



LIAISON ENTRE LES RD 981 ET RD 982 SUR LA COMMUNE D'UZES

Département du Gard

ÉTUDE HYDRAULIQUE

Rapport phase A1 – V2



Liaison entre les RD 981 et RD 982 sur la commune d'Uzès

Étude hydraulique – Phase A1

Département du Gard

Version	Date	Rédaction	Vérification	Approbation	Commentaires
V1	05/2023	PLA			Établissement du document
V2	07/2023	PLA			Modification suite réunion DDTM

Table des matières

1. INTRODUCTION.....	5
1.1. Contexte	5
1.2. Phases d'études	5
1.3. Objectif de l'étude hydraulique	6
2. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE.....	7
2.1. Délimitation de la zone d'étude	7
2.1.1. Localisation territoire concerné.....	7
2.1.2. Localisation projet	7
2.2. Le risque inondation	10
2.2.1. Par débordement	10
2.2.2. Par ruissellement	12
3. CARACTERISATION DE L'ETAT ACTUEL	16
3.1. Principe retenu	16
3.2. La pluviométrie sur la zone d'étude	16
3.2.1. La pluviométrie de référence.....	16
3.2.2. Choix concernant la pluie de projet	17
3.3. La fonction de production	18
3.4. Le modèle 2D	20
3.4.1. Modélisation hydraulique – principes généraux	20
3.4.2. Présentation d'HEC-RAS.....	20
3.4.3. Le modèle hydraulique.....	22
3.4.4. Les coefficients de rugosité.....	24
3.4.5. Les conditions aux limites	26
3.5. Présentation des résultats.....	27
4. CARACTERISATION DE L'ETAT PROJET	34
4.1. Principe de l'aménagement	34
4.2. La topographie	37
4.3. Caractérisation des incidences.....	42
5. DEFINITION DES MESURES COMPENSATOIRES	49
5.1. Principe.....	49
5.2. Caractérisation des incidences.....	54
5.2.1. Cartographies des hauteurs d'eau et des incidences et en situation projet.....	54

5.2.2. Analyse	57
6. CONCLUSION	61

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Localisation Ville d'Uzès (Géoportail, 1 :400 000).....	7
Figure 2. Localisation projet liaison RD 981 et RD 982 (Géoportail, carte Scan 25)	8
Figure 3. Localisation projet liaison RD981 - RD982.....	9
Figure 4. Zoom cartographie ExZEco - département du Gard (Préfecture du Gard, QGIS)	13
Figure 5 : Pluies de projet	18
Figure 6 : Principe de la fonction de production	19
Figure 7 : Espace de travail HEC-RAS.....	21
Figure 8 : Extrait du MNT général, avec la localisation du projet en rose	22
Figure 9 : emprise du modèle hydraulique (rouge), avec les points d'injection sur le ruisseau de Font-Froide (flèches bleues) et les bassins-versants interceptés par le projet	23
Figure 10 : Extrait du maillage (zoom sur la partie nord du projet)	24
Figure 11. Base de données occupation du sol OCS GE (IGN, QGIS)	25
Figure 12: secteur Nord du projet	29
Figure 13 : axe d'écoulement principal venant du Nord-Est.....	30
Figure 14: axes d'écoulement secondaires sur la zone médiane - partie nord	31
Figure 15: axes d'écoulement secondaires sur la zone médiane - partie sud	32
Figure 16: axes d'écoulement secondaires sur la zone sud	33
Figure 17: Vue du bassin projeté au nord	50

LISTE DES TABLES

Tableau 1 : Valeurs de référence au niveau pluviométrique	20
---	----

1. INTRODUCTION

1.1. CONTEXTE

La présente étude concerne le projet de création de liaison, entre la route d'Alès – RD 981 – et la route d'Uzès – RD 982.

Ce projet porté par le Département du Gard a pour principal objectif de désengorger le centre-ville et de créer des modes de déplacements alternatifs, en portant une grande attention au respect de l'environnement.

Une voie de desserte spécifique sera créée à l'Ouest, afin de permettre l'accès aux terres agricoles du secteur. Il y aura également la création d'un itinéraire de mode de déplacement alternatif doux, à vocation de piste cyclable, côté est.

1.2. PHASES D'ETUDES

La présente note est intégrée à la mission « Études préalables environnementales et dossiers réglementaires » du projet de création de voie entre la RD 981 et la RD 982.

Cette mission est composée des phases suivantes :

- Études préalables environnementales (phases A1-A2-A3-B1) ;
- Dossier d'étude acoustique (phases C1, C2, C3, C4) ;
- Dossier d'étude paysagère (phases D1, D2) ;
- Étude archéologique préventive (phase E1) ;
- Évaluation environnementale des projets : étude d'impact (phases F1 – F2) ;
- Dossier procédure Eau (phases G1 – G2) ;
- Dossier de déclaration d'utilité publique (H1 – H2) ;
- Dossier d'enquête parcellaire (phases I1 – I2) ;
- Dossier de mise en comptabilité du document d'urbanisme (MECDU – phases J1 – J2) ;
- Dossier CNPN (phases K1 – K2) ;
- Dossier de demande d'autorisation de défrichement (phases L1 – L2) ;
- Concertation au titre du Code de l'Urbanisme (phases M1 – M2 – M3 – M4) ;
- Dossier d'incidences Natura 2000 (phases N1 – N2) ;
- Étude de compensation agricole (phases O1 – O2) ;
- Dossier de présentation à la commission des sites (P1) ;

Le présent rapport s'inscrit dans le cadre de la première étape « Études préalables environnementales », et constitue un complément hydraulique concernant la gestion du ruissellement sur la zone d'étude.

