblage de pixels est modifiée à l'aide de polygones. La Figure 18 rappelle les valeurs prises par les pixels correspondants aux différents aléas :





Value <=	Color	Label
1		Faible
2		Faible à modéré
3		Modéré
9		Fort

Figure 18 : Code couleur attribué au raster selon la valeur de l'aléa (Source : QGIS, 2019)

La Figure 19 suivante propose des exemples de polygones créés pour le lissage :

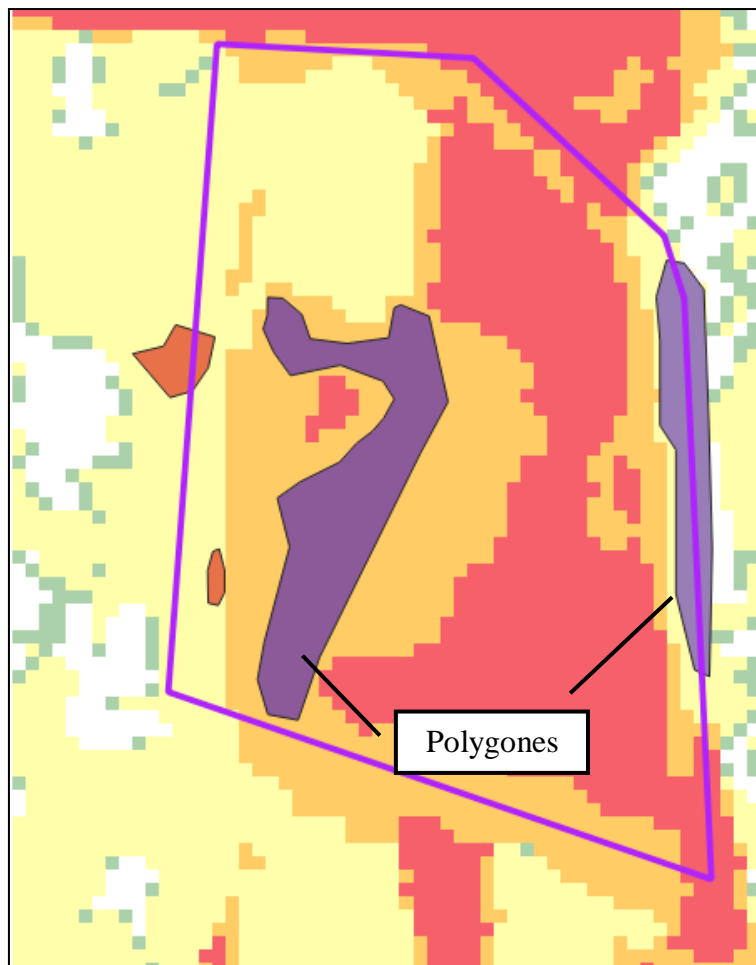


Figure 19 : Exemples de polygones couvrant les pixels à modifier (Source : QGIS, 2019)

Dans la table d'attribut des polygones dessinés, un nouveau champ *Value* est ainsi ajouté où les valeurs attribuées aux pixels sont indiquées. La modification des valeurs prises par le raster se fait ensuite à l'aide de l'éditeur de raster du menu SCP (*Semi-Automatic Classification Plugin*). Il est alors nécessaire de choisir le champ *Value* du vecteur choisi dans les options d'édition. A l'inverse de l'utilisation d'une valeur constante pour chaque vecteur, cette option permet de traiter en une seule manipulation l'ensemble des polygones dessinés, ce qui est d'autant plus efficace que le nombre de pixels à traiter est important. Suite à ces modifications, le résultat obtenu est présenté sur la Figure 20.

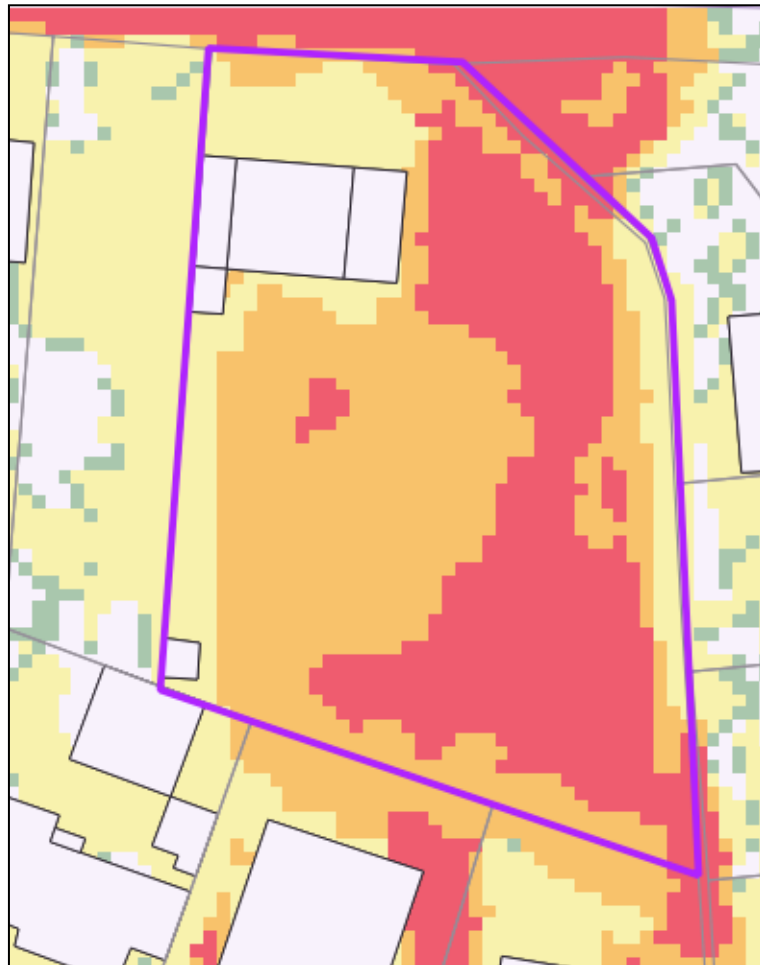


Figure 20 : Résultat du lissage manuel au droit de la parcelle (Source : QGIS, 2019)

3.2.2. Méthode 2 : lissage « en pyramide »

La méthode précédente n'est efficace qu'à une petite échelle comme celle de la parcelle de M. Ferrante et lorsque le nombre de pixels à traiter est limité. Or, il était ici demandé de préciser l'aléa inondation sur l'emprise totale du modèle. L'objectif est donc de trouver une routine de traitement du raster afin d'obtenir une carte d'aléa lissée.

Lisser le raster complet permet uniquement de supprimer les îlots de pixels isolés aux extrémités du raster correspondant aux aléas « faible » et « faible à modéré ». Dans la majorité des cas, les pixels des aléas « modéré » et « fort » ne sont donc pas lissés. La solution trouvée a donc été de traiter chaque couche d'aléas indépendamment avant de les superposer à nouveau selon le modèle d'une pyramide comme décrit sur la Figure 21 :

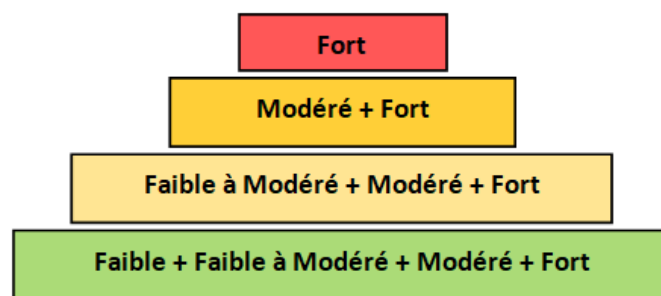


Figure 21 : Schéma de la superposition des différentes couches d'aléas

3.2.2.1. Couche 1 : Aléas « faible » à « fort »

Dans un premier temps, le raster de résultat du croisement hauteur – vitesse est alors lissé dans son ensemble. La « résolution » de la couche après traitement doit donc être semblable à celle de la carte d'aléa inondation du PLU actuelle, d'où la méthode développée ci-dessous.

La première étape consiste à filtrer les pixels que l'on souhaite conserver, ici ceux dont la valeur est supérieure à 0,01. En effet, les valeurs d'aléa trop faibles peuvent être directement éliminées afin de ne pas surcharger le raster en pixels isolés.

Le filtre se fait à partir d'une expression conditionnelle qui donne la valeur 1 aux pixels à conserver et 0 aux pixels à éliminer. En effet, les pixels qui remplissent la condition prennent la valeur 1, les autres la valeur 0. L'expression conditionnelle écrite dans la *Calculatrice Raster* (Figure 22) et permettant donc d'obtenir un « masque » est la suivante :

$$(HmaxVmax) / (HmaxVmax > 0,01)$$

Avec $HmaxVmax$ le raster du croisement hauteur-vitesse,
 $HmaxVmax > 0,01$ la condition sur le masque.

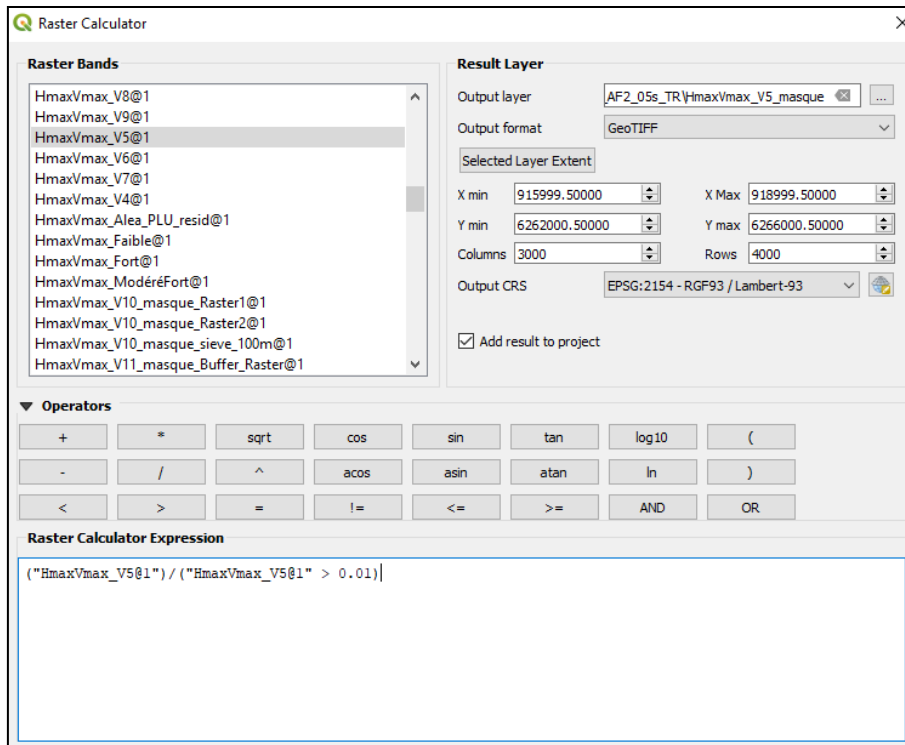


Figure 22 : Fenêtre d'accueil de la Calculatrice Raster (Source : QGIS, 2019)

Le raster obtenu (Figure 23) affiche alors uniquement les pixels répondant à la condition du masque (la division par 0 donne du *nodata*). Ainsi les pixels des zones blanches n'ont pas de valeur et affichent un *nodata*.

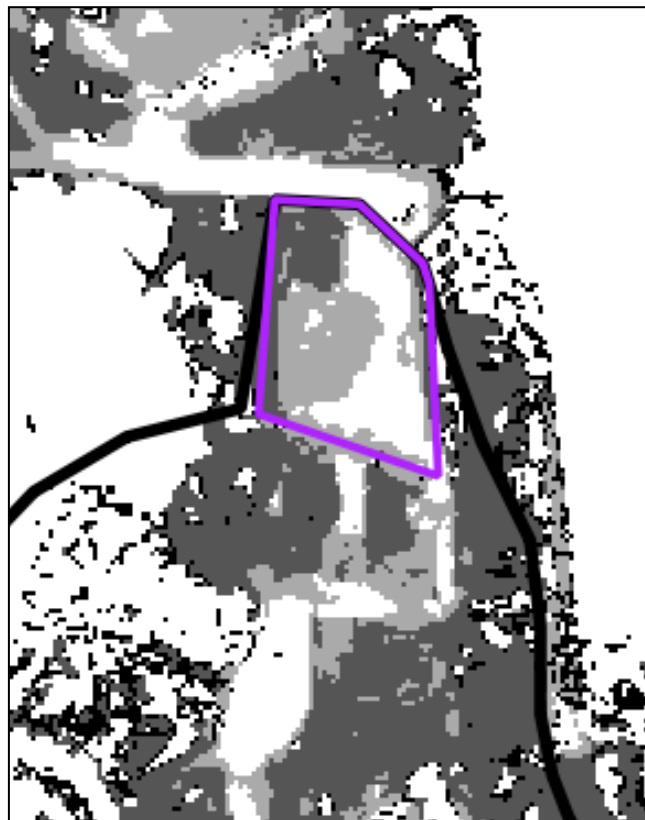


Figure 23 : Masque non-binaire au droit de la parcelle (Source : QGIS, 2019)

La fonction d'analyse *Tamiser* du menu *Raster* sur QGIS permet dans un second temps d'éliminer des îlots de pixels dont la surface est inférieure au seuil que l'on a défini, ici 50 m². Le paramètre à renseigner est donc le *Seuil* dont la valeur indique la surface minimale en pixels en-dessous de laquelle les pixels sont éliminés. Un pixel correspondant ici à 1 m², la valeur seuil choisie est 100.

Le paramètre de connexion des pixels permet si besoin d'indiquer quels pixels sont considérés comme faisant partie de la même entité (4 : uniquement gauche-droit-haut-bas ; 8 : aussi les pixels en diagonale). Dans notre cas, une entité de 4 pixels est suffisante.

Enfin, si le raster contient des valeurs *nodata* (comme c'est le cas ici) il faut indiquer *-nomask* dans l'éditeur manuel de commande. La couche raster obtenue (Figure 24) n'étant pas binaire, un masque binaire doit être créé à l'aide de la *Calculatrice Raster*.