1.3. OBJECTIF DE L'ETUDE HYDRAULIQUE

L'étude hydraulique se déroulera en deux phases :

- Caractérisation du risque ruissellement en état actuel ; il s'agit ici de caractériser les écoulements et débits au droit du projet, afin de pouvoir intégrer au mieux ce dernier dans son environnement ; l'occurrence de référence est ici l'occurrence centennale.
- Prise en compte de l'état projet et définition des aménagements hydrauliques afférents. Les principaux aménagements hydrauliques de transparence seront présentés et les impacts et incidences seront caractérisés sur le milieu récepteur ; le cas échéant, des mesures compensatoires pourront être dimensionnées afin de satisfaire au principe de non-aggravation de la situation actuelle sur les zones à enjeux.

2. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

2.1. DELIMITATION DE LA ZONE D'ETUDE

2.1.1. Localisation territoire concerné

Le projet de création de liaison entre la RD 981 et la RD 982 se situe dans son intégralité sur la ville d'Uzès, dans le département du Gard (30).



Figure 1. Localisation Ville d'Uzès (Géoportail, 1 :400 000)

Uzès est une commune qui est localisée dans le centre-est du département du Gard, au sud-est d'Alès (28 km à vol d'oiseau), au nord de Nîmes (19 km) et au nord-ouest d'Avignon (32 km).

Elle est limitrophe des sept communes suivantes : Arpaillargues-et-Aureillac, Blauzac, Montaren-et-Saint-Médiers, Saint-Maximin, Saint-Quentin-la-Poterie, Saint-Siffret et Sanilhac-Sagriès.

Elle fait partie de la Communauté de Communes Pays d'Uzès, regroupant 32 communes, avec une population totale de 28 213 habitants (INSEE).

2.1.2. Localisation projet

Le projet est plus précisément localisé à l'ouest du centre d'Uzès, au niveau des lieux-dits de la Flesque, du Mas des Tailles et Font-Froide (figure n°2).

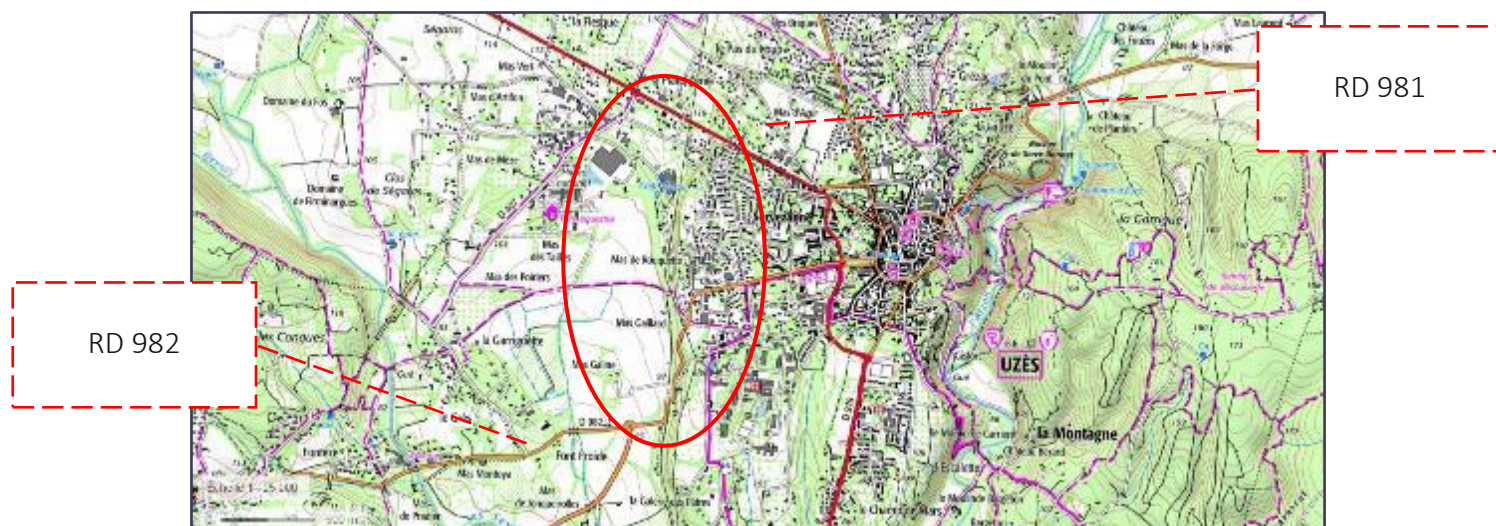


Figure 2. Localisation projet liaison RD 981 et RD 982 (Géoportail, carte Scan 25)

Le tronçon projeté (figure n°3) possède une longueur d'environ 1 900 mètres, et s'étend entre :

- La RD407 au nord (lieu-dit La Flesque), avec création d'un premier giratoire au niveau des lieux-dits Mas de Mèze et Mas des Tailles ;
- Traverse du nord au sud le lieu-dit du Mas des Tailles, avec la création d'un giratoire au droit des parcelles BH 356, BH 385 et BH 102 ;
- La RD 982 au sud, au droit des parcelles BE 147 et BE 149, pour rejoindre le giratoire présent, connectant la RD 982 avec la RD 22 (direction Sommières, La Calmette, Dions, Blauzac).

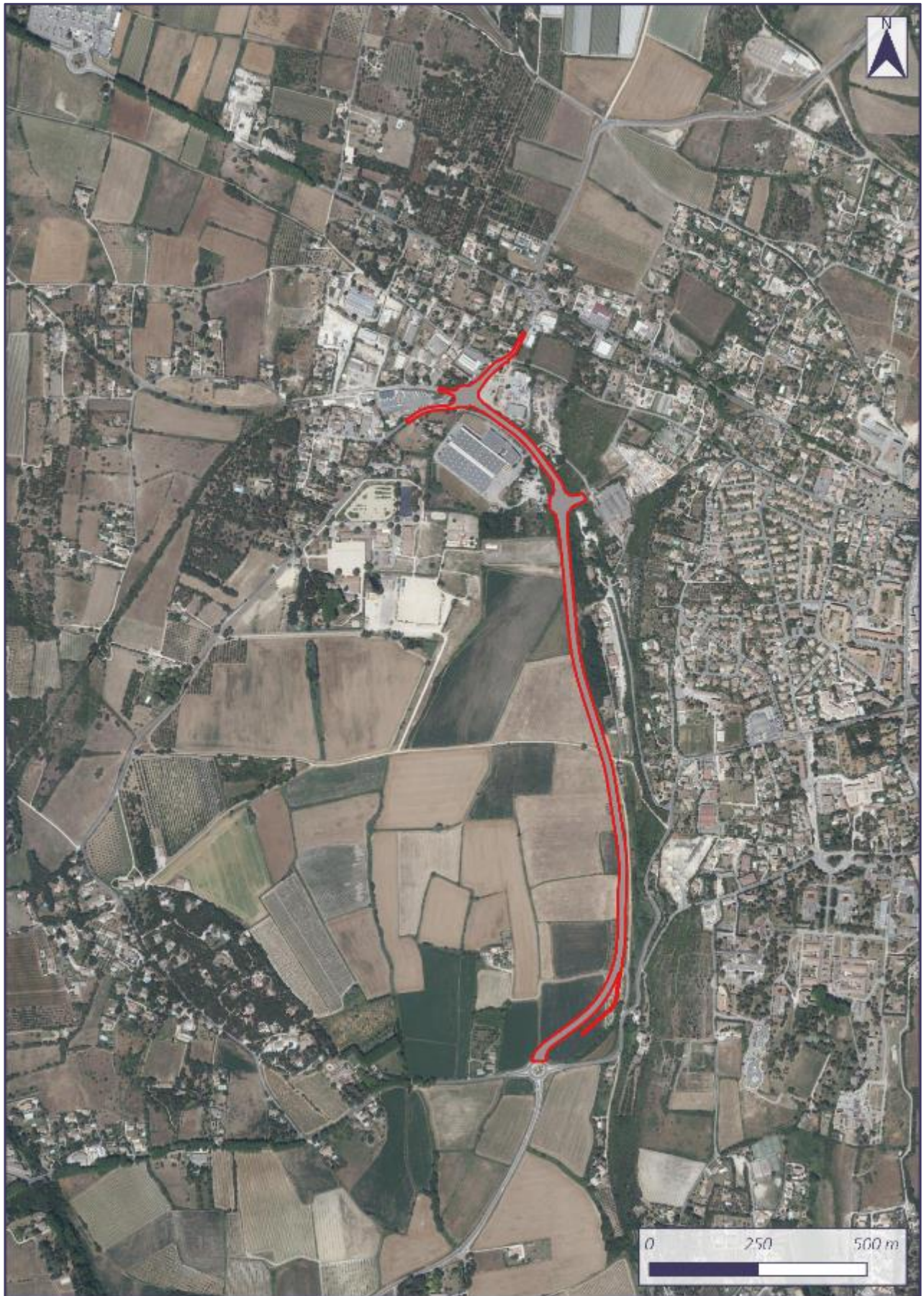


Figure 3. Localisation projet liaison RD981 - RD982

2.2. LE RISQUE INONDATION

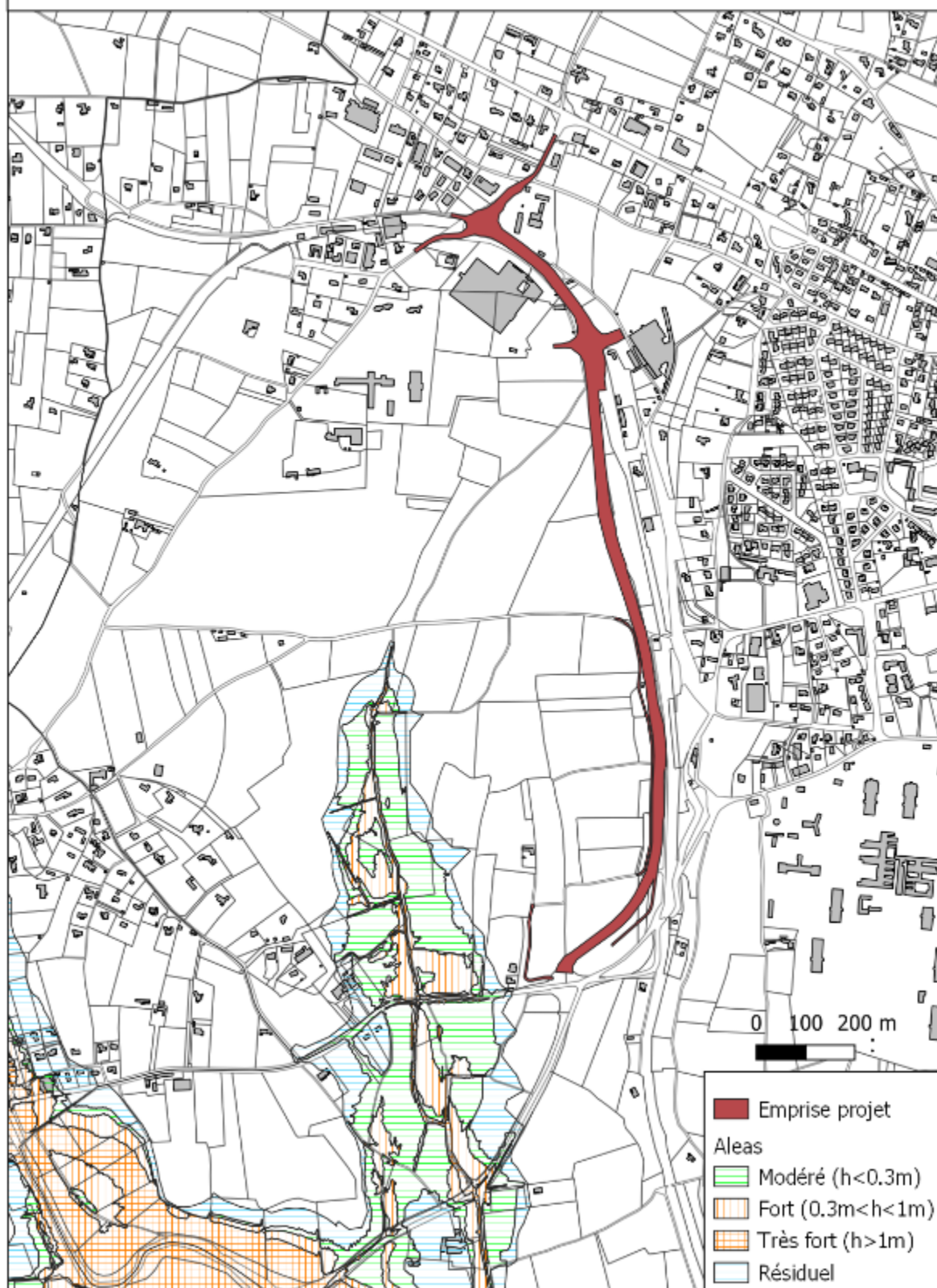
2.2.1. Par débordement

OTEIS réalise actuellement l'élaboration des PPRI communaux du bassin-versant Alzon-Seynes, qui ont fait l'objet de deux arrêtés préfectoraux : un de prescription en date du 16 septembre 2020 et un de prorogation de prescription en date du 6 juillet 2023. Si les PPRI ne sont pas encore finalisés, les aléas sont disponibles dans leur dernière version sur l'ensemble du bassin.

Si le projet n'est pas directement concerné par le risque inondation, il se situe à proximité immédiate des zones inondables du ruisseau de Font Froide, qui constitue le milieu récepteur. Il conviendra donc d'être particulièrement attentif sur les incidences du projet sur ce dernier.

La cartographie de l'aléa inondation est présentée en suivant.

Aléa inondation sur la zone d'étude (source : PPRi Alzon-Seynes)



2.2.2. Par ruissellement

2.2.2.1. EXZECO

Depuis 2011, le CEREMA (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement) travaille sur une approche du risque Inondation (par débordement et ruissellement).

L'outil ExZEco utilisé par le CEREMA est une méthode d'extraction des zones d'écoulement à partir de données topographiques (modèles numériques de terrain). Les résultats de la méthode ExZEco ne se substituent pas aux zones délimitées par les PPRI après 2002 et à celles délimitées par l'Atlas des Zones Inondables.

Dans le département du Gard, si une zone est identifiée comme potentiellement inondables par l'étude ExZEco (hormis emprises PPRI et AZI), alors celle-ci doit être considérée comme inondable par ruissellement.

L'approche ExZEco disponible à ce jour pour le département du Gard est celle établie lors de l'Évaluation Préliminaire des Risques d'Inondation (EPRI) de 2011. Les données utilisées sont le MNT de la BD TOPO de l'Institut National de l'information Géographique et forestière - IGN, avec une résolution de 25 m et en considérant une hauteur de remplissage de 1 m, et une superficie minimale de bassin versant de 1 km².



Figure 4. Zoom cartographie ExZEco - département du Gard (Préfecture du Gard, QGIS)

Selon la cartographie ExZEco et le Porter à Connaissance, la zone du projet de liaison est concernée par un aléa ruissellement indifférencié, seulement sur la partie nord du projet.