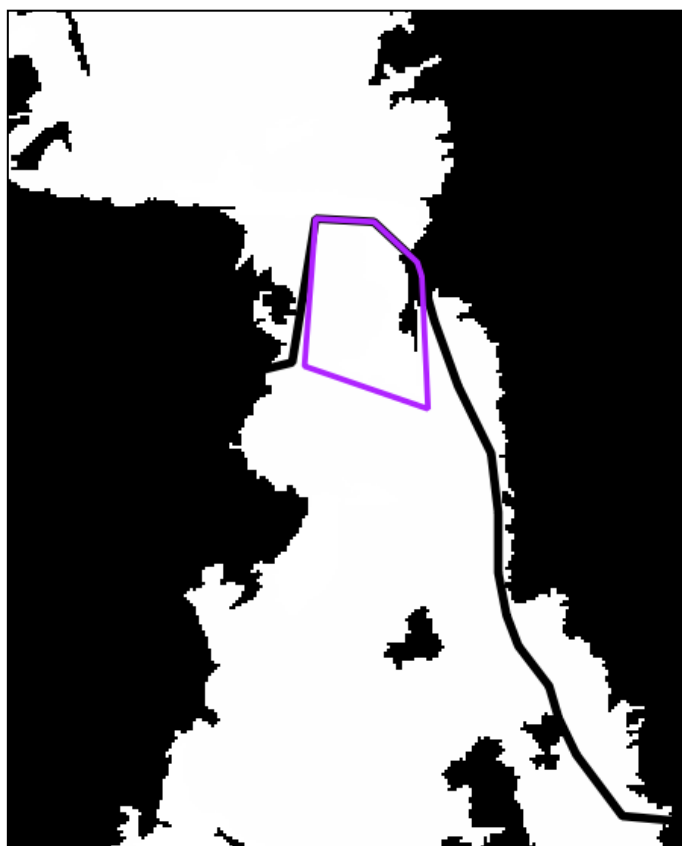


Figure 24 : Masque binaire au droit de la parcelle (Source : QGIS, 2019)

L'expression conditionnelle à inscrire dans la *Calculatrice Raster* est ici la suivante :

$$(HmaxVmax_V5_masque_sieve_100m \geq 0)$$

Avec *HmaxVmax_V5_masque_sieve_100m* la couche raster non binaire obtenue précédemment.

L'objectif est maintenant de découper le raster non binaire à l'aide du masque binaire créé à l'étape précédente en éliminant tous les pixels ayant pour valeur 0. Une fois de plus, une expression conditionnelle est écrite dans la *Calculatrice Raster* :

$$(HmaxVmax_V5_masque_sieve_100m) / (HV5_S100m_masque = 1)$$

Avec *HmaxVmax_V5_masque_sieve_100m* la couche raster non binaire, *HV5_S100m_masque* le masque binaire et *HV5_S100m_masque = 1* la condition sur le masque.

Finalement, le raster suivant est obtenu (Figure 25) :

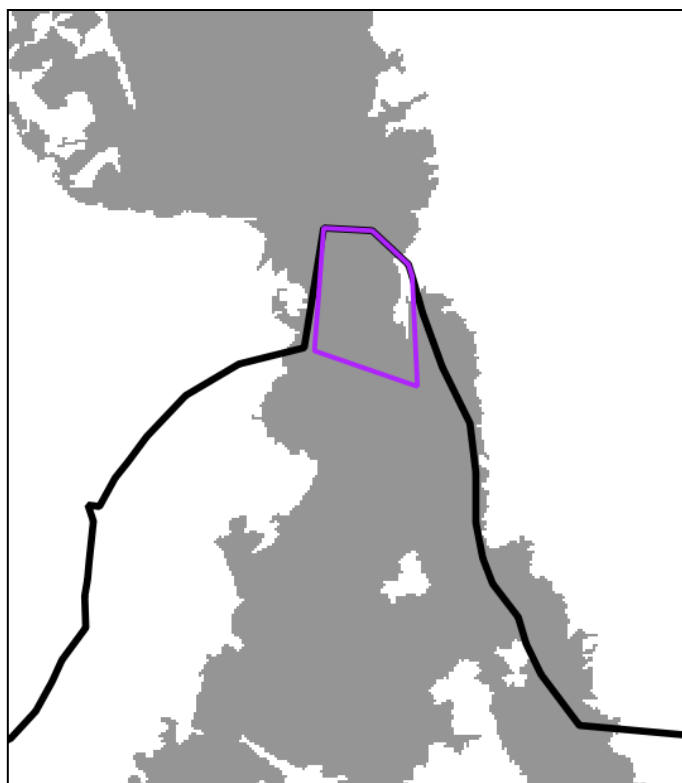


Figure 25 : Raster de l'aléa faible après découpage au droit de la parcelle (Source : QGIS, 2019)

L'étape suivante consiste dans un premier temps à vectoriser le raster obtenu précédemment à l'aide de l'outil *Polygonize* du menu *Raster*. Pour finir de lisser cette couche, les bords du vecteur sont alors « remplis » à l'aide d'une double utilisation de l'outil *Buffer* (Figure 26) du menu *Vecteur*.

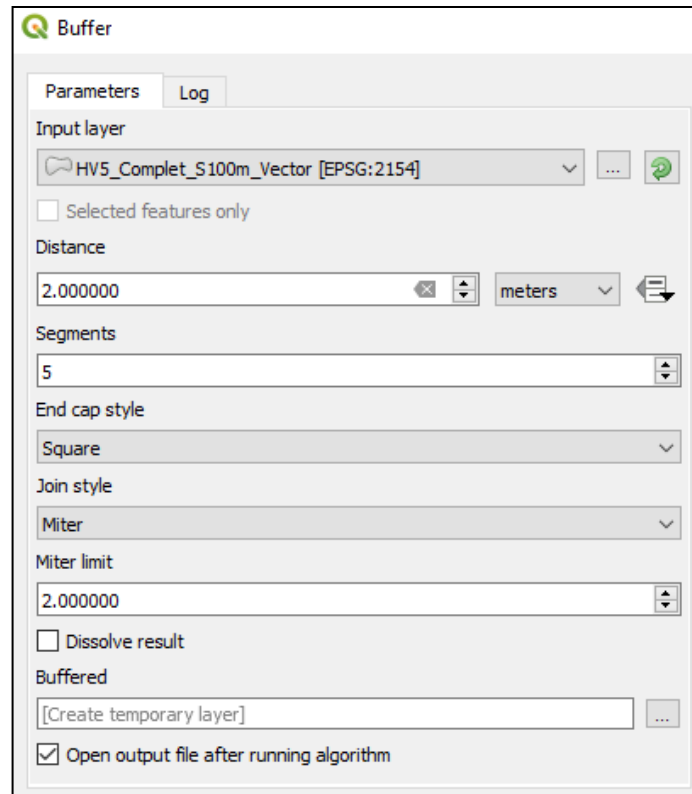


Figure 26 : Fenêtre de paramétrage de l'outil *Buffer* (Source : QGIS, 2019)

La distance choisie ici est 2 m (cette distance doit pour cette première utilisation de l'outil être strictement positive). Le style choisi ici des frontières du vecteur est carré tout comme le style de raccord (*Miter*). Un premier vecteur dont les frontières sont élargies de 2 m est obtenu (Figure 27).

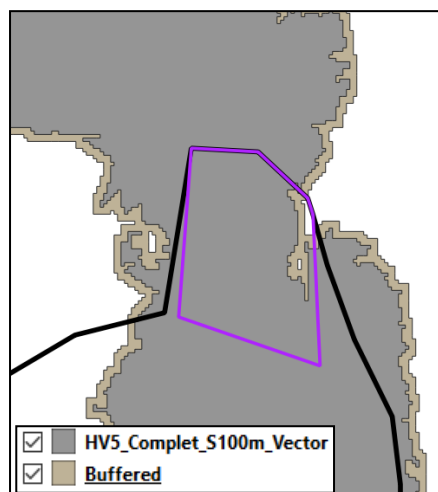


Figure 27 : Vecteur de l'aléa faible après utilisation d'un *Buffer* 2m au droit de la parcelle (Source : QGIS, 2019)

Avec le même outil, la manipulation est répétée sur le vecteur précédemment obtenu avec la même distance en *néгатif* (ici donc $-2m$). Les autres paramètres restent identiques. Le vecteur finalement obtenu, en comparaison avec le vecteur initial, propose une version plus lisse de ce dernier (Figure 28).

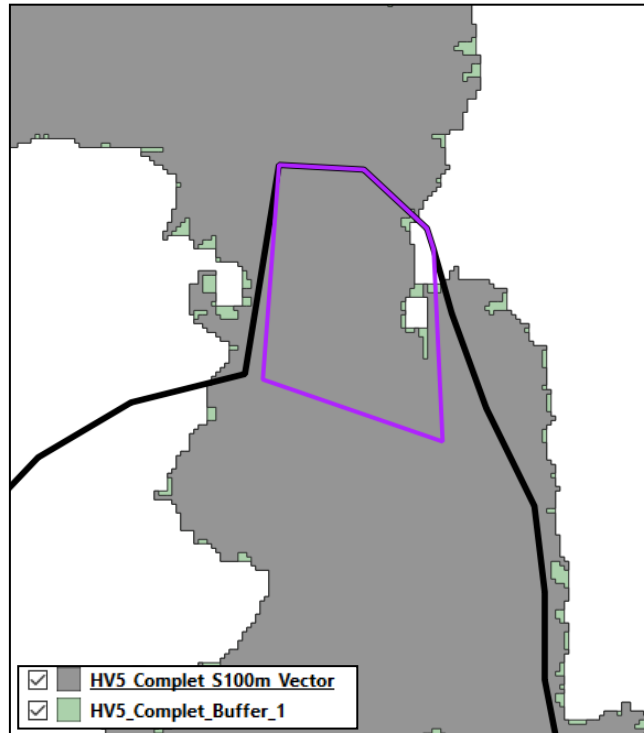


Figure 28 : Vecteur de l'aléa faible après utilisation d'un *Buffer* inverse - 2m au droit de la parcelle (Source : QGIS, 2019)

Le vecteur final ci-dessous (Figure 29) correspond donc à la couche d'aléa faible qui représentera la base de la superposition en « pyramide » des couches d'aléas :

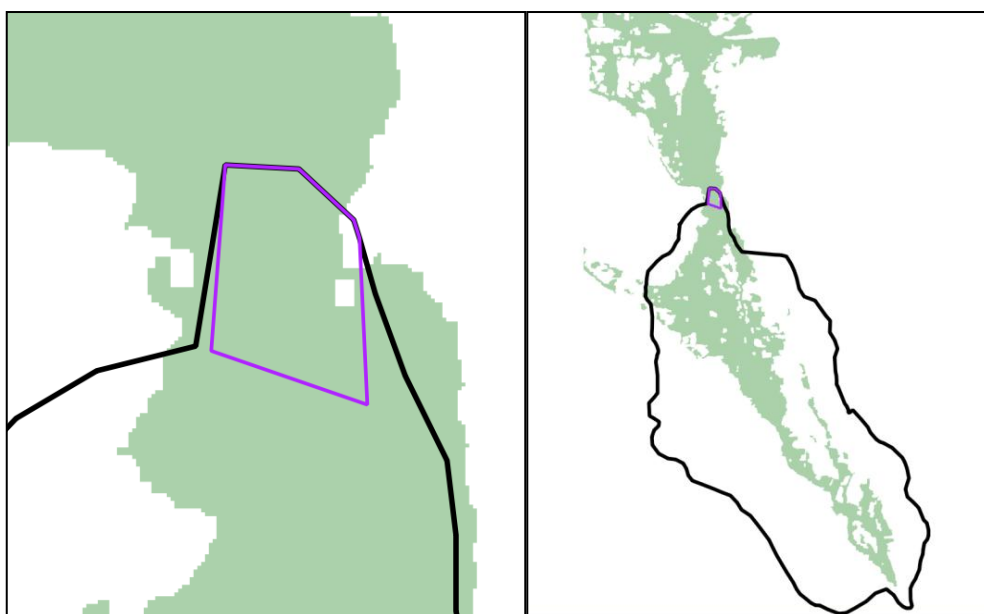


Figure 29 : Couche vectorielle finale de l'aléa faible au droit de la parcelle et à l'échelle du bassin versant amont (Source : QGIS, 2019)

3.2.2.2. Couches d'aléa « faible à modéré » à « fort »

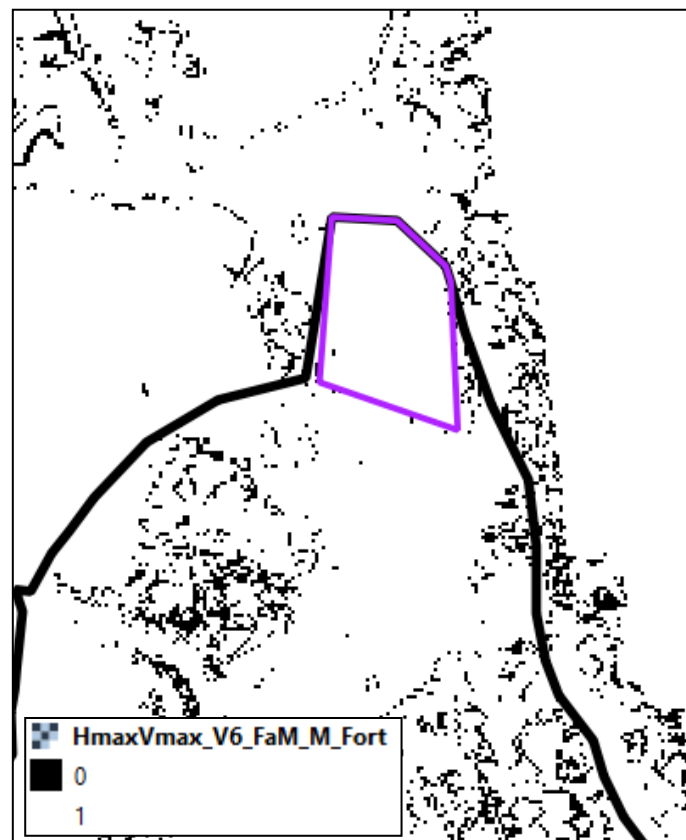
La méthode développée au point précédent est ensuite reproduite pour les couches d'aléas restantes. Néanmoins, pour chacune de ces couches, un isolement des pixels correspondant à l'aléa à traiter est d'abord nécessaire.