2.2.2.2. Le PPRI

Dans le cadre du PPRI Alzon-Seynes, le ruissellement a été caractérisé par modélisation hydraulique à large échelle sur le bassin versant.

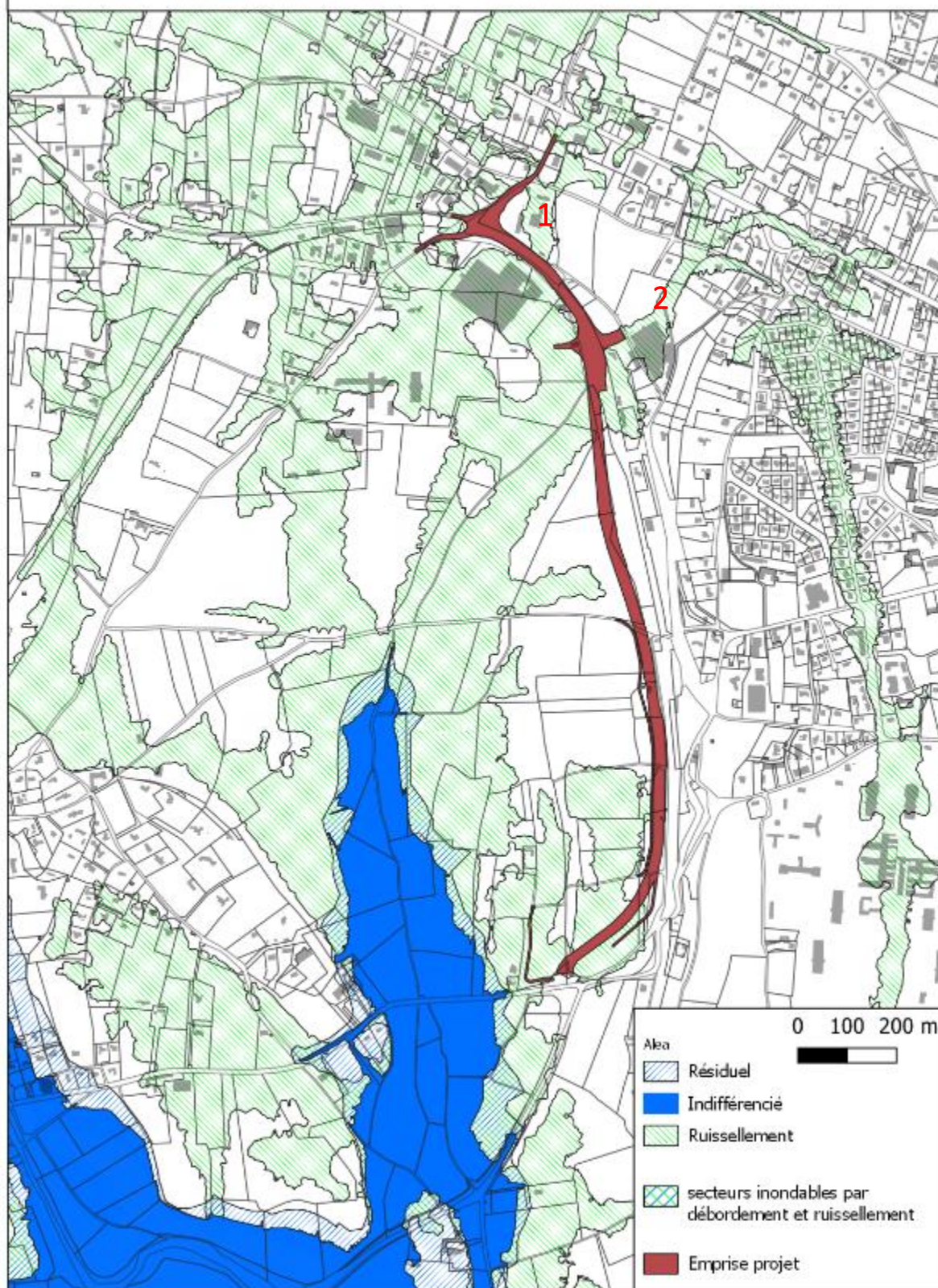
Le principe général est le suivant :

- Identification des axes d'écoulement drainant une superficie supérieure à 1 ha
- Création d'un maillage régulier de la zone d'étude, affiné sur tous les axes de ruissellement identifiés précédemment,
- Utilisation du LIDAR exploité dans le cadre de l'étude, rééchantillonné et lissé, de telle manière à assurer la continuité cartographique des écoulements,
- Modélisation pour une occurrence centennale (pluie monofréquentielle d'une durée de 24h, identique à celle utilisée pour l'analyse hydrologique du PPRI) sur l'ensemble du bassin
- Léger lissage de l'emprise des zones inondables obtenue par modélisation, et suppression des taches isolées ne faisant pas partie d'un axe d'écoulement.

La cartographie résultante est présentée ci-après. Elle confirme que le projet est concerné par la problématique ruissellement, avec deux axes principaux au nord (1 et 2 sur la carte ci-après), et des axes secondaires au sud.

On rappellera cependant que le risque ruissellement caractérisé précédemment a été défini à large échelle. Dans le cadre de notre étude, et afin d'affiner au mieux l'intégration du projet dans son environnement, il sera nécessaire de réaliser une étude plus détaillée, afin de prendre en compte notamment le ruissellement provenant des BV dont la superficie est inférieure à 1 ha. L'analyse qui sera effectuée dans le cadre du projet sera donc logiquement plus fine que celle réalisée à l'échelle du bassin-versant Alzon-Seynes.

Aléa ruissellement sur la zone d'étude (source : PPRi Alzon-Seynes)



3. CARACTERISATION DE L'ETAT ACTUEL

3.1. PRINCIPE RETENU

Compte tenu de la problématique rencontrée ici, essentiellement liée au ruissellement, il s'agira de mettre en place un outil suffisamment précis permettant de caractériser finement les écoulements, tout en gardant un temps de calcul raisonnable.

Afin de prendre en compte la multiplicité des fonctionnements des petits bassins concernés ici, et les phénomènes hydrauliques afférents (laminage lié à l'expansion importante, échanges inter-bassin, dissociation des écoulements lit mineur-champ majeur,...), nous avons choisi une approche de type déterministe basée sur une modélisation hydraulique 2D des écoulements sur l'ensemble des entités hydrographiques interceptées par le projet, et ce, pour la crue de référence.

Le principe de ce modèle consistera à injecter une pluie de projet nette sur un domaine 2D :

- La pluie nette est obtenue en appliquant une fonction de production sur une pluie brute, dont les caractéristiques sont définies sur la base des données de référence sur la zone.
- Cette pluie est injectée directement sur un domaine 2D, qui sert donc ici de fonction de transfert. Ce modèle permettra d'avoir les débits et caractéristiques des écoulements (hauteurs/vitesses) en tout point de la zone d'étude.

3.2. LA PLUVIOMETRIE SUR LA ZONE D'ETUDE

3.2.1. La pluviométrie de référence

Les données de Nîmes-Courbessac, station de référence dans le Gard et représentative du secteur d'étude, serviront de base pour la caractérisation du fonctionnement hydraulique sur la zone. Ces données, obtenues sur la base des résultats de la méthode du renouvellement, sont explicitées ci-après pour la période 1964-2014.

Pluviométrie de référence : Nîmes-Courbessac													
Intensité (mm/h) et Hauteur (mm) des précipitations		Période de retour (année)											
		2		5		10		20		50		100	
		mm/h	mm	mm/h	mm	mm/h	mm	mm/h	mm	mm/h	mm	mm/h	mm
durée (heures)	0.25	69.7	17	95.7	24	113.1	28	129.0	32	149.6	37	165.5	41
	0.5	51.9	26	72.8	36	86.7	43	99.7	50	113.1	57	128.1	64
	1	36.7	37	53.8	54	67.4	67	77.0	77	85.5	85	99.2	99
	2	21.7	43	31.7	63	40.4	81	52.4	105	64.6	129	76.8	154
	4	12.8	51	18.7	75	24.3	97	31.2	125	48.8	195	59.4	238
	6	9.4	56	13.7	82	18.0	108	23.0	138	35.3	212	45.4	272
	12	5.5	66	8.1	97	10.8	130	13.7	164	19.1	229	24.1	289
	24	3.3	78	4.7	114	6.5	155	8.1	195	10.3	248	12.8	307

3.2.2. Choix concernant la pluie de projet

L'analyse des pluies historiques disponibles montre que globalement, les épisodes majeurs sur l'arc méditerranéen, notamment dans la région Languedoc-Roussillon, peuvent être caractérisés par :

- une durée pendant laquelle la quasi-intégralité des précipitations s'observent de l'ordre de 24 heures ;
- des cumuls importants, mais également des intensités très fortes ;
- une certaine homogénéité des périodes de retour pour les différentes durée de pluie ; le corollaire est que généralement, ces épisodes pluvieux font réagir aussi bien les petits bassins-versants, aux temps de réaction potentiellement très courts, que les entités hydrographiques drainant des superficies beaucoup plus importantes.

Sur la base des observations précédentes, le choix concernant la pluie de projet s'est logiquement porté sur une pluie de type Keifer de durée 24 h, et d'intensité mono-fréquentielle quelle que soit la durée considérée, c'est-à-dire que la période de retour des précipitations sera la même pour toutes les durées de pluie. On se rapproche ainsi de ce qui est observé pour les épisodes majeurs méditerranéens.

A noter qu'il s'agit d'une hypothèse classiquement adoptée dans la région. L'avantage de ce type de pluie est donc de pouvoir faire réagir tout le bassin étudié de façon uniforme sur le plan fréquentiel : quelle que soit la zone considérée et sa superficie, le débit sera homogène en termes d'occurrence à l'échelle du bassin versant.

Les pluies de projet, présentées ci-après, ont été générées pour 2, 5, 10, 20, 50 et 100 ans sur la base des données pluviométriques de la station de référence. Dans le cadre de notre étude, on retiendra celle pour l'occurrence centennale.