Par exemple, la couche d'aléa « faible à modéré » correspond aux pixels prenant les valeurs des aléas « faible à modéré » à « fort ». Ces pixels doivent donc être isolés du raster du croisement hauteur-vitesse initial. En effet, ce dernier comporte également des pixels de l'aléa faible. A nouveau, une expression conditionnelle doit alors être renseignée dans la *Calculatrice Raster* :

$$(HmaxVmax > 1) * 1$$

Avec $HmaxVmax$ le raster du croisement hauteur-vitesse,
 $HmaxVmax > 1$ la condition sur le masque.

Cette condition varie en fonction des pixels à isoler. En effet, celle-ci se réfère aux valeurs attribuées aux pixels en fonction de l'aléa correspondant (Figure 30). Un raster binaire est alors obtenu :



Seuls les pixels blancs dont la valeur est 1 doivent ensuite être conservés. En effet, les pixels noirs dont la valeur est nulle correspondent à l'aléa faible qui a été traité précédemment. Là encore, un masque est créé à l'aide d'une expression conditionnelle dans la *Calculatrice Raster* :

$$(HmaxVmax_V6_FaM_M_Fort) / (HmaxVmax_V6_FaM_M_Fort = 1)$$

Avec $HmaxVmax_V6_FaM_M_Fort$, le raster binaire précédemment obtenu, $(HmaxVmax_V6_FaM_M_Fort) / (HmaxVmax_V6_FaM_M_Fort = 1)$ la condition sur le masque.

Un masque est alors obtenu :

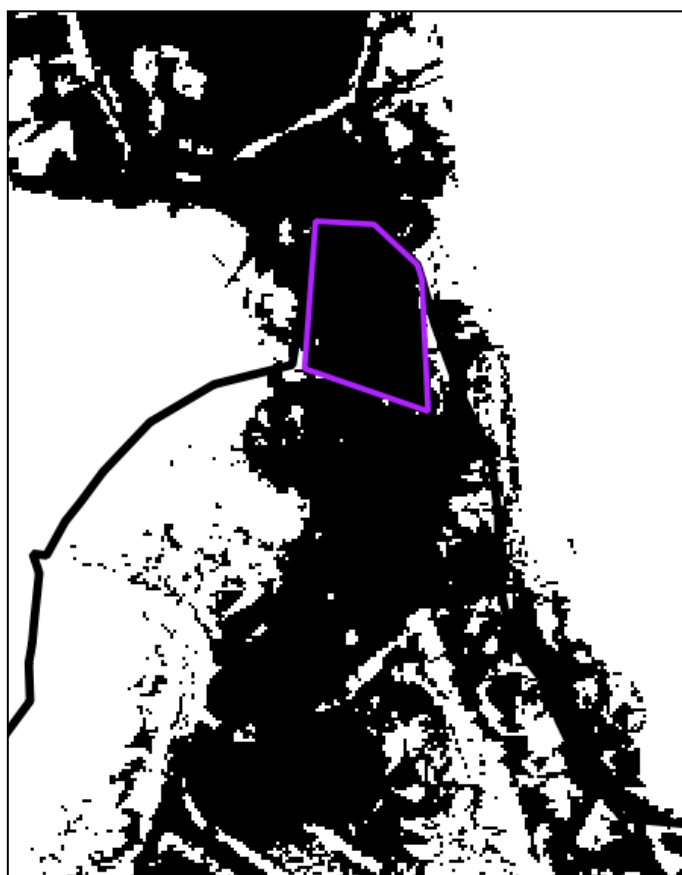


Figure 31 : Masque binaire de l'aléa faible à modéré au droit de la parcelle (Source : QGIS, 2019)

Les étapes suivantes correspondent ensuite aux étapes développées au point précédent. Une fois les 4 couches d'aléa prêtes, ces dernières peuvent enfin être associées au code couleur réglementaire du PLU et superposées en classant les vecteurs selon le modèle suivant (Figure 32).

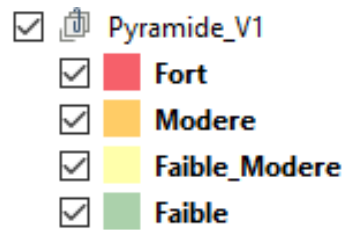


Figure 32 : Hiérarchisation des couches d'aléas pour la cartographie de l'aléa inondation sur l'emprise du modèle (Source : QGIS, 2019)

La carte d'aléa finale est disponible à l'échelle de la parcelle et du bassin versant amont en Annexes 11 et 12. La comparaison de cette carte d'aléa lissée avec la carte d'aléa brute permet d'observer que certaines zones semblant indiquer une continuité de l'aléa (mais très pixélisées) ont été éliminées lors du lissage comme le montrent les deux figures ci-dessous :

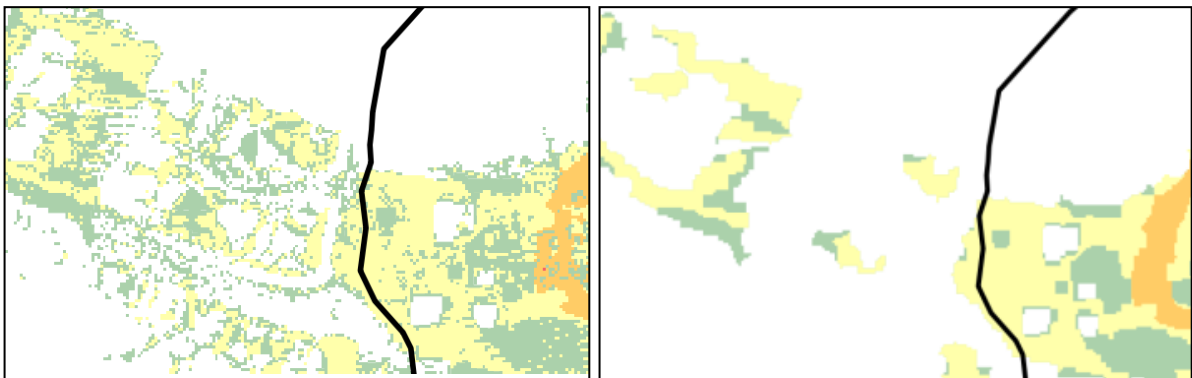


Figure 33 : Comparaison de la carte d'aléa inondation brute avec la carte d'aléa inondation lissée (Source : QGIS, 2019)

En développant un lissage moins strict, cette continuité pourrait éventuellement être conservée. C'est l'objectif de la méthode décrite plus bas.

3.2.3. Méthode 3 : lissage « en pyramide »

Cette méthode reprend le même principe de traitement et de superposition des aléas que la méthode 2 (voir 3.2.2.). En revanche, cette méthode permet de conserver certaines zones concernées par un aléa mais éliminées par la méthode 2 (Figure 34). Elle permet donc de conserver la continuité de l'aléa à l'aide de l'utilisation de l'outil *Buffer* (positif) avant l'étape de *tamissage*.

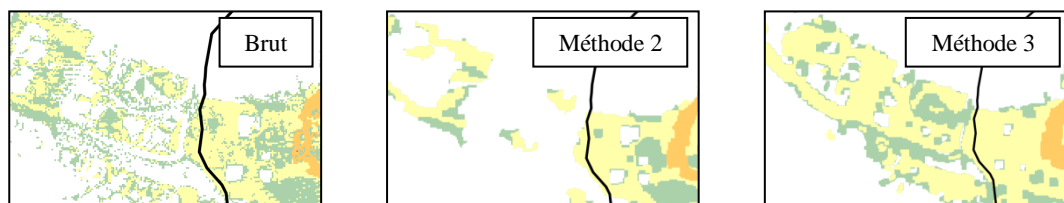


Figure 34 : Comparaison des cartes d'aléa inondation brute et des méthodes de lissage 2 et 3 (Source : QGIS, 2019)

Après avoir créé le masque à partir du raster initial (voir la première étape de la méthode 2), celui-ci est converti en vecteur avec l'outil *Polygonize* du menu *Raster* (Figure 35).

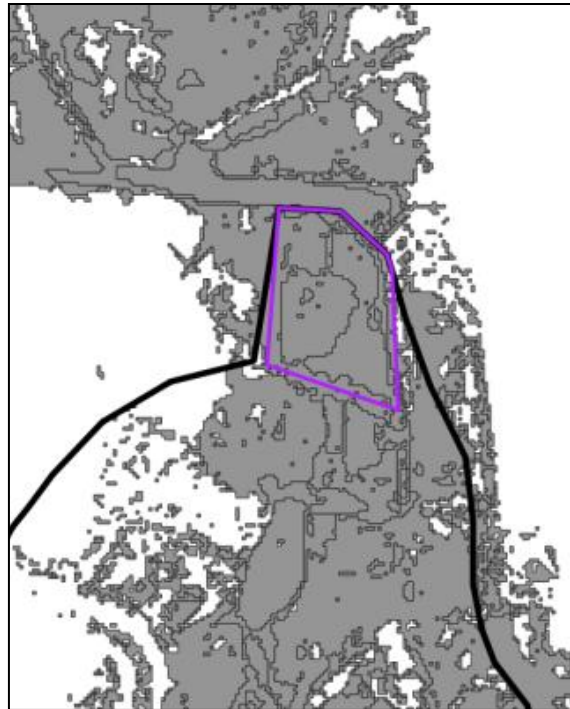


Figure 35 : Vecteur de l'aléa faible obtenu après vectorisation du raster initial au droit de la parcelle (Source : QGIS, 2019)

L'utilisation de l'outil *Buffer* (avec une distance positive limitée ici à 1 m) à cette étape du processus de lissage permet d'augmenter la taille des îlots de pixels voire de les joindre (Figure 36) afin d'éviter leur élimination au moment du tamisage. La conséquence est la majoration artificielle de quelques mètres de l'aléa.

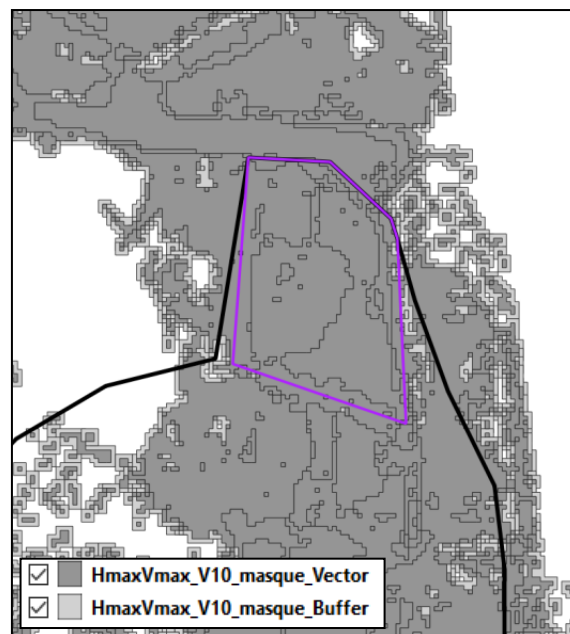


Figure 36 : Vecteur de l'aléa faible après utilisation d'un *Buffer* 1m au droit de la parcelle (Source : QGIS, 2019)

Avant de pouvoir reprendre la suite des étapes de la méthode 2, le vecteur précédemment obtenu doit d'abord être converti à nouveau en raster à l'aide de l'outil *Rasterize*. Les 2 illustrations ci-dessous (Figure 37) permettent de constater les différences induites par les ajustements précédents sur la couche d'aléa « faible » par rapport à celle de la méthode 2.

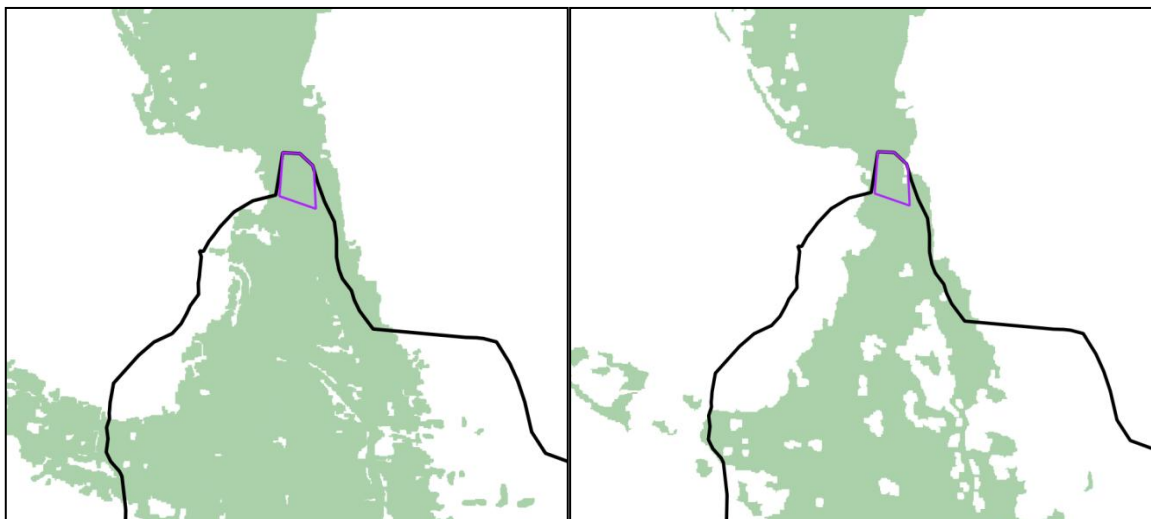


Figure 37 : Comparaison des couches d'aléas faibles finales des méthodes 2 et 3 (Source : QGIS, 2019)

3.2.4. Choix de la méthode conservée

Bien que la méthode 3 permette de conserver par endroit une continuité de l'aléa, elle présente également deux inconvénients par rapport à la méthode 2. En effet, la conversion du vecteur en raster (*voir 3.2.3.*) engendre un décalage de ce dernier. Par exemple, avec 0,5 m en paramètre d'entrée de l'outil de conversion, un décalage du raster de 0,25 m vers le haut et de 0,25 m vers la droite est observé. Néanmoins, ce léger décalage peut être négligé vis-à-vis de l'échelle du modèle.

Ensuite, en majorant l'aléa de quelques mètres, des zones qui ne sont pas couvertes par un aléa inondation peuvent l'être avec la méthode 3.

Finalement, dans l'intérêt du client, la carte d'aléa obtenue avec la méthode 2 a été choisie (Annexes 11 et 12). En effet, sur la parcelle du projet, la partie du terrain reprise en zone rouge est moins étendue qu'avec la méthode 3 qui l'extrapole par rapport aux résultats bruts. Le client devrait alors potentiellement renoncer à la vente d'un lot sur sa parcelle. Enfin, certaines zones relativement étendues d'aléa « fort » sont éliminées avec la méthode 2. Certaines de ces zones sont donc ajoutées à la main (*voir 3.2.1.*), notamment au sud-est de la parcelle de M. Ferrante (Annexes 14 et 15).

3.3. Conclusions d'après la réglementation

La réglementation liée à chacune des zones d'aléa a été détaillée précédemment. En se référant à la carte d'aléa obtenue précédemment (Annexe 13), il en ressort que sur la parcelle de M. Ferrante :

- **Les zones rouges sont inconstructibles ;**
- **Les constructions en zone bleu clair sont autorisées** sous réserve que le 1^{er} plancher aménagé soit calé au minimum à la cote PHE + 20 cm ;
- l'emprise au sol des constructions sur la partie inondable du terrain support du projet est limitée : elle doit être inférieure à 30 % de cette surface inondable, ou jusqu'à 50 % si cette emprise supplémentaire est conçue de telle sorte qu'elle réponde à l'objectif de transparence hydraulique (construction sur pilotis ou vide sanitaire transparent par exemple) ;
- La matérialisation au sol d'emplacements de stationnement est possible en zone rouge et bleue clair.

CONCLUSION

Suite à différentes études hydrauliques sur le fleuve de l'Arc et les ruisseaux traversant son territoire communal, la ville de Trets a récemment révisé son PLU et notamment la cartographie du risque inondation auquel elle est exposé. La qualification de l'aléa inondation sur une partie de la commune a été réalisée par le bureau d'études *ARTELIA* en 2017. Une réglementation plus précise concernant les aménagements en zone inondable a été ajoutée au PLU finalement approuvé en décembre 2017.

Le propriétaire d'un terrain repris d'après ce PLU en zone inondable au sein du secteur AZU selon un aléa « à déterminer » a déposé une demande d'aménagement de sa parcelle pour la construction future d'un lotissement. Afin de pouvoir étudier la demande de M. Ferrante, la mairie de Trets a ainsi demandé qu'une étude hydraulique précise et quantifie le risque au droit du présent projet.

Cette étude a été réalisée par le bureau d'études AquaGeoSphere au travers d'une modélisation hydraulique 2D. L'emprise du modèle représente une superficie de **242,5 ha**. Comme demandé par la DDTM des Bouches-du-Rhône, l'emprise du modèle a été conçue à l'échelle du bassin versant (d'une emprise de **61 ha** à l'amont du projet) et a intégré la zone AZU (Autre Zone Urbaine) du PLU de la commune de Trets concernée par l'axe d'écoulement.

L'estimation du débit de référence centennal injecté dans le modèle se base sur les hypothèses hydrologiques prises dans le cadre de l'étude hydrauliques réalisée par *ARTELIA* en 2017. Dans son étude, le débit spécifique centennal du bassin versant de la Bagasse au sein duquel s'insère le projet a été estimé à $16 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^{1,6}$. Rapporté à une surface de 61 ha, le débit centennal considéré dans le cadre de cette étude est ainsi de **11 m³/s**. Une analyse de sensibilité a permis d'évaluer l'impact relatif des paramètres d'entrée, ici les coefficients de rugosité et le débit d'injection, sur les résultats de la simulation. Les hypothèses prises sur ces paramètres ont ainsi été conservées.

Les hauteurs d'eau maximales obtenues sur la parcelle sont inférieures à 50 cm et majoritairement comprises entre 20 et 40 cm. De même, les vitesses d'écoulement maximales sont globalement inférieures à 1 m/s, sur la partie ouest de la parcelle. En revanche, elles sont supérieures à 1 m/s en partie est de la parcelle et atteignent un maximum de 2 m/s au sud-est de cette dernière.

Le croisement de ces résultats et des zones d'enjeux urbains a permis de définir le zonage du risque inondation au droit de la parcelle.

Finalement, la parcelle est reprise en zone bleue clair dans sa partie ouest, avec suffisamment d'espace pour vendre plusieurs lots constructibles. En revanche, du fait des vitesses d'écoulement élevées, la partie est est située en zone rouge, y rendant impossible toute autorisation d'aménagement.

BIBLIOGRAPHIE

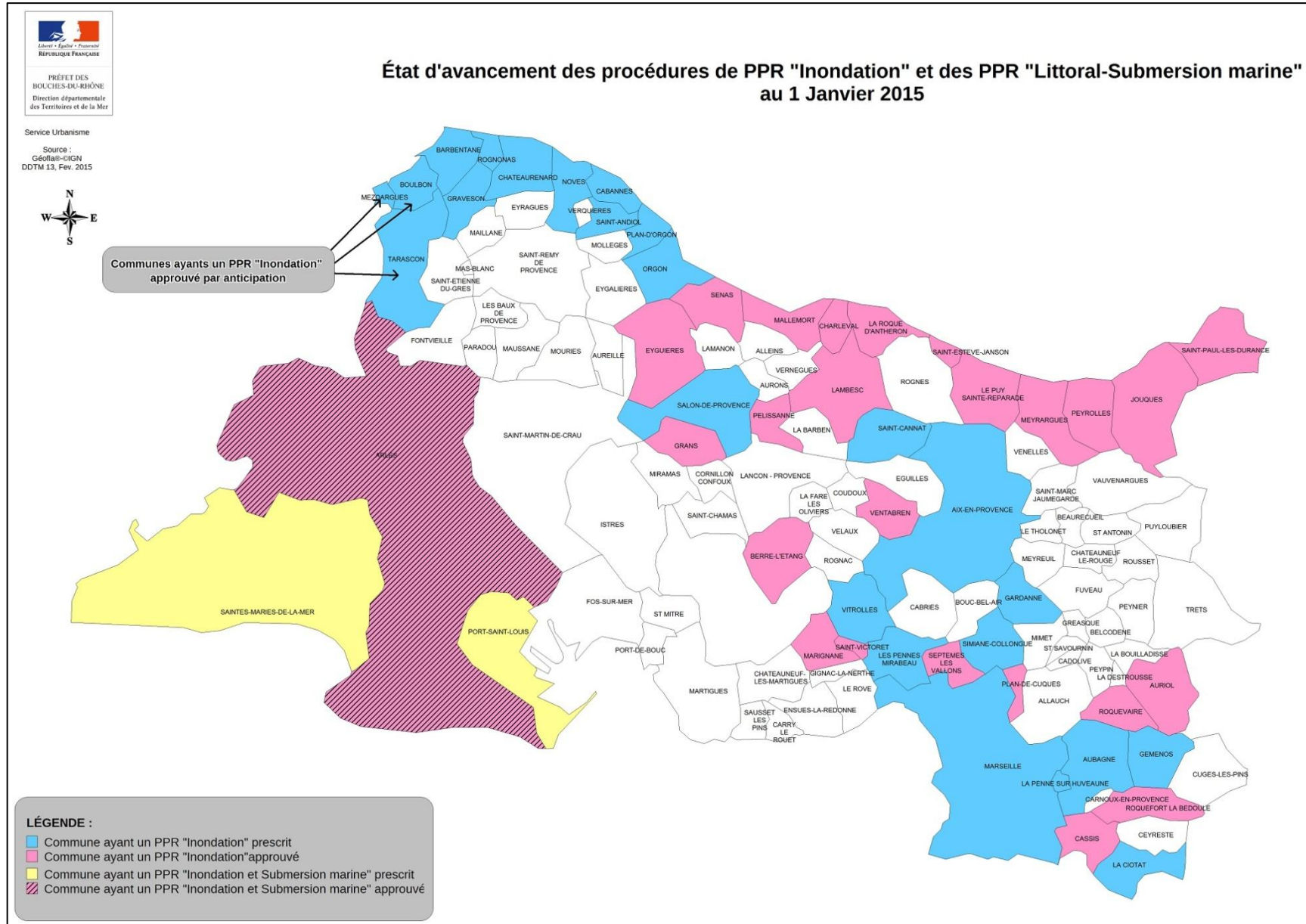
- [1] ARTELIA. **Etude hydraulique de définition de l'impact sur la zone inondable du terrain projeté pour la ZAC René Cassin à Trets. Rapport d'étude.** p. 14-15. Marseille, ARTELIA, Ref. 4242405, octobre 2017.
- [2] BENYAHYA, L., A. DAIGLE, D. CAISSIE, D. BEVERIDGE et A. ST-HILAIRE. **Caractérisation du régime naturel du débit des bassins versants de l'Est du Canada.** INRS-ETE, rapport R1057, 2009. 88 p. ISBN : 978-2-89146-597-7
- [3] COMMUNE DE TRETS. SERVICE RISQUES MAJEURS. **Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs (DICRIM)** [en ligne] Trets, Service Risques Majeurs, décembre 2010 [consulté le 30/09/2019]. <https://www.trets.fr/wp-content/uploads/2015/01/dicrim_trets_bd.pdf >
- [4] DIRECTION DEPARTEMENTALE DES TERRITOIRES ET DE LA MER DES BOUCHES-DU-RHONE. **Rubrique 2.1.5.0 de la loi sur l'eau. Principes de gestion des eaux pluviales dans les projets d'aménagements dans les Bouches-du-Rhône** [en ligne] Marseille, DDTM 13, 2015 [consulté le 30/09/2019]. < <http://www.bouches-du-rhone.gouv.fr/content/download/17292/107837/file/doctrine2150.pdf> >
- [5] DURIN V., MATHIEU L.. **L'approche hydrogéomorphologique en milieux méditerranéens. Une méthode de détermination des zones inondables.** p. 5. Aix-en-Provence, DIREN PACA, avril 2007.
- [6] ENVEO INGENIERIE & CEREG INGENIERIE. **Etude hydraulique des ruisseaux de la Gardi, des Seignières et de la Bagasse.** p. 9-13. Nîmes, CEREG Ingénierie – M10037, août 2010.
- [7] FRANCE. CHARTE DE L'ENVIRONNEMENT DE 2004. **Article 5 de la loi constitutionnelle n° 2005-205 du 1er mars 2005 relative à la Charte de l'environnement** [en ligne] *Journal officiel de la République Française* n°0051 du 2 mars 2005 [consulté le 30/09/2019]. < <https://www.legifrance.gouv.fr/Droit-francais/Constitution/Charte-de-l-environnement-de-2004> >
- [8] VILLE DE TRETS. **Plan Local d'Urbanisme. Pièce N°1 Rapport de présentation. Révision générale du PLU. PLU approuvé par DCM du 12/12/2017** [en ligne]. p. 171-175. Trets, Ville de Trets, décembre 2017 [consulté le 30/09/2019]. <https://www.dropbox.com/sh/c8i5pfjil2530x1/AADYFMvXbZ3G3HXS5fNSi0MXa/01_DOSSIER%20PRINCIPAL/1_RP?dl=0&preview=PLETS+RP_APPRO.pdf&subfolder_nav_tracking=1>
- [9] VILLE DE TRETS. **Plan Local d'Urbanisme. Pièce N°4.2 Règlement écrit. Révision générale du PLU. PLU approuvé par DCM du 12/12/2017** [en ligne]. p. 115-140. Trets, Ville de Trets, décembre 2017 [consulté le 30/09/2019]. <https://www.dropbox.com/sh/c8i5pfjil2530x1/AADexVMBZkXhQ1wA6Cn7IfFVa/01_DOSSIER%20PRINCIPAL/4_REGLEMENT%20ECRIT%20ET%20GRAPHIQUE?dl=0&preview=PLETS+REGLEMENT_APPRO_12+12+17.pdf&subfolder_nav_tracking=1>