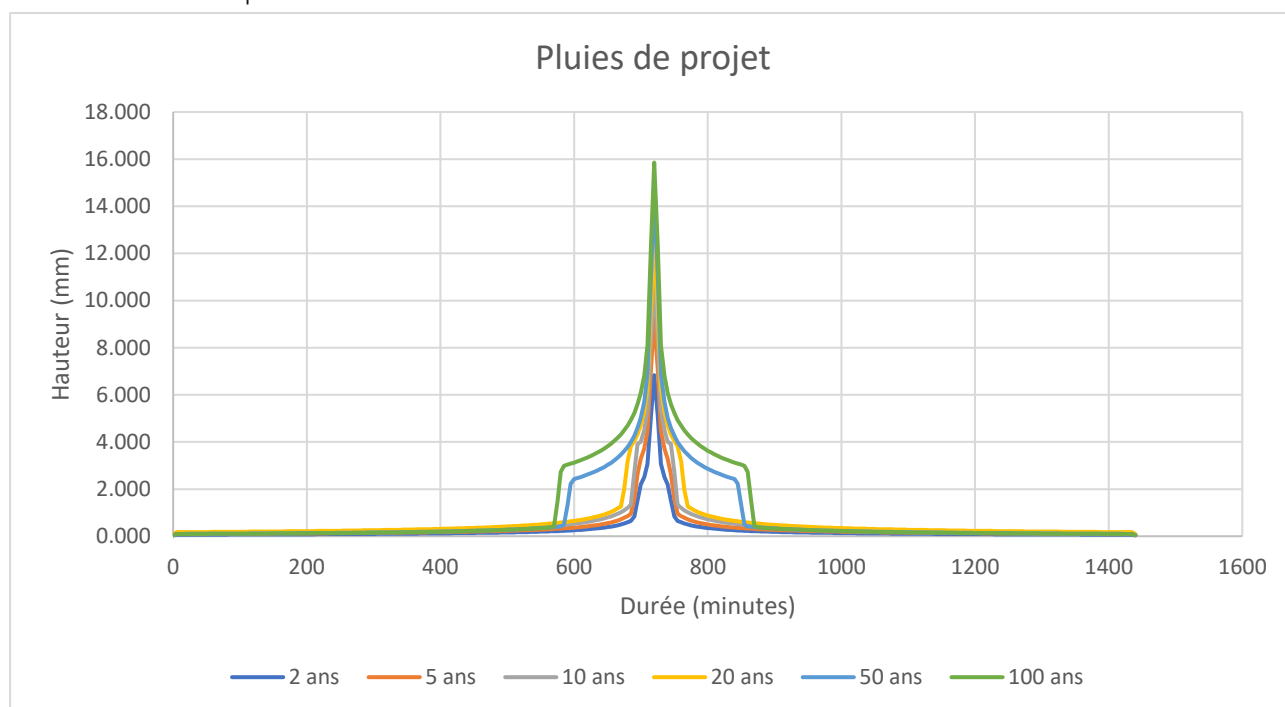


Figure 5 : Pluies de projet

3.3. LA FONCTION DE PRODUCTION

Dans le cadre d'un épisode cévenol classique, la crue est essentiellement générée par un processus à réponse rapide (ruissellements superficiels et écoulements souterrains sur de très courtes distances). Il est alors possible d'utiliser un modèle hydrologique simple afin de représenter les phénomènes de ruissellement et de caractériser les hydrogrammes et débits de crue associés.

Le modèle choisi ici est du type SCS, classiquement utilisé pour sa robustesse, sa simplicité d'utilisation et sa fiabilité pour les études hydrologiques. La fonction de production est un modèle non linéaire de transformation pluie-débit ne comportant ici qu'un seul paramètre de ruissellement : le « curve number » ou CN, adimensionnel, et variant de 0 à 100 suivant notamment la nature du sol et la pluviométrie. Il est utilisé ici pour représenter l'évolution du coefficient d'écoulement à l'échelle d'un bassin versant, au cours d'un événement pluvieux.

Cette fonction est un modèle de production très souple, capable de s'adapter à différents types de processus de formations de crues. Elle relie le cumul de la pluie efficace P_e au cumul de la pluie brute P_b , par l'équation suivante (*formule b*) :

$$P_e = \frac{(P_b - I_a)^2}{(P_b - I_a) + S}$$

où I_a désigne les pertes intervenant en début d'événement (classiquement prises égales à $0.2 S$) et S , la capacité de rétention en eau du sol (l'infiltration cumulée), reliée au CN par la relation suivante (*formule a*) :

$$S_{mm} = \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) * 25.4$$

Le modèle exprime donc l'évolution du coefficient de ruissellement, de 0 lorsque le cumul de pluie brute est inférieur à I_a à 1 lorsque le cumul de pluie brute tend vers l'infini. Le principe de la fonction de production SCS est explicité ci-après (source : Chapitre 10 – Estimation of Direct Runoff from Storm Rainfall, USDA-NRCS National Engineering Handbook, Partie 630 – Hydrology).