LISTE DES ANNEXES

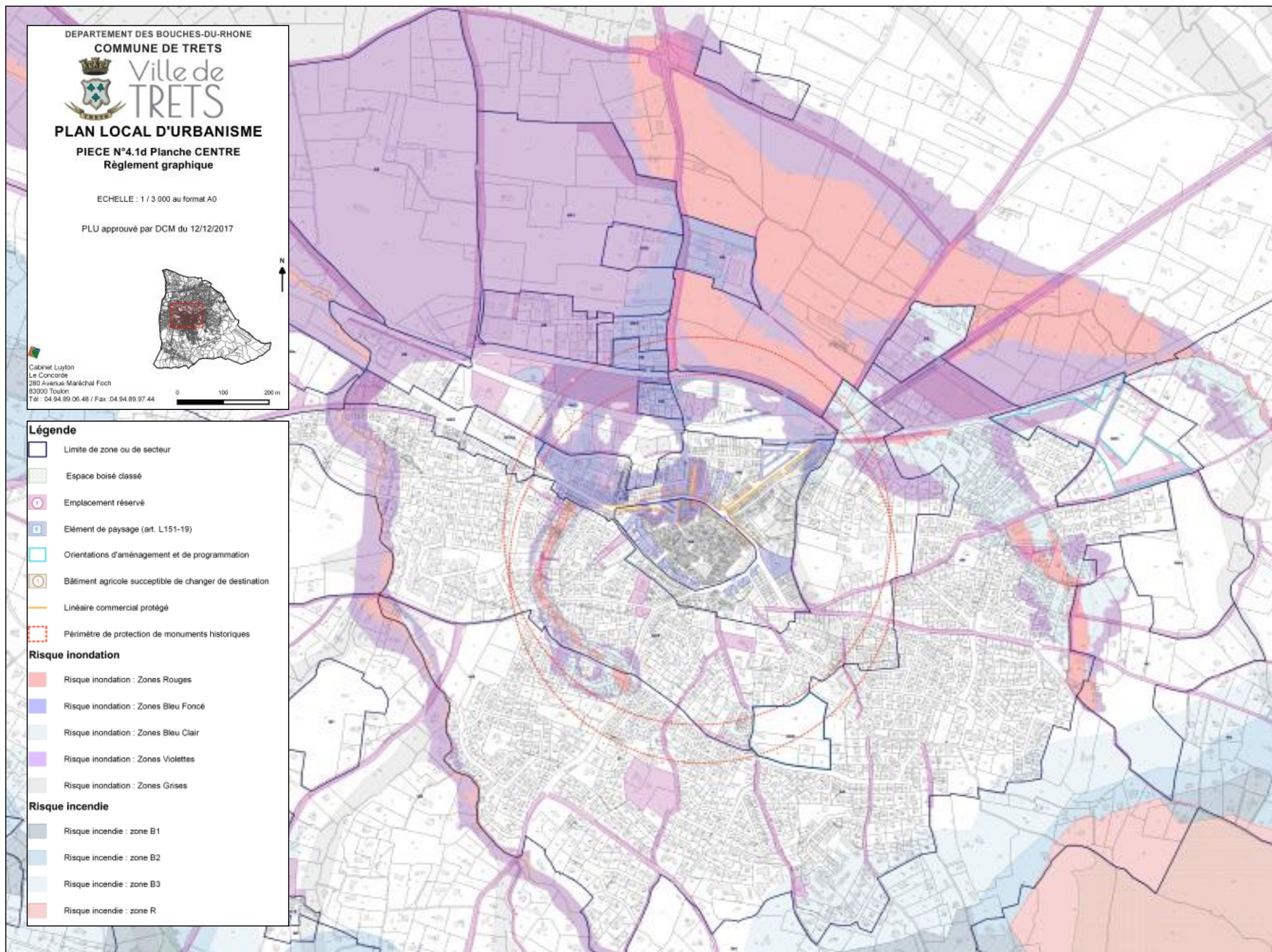
Annexe 1 : Etat d'avancement des procédures de PPR « Inondation » et des PPR « Littoral-Submersion marine » au 1er janvier 2015 (DDTM 13, 2015).....	51
Annexe 2 : Extrait du règlement graphique du PLU de Trets sur le centre de la commune (Source : PLU,2017).....	52
Annexe 3 : Extrait de la synthèse graphique de l'aléa inondation sur le centre-ville de Trets (Source : ARTELIA, 2017)	54
Annexe 4 : Extrait de la synthèse graphique du risque inondation sur le centre-ville de Trets (Source : ARTELIA, 2017)	56
Annexe 5 : Carte des hauteurs d'eau maximales modélisées pour une crue centennale au droit de la parcelle de M. Ferrante (Source : AquaGeoSphere, 2019)	58
Annexe 6 : Carte des hauteurs d'eau maximales modélisées pour une crue centennale à l'échelle du bassin versant amont à la parcelle de M. Ferrante (Source : AquaGeoSphere, 2019).....	60
Annexe 7 : Carte des vitesses d'écoulement maximales modélisées pour une crue centennale au droit de la parcelle de M. Ferrante (Source : AquaGeoSphere, 2019).....	62
Annexe 8 : Carte des vitesses d'écoulement maximales modélisées pour une crue centennale à l'échelle du bassin versant en amont de la parcelle de M. Ferrante (Source : AquaGeoSphere, 2019)	64
Annexe 9 : Carte d'aléa inondation brute au droit de la parcelle de M. Ferrante (Source : AquaGeoSphere, 2019)	66
Annexe 10 : Carte d'aléa inondation brute à l'échelle du bassin versant en amont de la parcelle de M. Ferrante (Source : AquaGeoSphere, 2019).....	68
Annexe 11 : Carte d'aléa inondation lissée au droit de la parcelle de M. Ferrante (Source : AquaGeoSphere, 2019)	70
Annexe 12 : Carte d'aléa inondation lissée à l'échelle du bassin versant en amont de la parcelle de M. Ferrante (Source : AquaGeoSphere, 2019).....	72
Annexe 13 : Carte du risque inondation brute à l'échelle du bassin versant en amont de la parcelle de M. Ferrante (Source : AquaGeoSphere, 2019).....	74
Annexe 14 : Carte d'aléa inondation lissée et actualisée au droit de la parcelle de M. Ferrante (Source : AquaGeoSphere, 2019).....	76

Annexe 15 : Carte du risque inondation lissée et actualisée au droit de la parcelle de M.

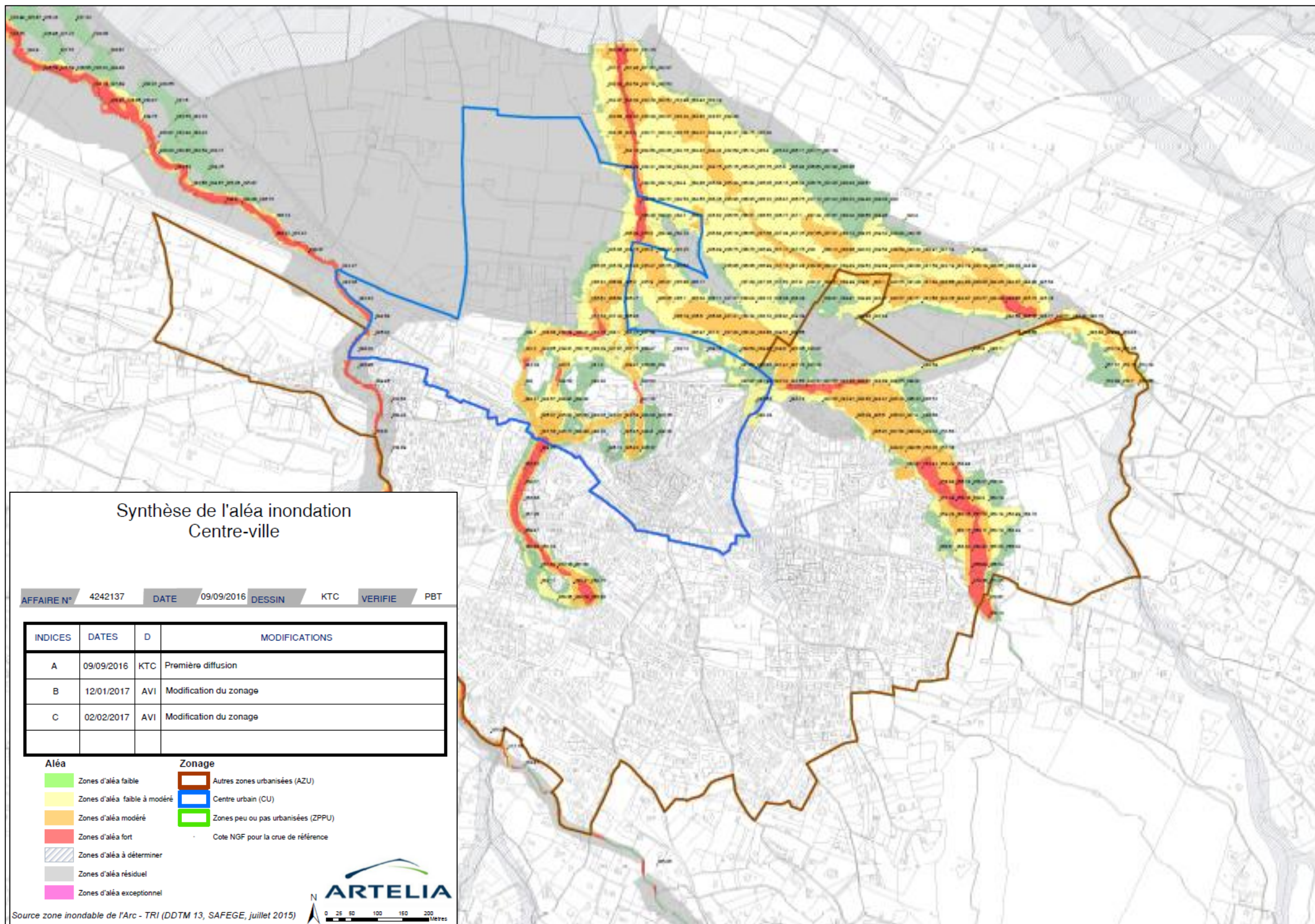
Ferrante (Source : AquaGeoSphere, 2019).....78



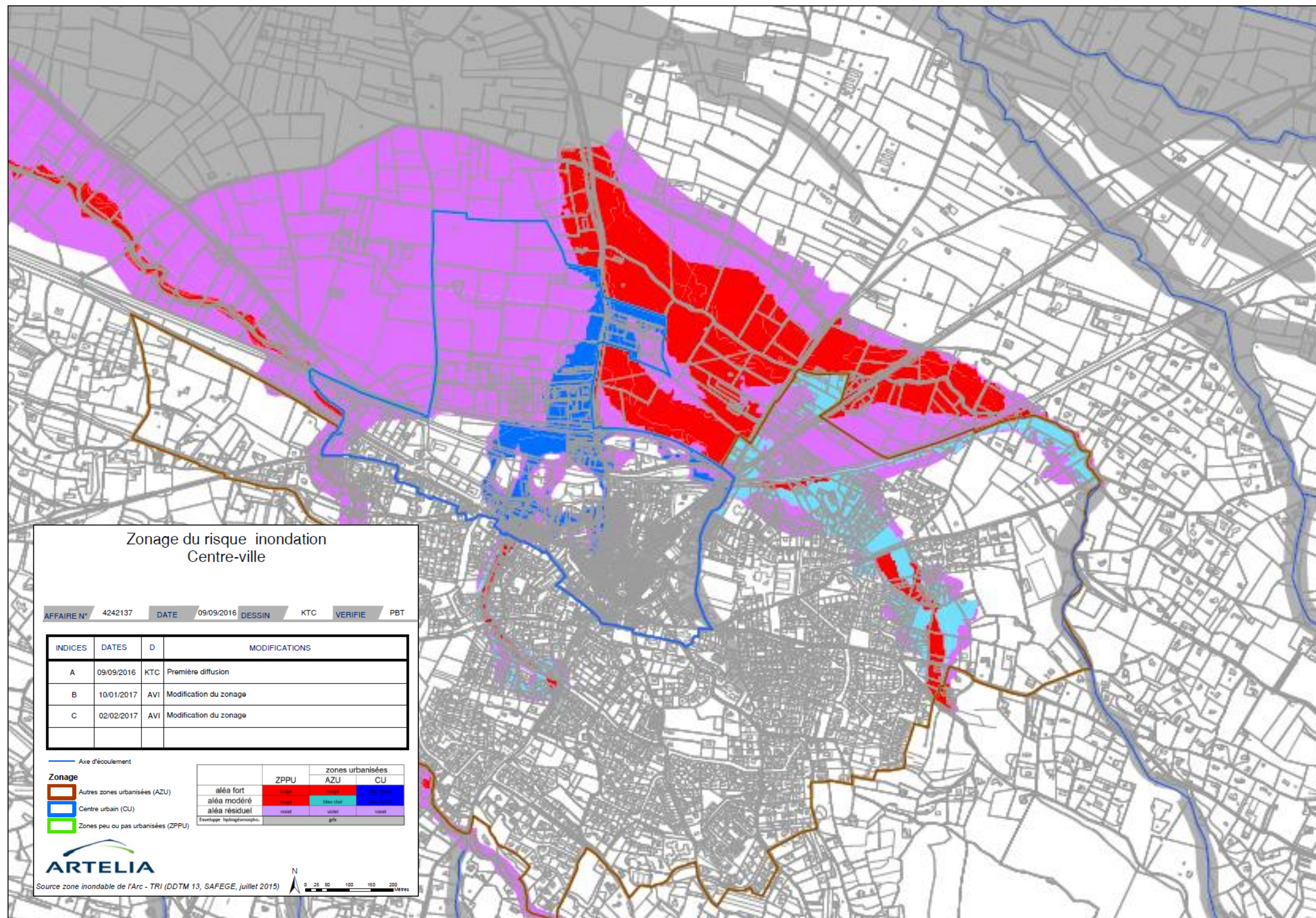
Annexe 1 : Etat d'avancement des procédures de PPR « Inondation » et des PPR « Littoral-Submersion marine » au 1er janvier 2015 (DDTM 13, 2015)



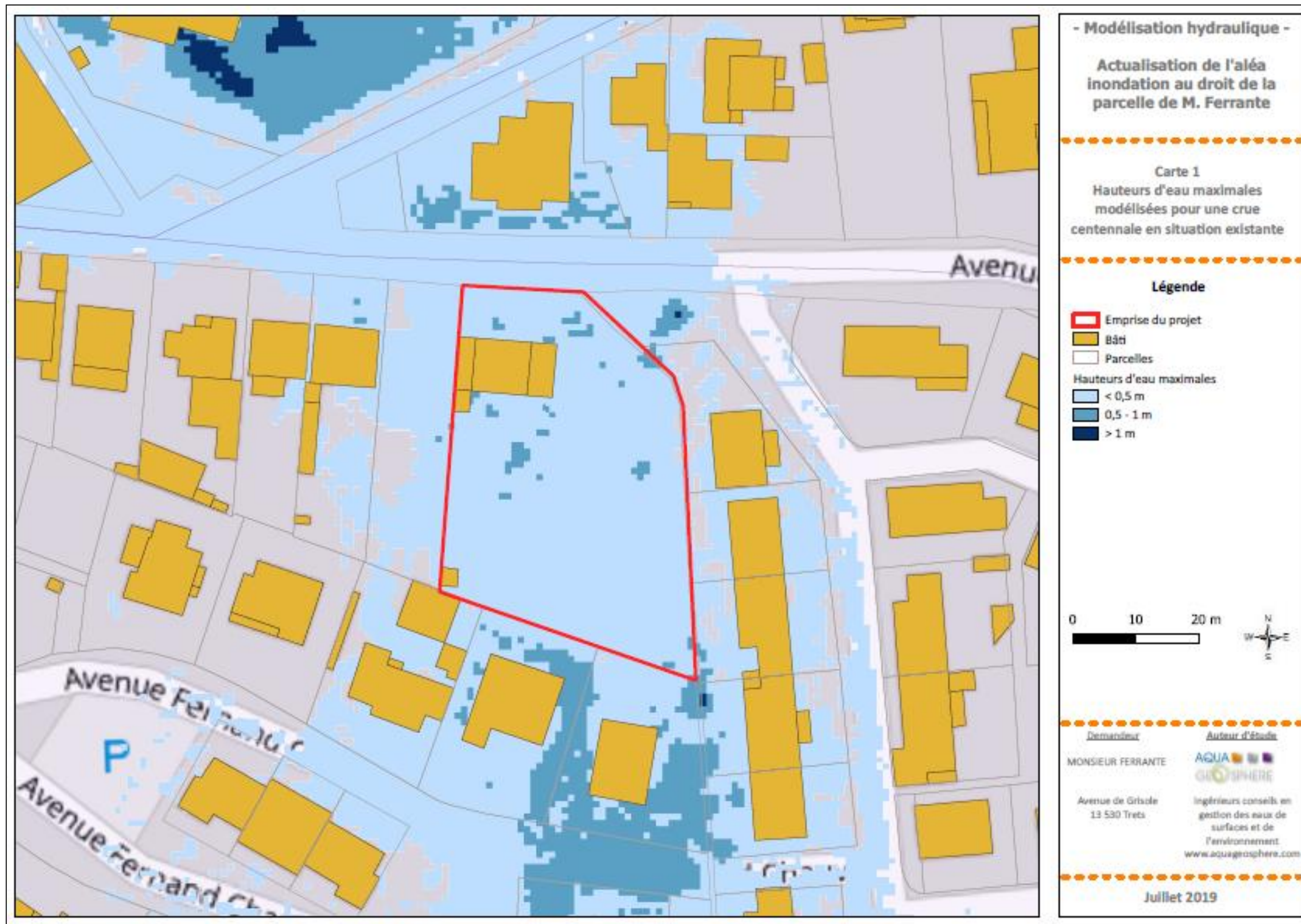
Annexe 2 : Extrait du règlement graphique du PLU de Trets sur le centre de la commune (Source : PLU)



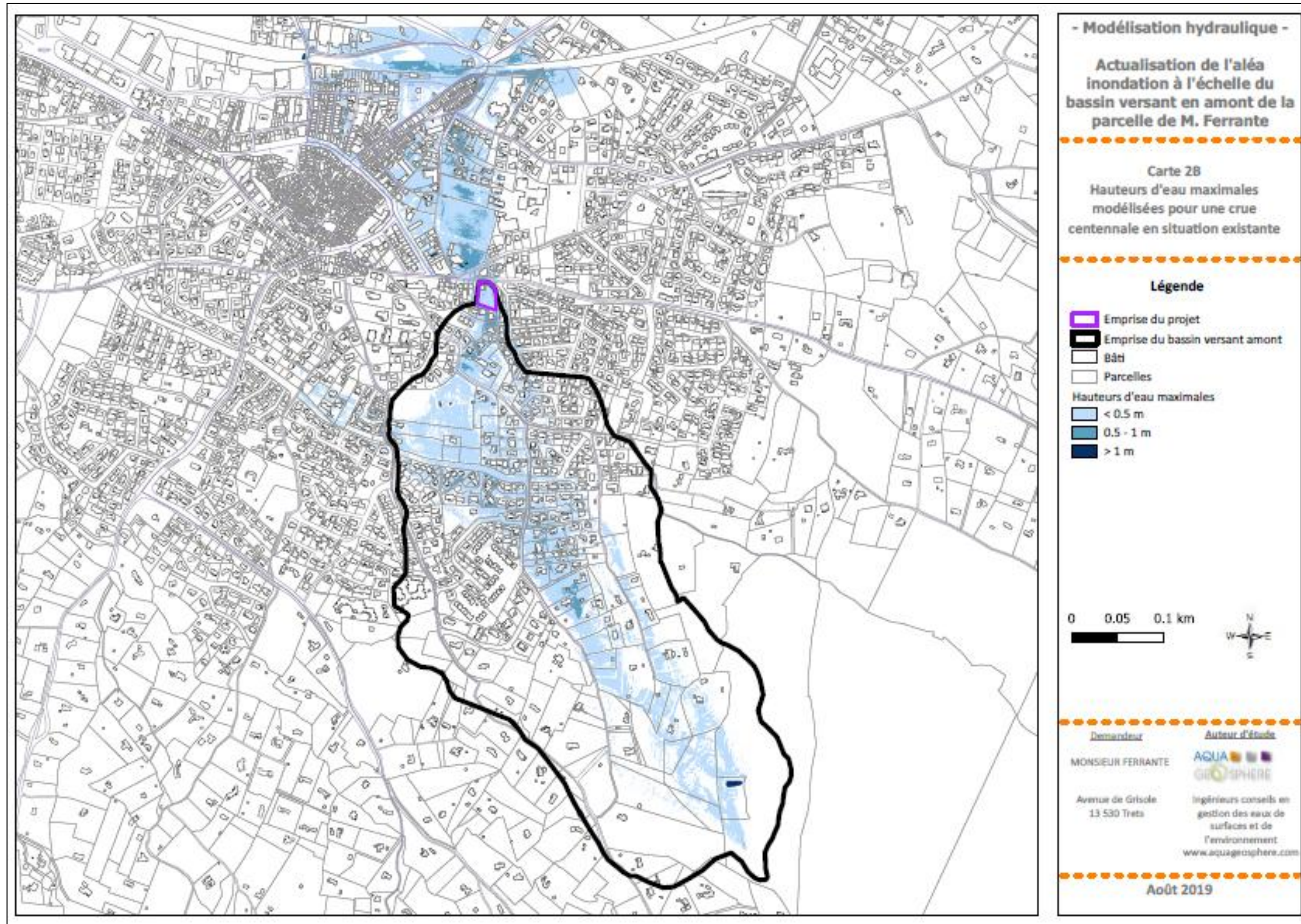
Annexe 3 : Extrait de la synthèse graphique de l'aléa inondation sur le centre-ville de Trets (Source : ARTELIA, 2017)



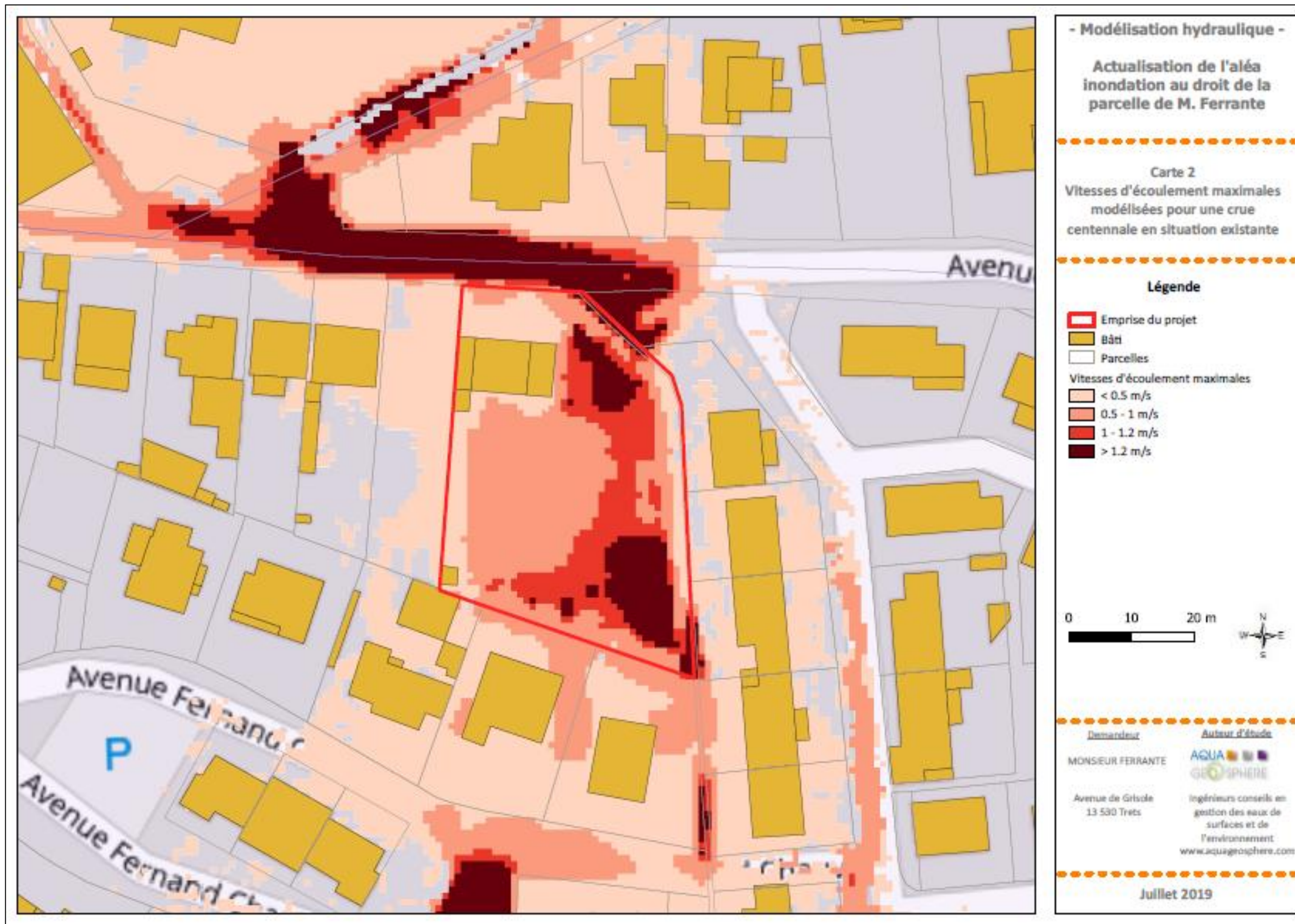
Annexe 4 : Extrait de la synthèse graphique du risque inondation sur le centre-ville de Trets (Source : ARTELIA, 2017)



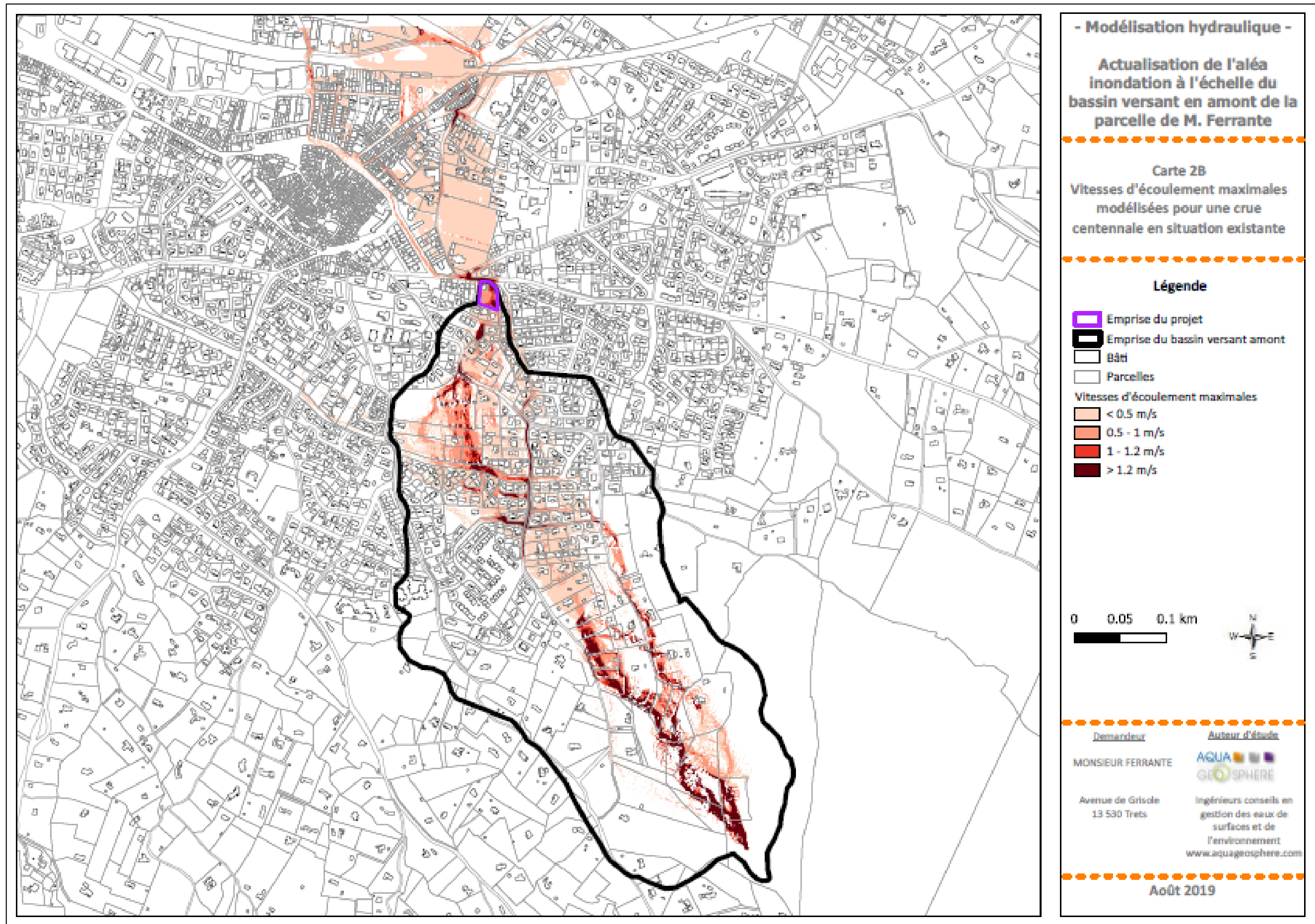
Annexe 5 : Carte des hauteurs d'eau maximales modélisées pour une crue centennale au droit de la parcelle de M. Ferrante (Source : AquaGeoSphere, 2019)



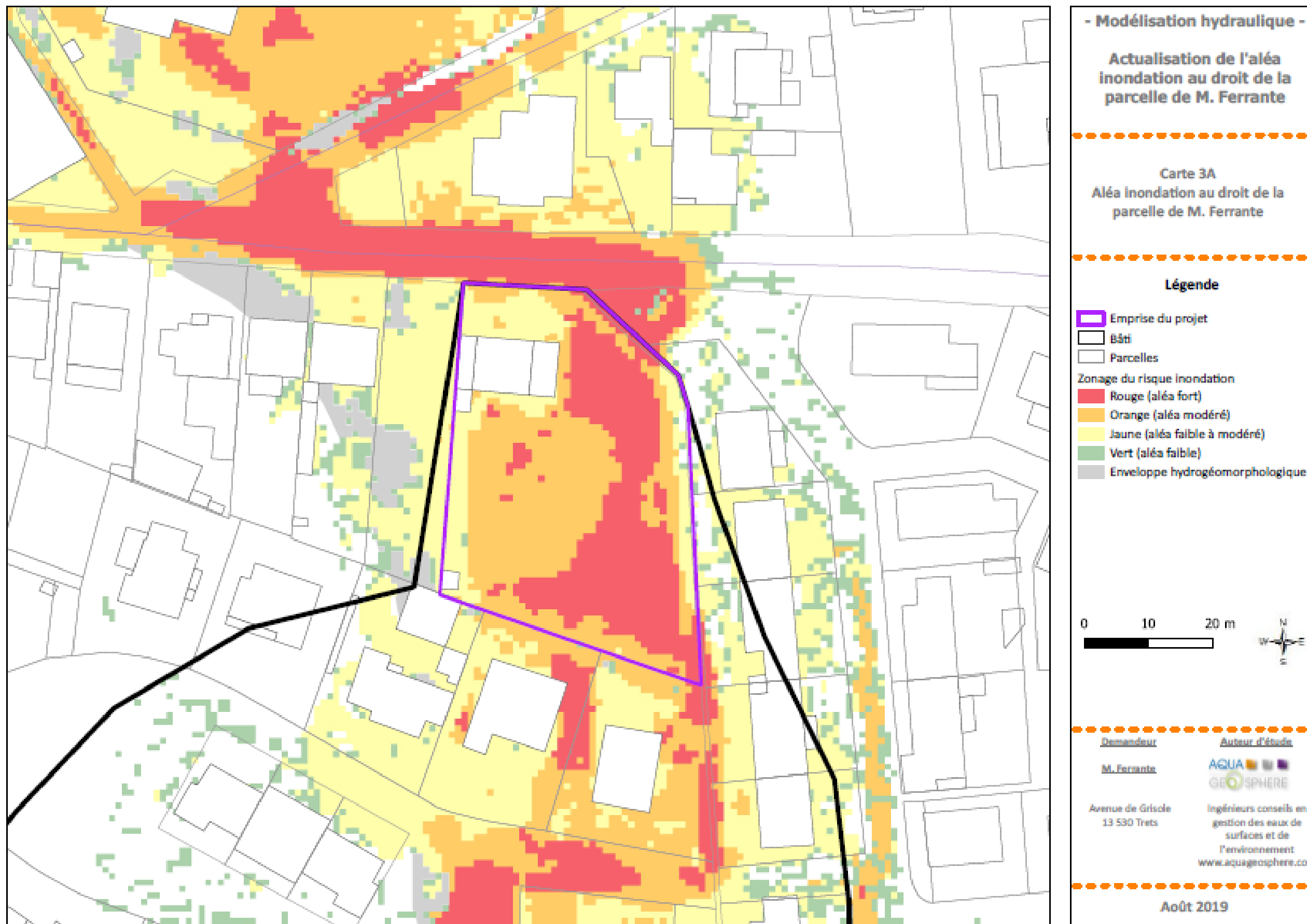
Annexe 6 : Carte des hauteurs d'eau maximales modélisées pour une crue centennale à l'échelle du bassin versant amont à la parcelle de M. Ferrante (Source : AquaGeoSphere, 2019)



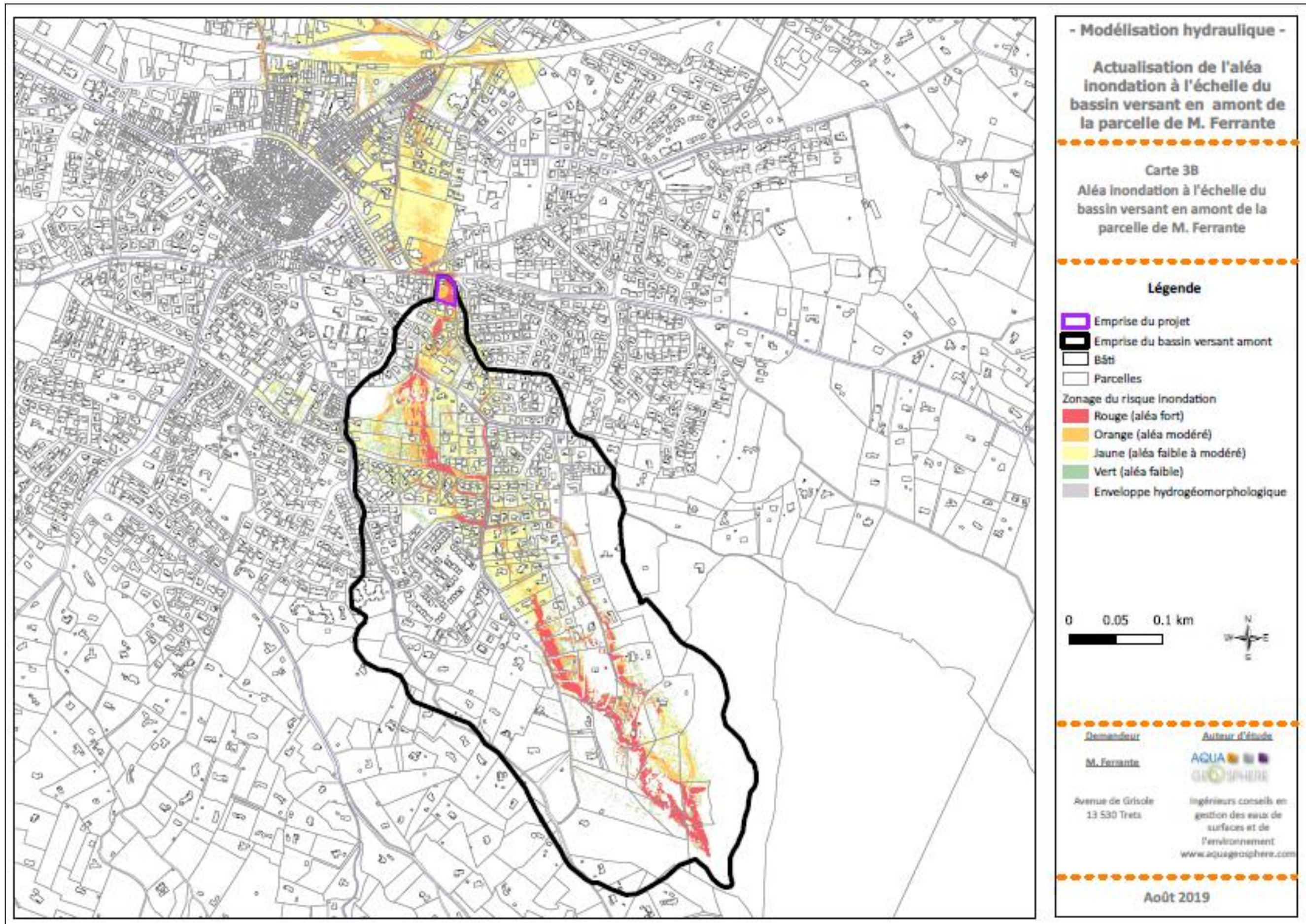
Annexe 7 : Carte des vitesses d'écoulement maximales modélisées pour une crue centennale au droit de la parcelle de M. Ferrante (Source : AquaGeoSphere, 2019)



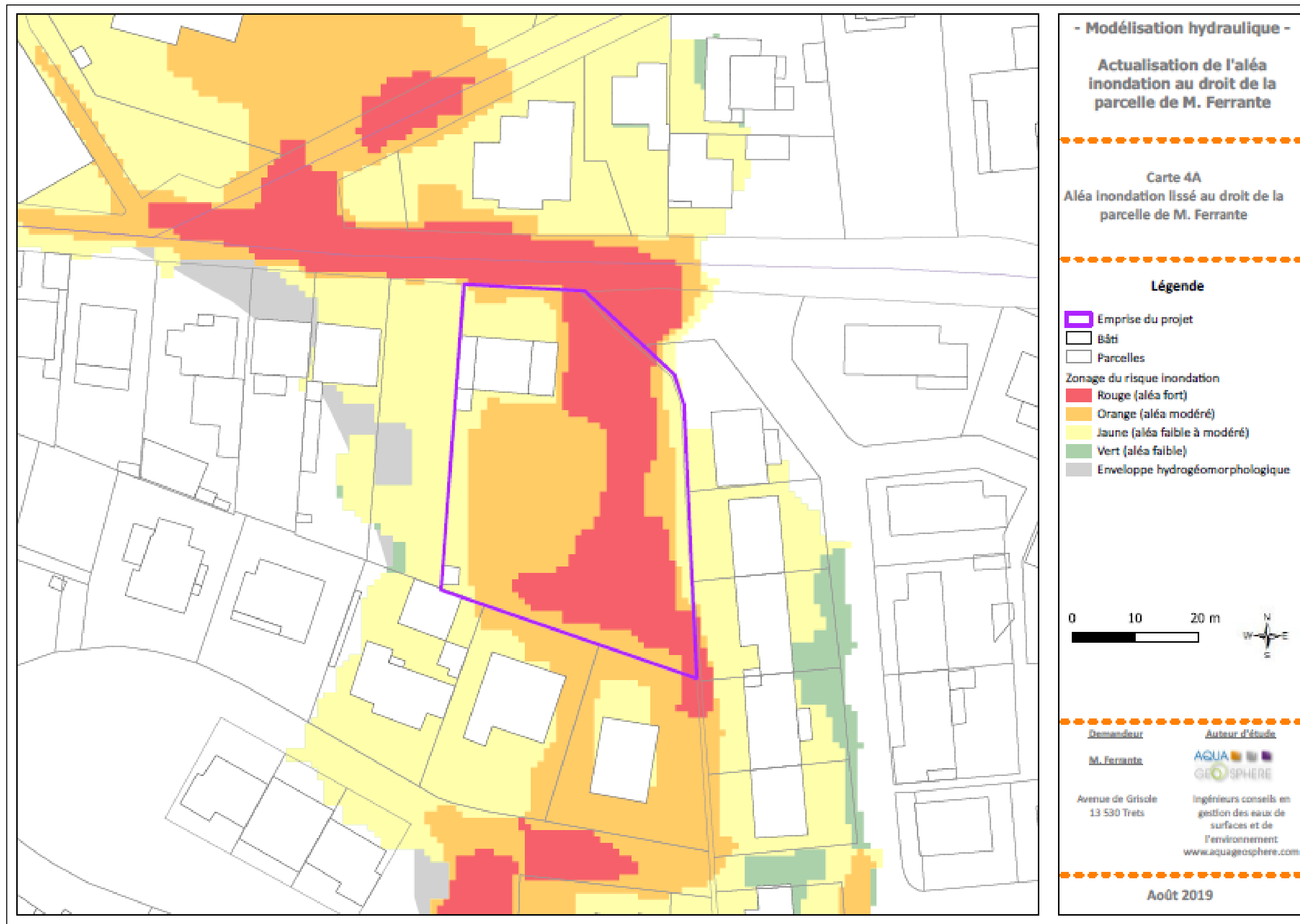
Annexe 8 : Carte des vitesses d'écoulement maximales modélisées pour une crue centennale à l'échelle du bassin versant en amont de la parcelle de M. Ferrante (Source : AquaGeoSphere, 2019)



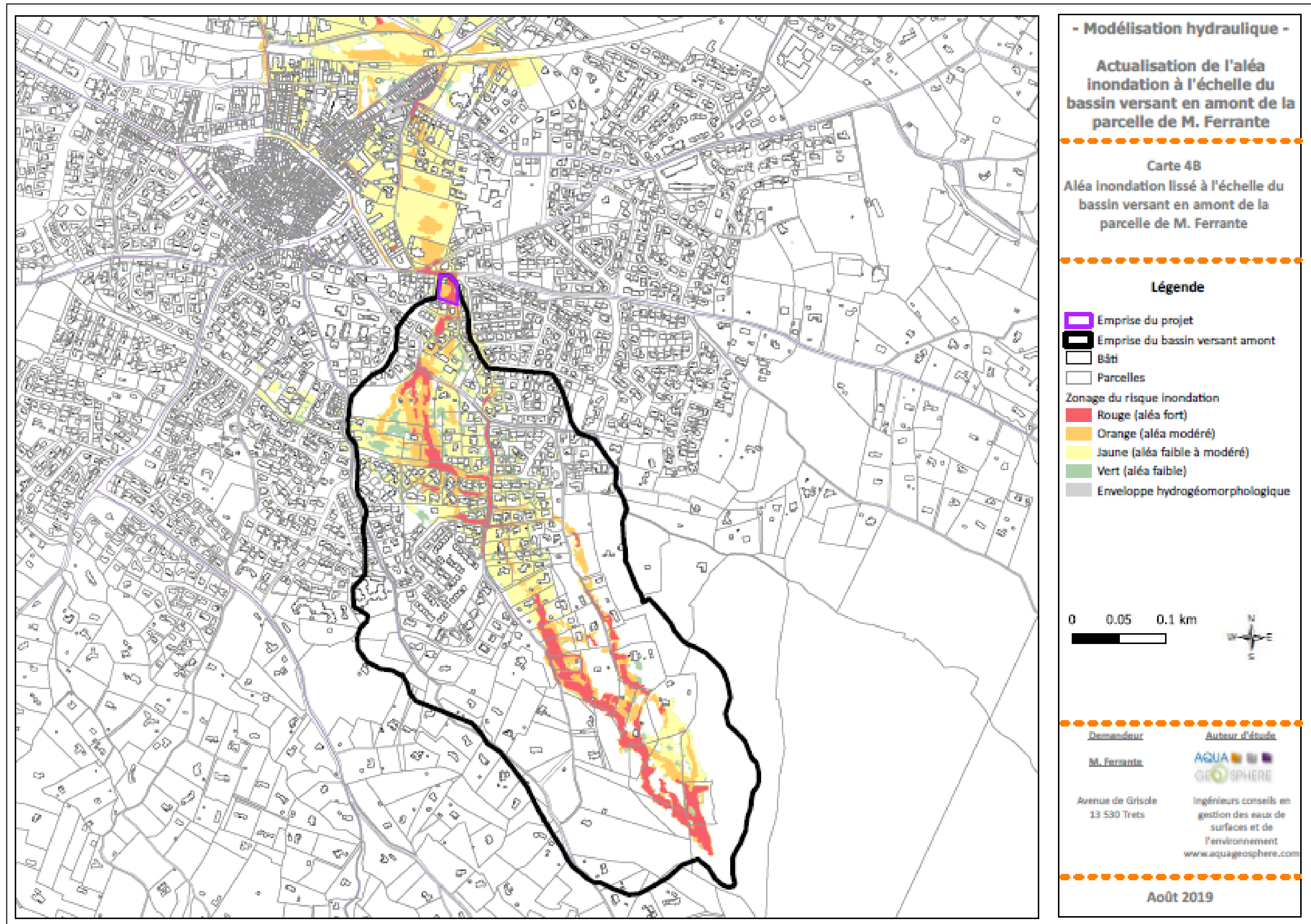
Annexe 9 : Carte d'aléa inondation brute au droit de la parcelle de M. Ferrante (Source : AquaGeoSphere, 2019)



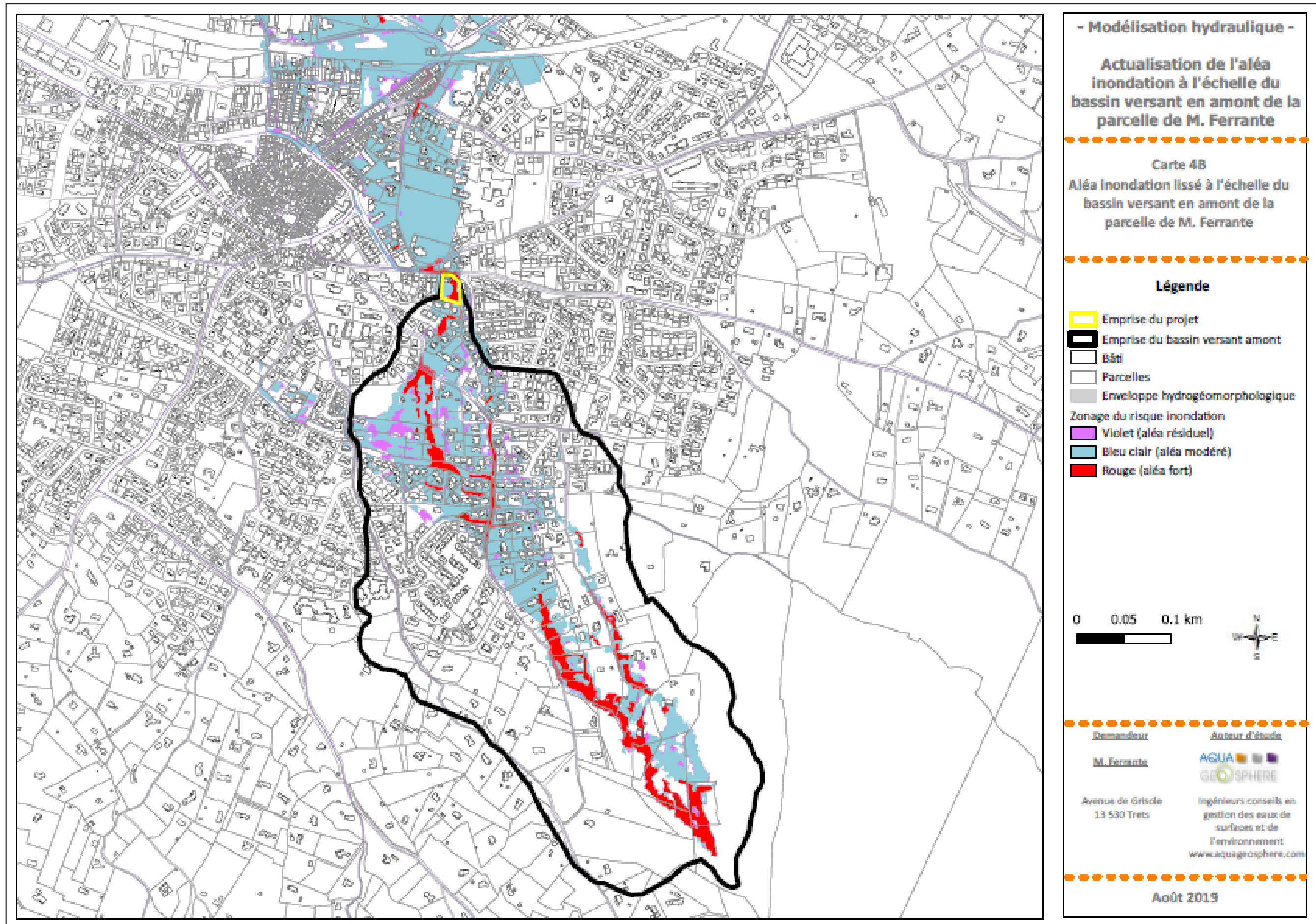
Annexe 10 : Carte d'aléa inondation brute à l'échelle du bassin versant en amont de la parcelle de M. Ferrante (Source : AquaGeoSphere, 2019)



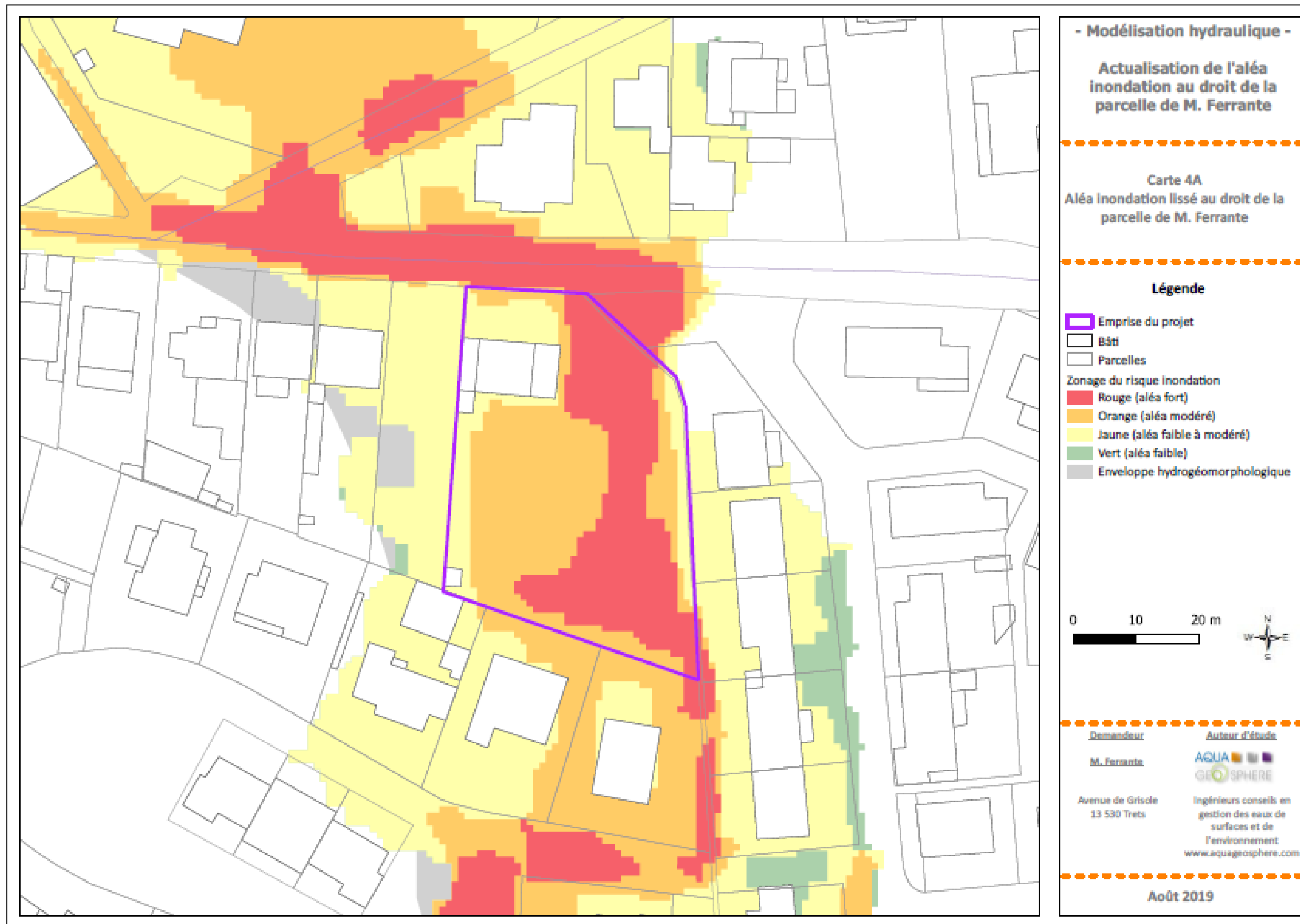
Annexe 11 : Carte d'aléa inondation lissée au droit de la parcelle de M. Ferrante (Source : AquaGeoSphere, 2019)



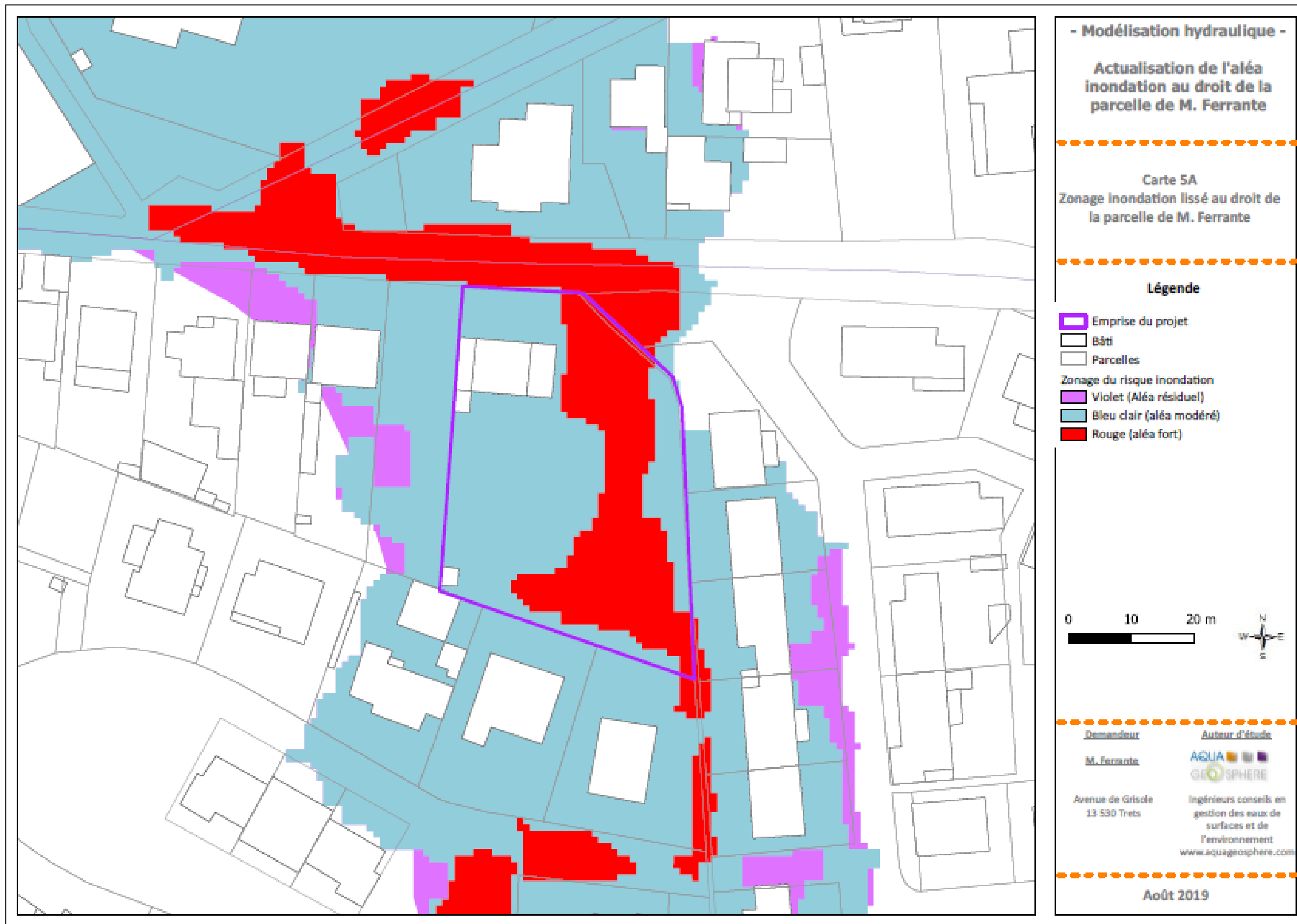
Annexe 12 : Carte d'aléa inondation lissée à l'échelle du bassin versant en amont de la parcelle de M. Ferrante (Source : AquaGeoSphere, 2019)



Annexe 13 : Carte du risque inondation brute à l'échelle du bassin versant en amont de la parcelle de M. Ferrante (Source : AquaGeoSphere, 2019)



Annexe 14 : Carte d'aléa inondation lissée et actualisée au droit de la parcelle de M. Ferrante (Source : AquaGeoSphere, 2019)



Annexe 15 : Carte du risque inondation lissée et actualisée au droit de la parcelle de M. Ferrante (Source : AquaGeoSphere, 2019)



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Diplôme : Diplôme d'Ingénieur de l'ENGEES

Spécialité : Exploitation/Travaux

Auteur : Falko LUZ

Année : 2019

Titre :

Définition de l'aléa inondation au travers d'une modélisation hydraulique 2D sur la commune de Trets (13)

Nombre de pages texte : 39 annexes : 28 total : 82

Nombre de références bibliographiques : 8

Structure d'accueil : AquaGeoSphere, Vauvenargues, Bouches-du-Rhône

Maître de stage : M. Pierre-Emile VAN LAERE

Résumé :

En 2017, la commune de Trets a approuvé une révision de son Plan Local d'Urbanisme et une redéfinition de la cartographie du risque inondation sur son territoire.

Afin d'étudier la demande d'aménagement du terrain de M. Ferrante en zone inondable, la mairie a demandé qu'une étude hydraulique y précise et quantifie le risque inondation.

Une modélisation hydraulique 2D réalisée par AquaGeoSphere à l'échelle du bassin versant amont au projet a permis de déterminer les hauteurs et vitesses d'écoulement maximales sur la parcelle, croisés ensuite pour définir l'aléa inondation. Seule la partie est est située en aléa fort et donc inconstructible.

Mots-clés :

Risque inondation, aléa inondation, modélisation, hydraulique fluviale, débit spécifique, analyse de sensibilité, croisement hauteurs-vitesses.