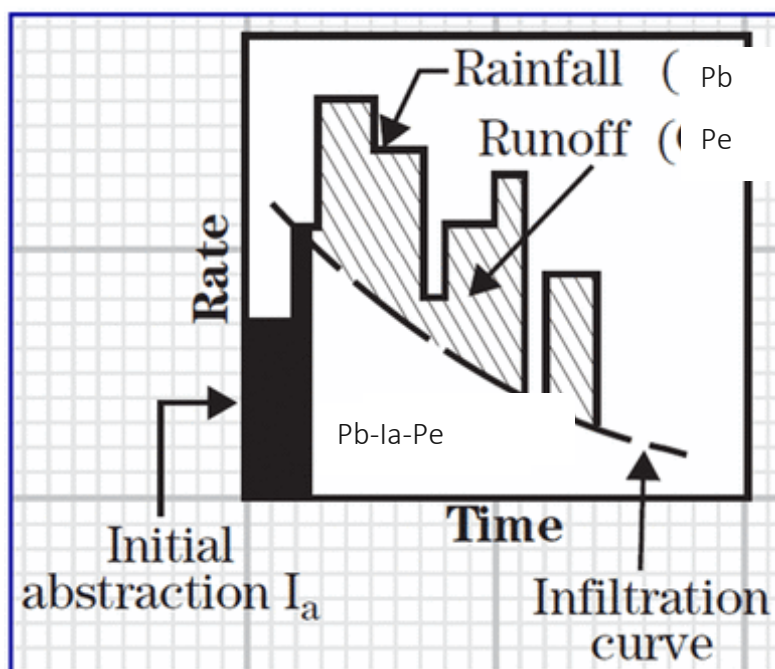


Figure 6 : Principe de la fonction de production

Concernant le calage de la fonction de production, plusieurs études menées dans le cadre du retour d'expérience concernant l'épisode de septembre 2002 dans le Gard (CEREVE – 2003, « Validation des relevés hydrométriques de l'évènement des 8 et 9 septembre 2002 », OTEIS (sous le nom de SIEE) et ARTELIA – 2003) ont montré que le déficit d'écoulement en fin d'évènement était généralement compris entre 100 et 150 mm, quel que soit le type de bassin considéré.

L'analyse des données disponibles confirment que :

- La crue a bien été essentiellement générée par un processus à réponse rapide (ruissellements superficiels et écoulements souterrains sur de très courtes distances), ce qui conforte le choix concernant la fonction de production ;
- La relation est quasi-linéaire entre le volume précipité et le volume ruisselé, traduisant une fonction de production relativement homogène à l'échelle des bassins étudiés ;
- Le meilleur ajustement entre les observations et la méthode SCS s'observe pour un CN de l'ordre de 64.

Même si ces conclusions découlent uniquement de l'étude des stations du SPC GD, la multiplicité des bassins concernés et de leurs caractéristiques (surface drainée, géologie, lame d'eau précipitée, ...) autorisent une transposition à notre zone d'étude, très largement touchée par l'épisode.

Aussi, pour la suite de l'analyse, on retiendra pour la fonction de production un CN de 64 sur notre zone d'étude, représentatif de conditions dites « moyennes ».

Pour les différentes occurrences, et sur la base de la formule b de la méthode SCS, les volumes précipités et écoulés sont présentés ci-après pour une durée de 24 h.

T	Cumul pluie(mm)	Volume écoulé (mm)	Déficit (mm)
2 ans	78	13	66
5 ans	114	32	82
10 ans	155	60	96
20 ans	195	90	106
50 ans	248	133	115
100 ans	307	184	123

Tableau 1 : Valeurs de référence au niveau pluviométrique

3.4. LE MODELE 2D

3.4.1. Modélisation hydraulique – principes généraux

La modélisation hydraulique d'un cours d'eau consiste en la représentation mathématique des écoulements de ce dernier. Il s'agit de résoudre numériquement par l'intermédiaire d'un module de calcul adapté, les équations complètes régissant les écoulements à surface libre (équations de Barré de Saint Venant), dont le principe est la conservation de la masse et de l'énergie.

Lorsque l'écoulement est supposé suffisamment rectiligne pour que chaque section soit sensiblement perpendiculaire à un axe dit axe de l'écoulement et soit définie par la connaissance de son abscisse, on parle alors d'écoulement unidimensionnel, ou 1D.

Les modèles bidimensionnels horizontaux (dits 2D) sont libérés de cette hypothèse d'écoulement axial. Ils permettent de simuler en plan les écoulements et de tenir compte finement des obstacles dans le lit majeur. Ces modèles sont particulièrement adaptés aux configurations complexes, par exemple lorsque les écoulements sont fortement divergents, en milieu urbain notamment.

Afin de rendre compte le plus fidèlement possible du fonctionnement des écoulements, pour lesquels des déconnexions champ majeur – lit mineur sont présentes, la modélisation a été réalisée ici entièrement en 2D.

3.4.2. Présentation d'HEC-RAS

Le logiciel utilisé pour la modélisation hydrologique de la fonction de transfert est HEC-RAS, de l'US Army Corps of Engineers (exemple d'espace de travail présenté ci-après).

C'est un code de calcul bidimensionnel, calculant les champs de vitesses et les niveaux d'eau sur un domaine quelconque. Il résout les équations de l'hydraulique à surface libre (de Barré de Saint-Venant) par la méthode des volumes finis, requérant au préalable une discrétisation spatiale du terrain naturel en mailles triangulaires ou quadrilatérales.

Cette discrétisation convient très bien aux systèmes complexes, car elle permet de coller précisément à la géométrie du terrain naturel et aux singularités.

La modélisation bidimensionnelle aux volumes finis est particulièrement bien adaptée aux écoulements fortement divergents ou présentant des changements de régime (ressaut par exemple).

Par rapport aux modélisations bidimensionnelles classiques (type éléments finis), l'approche proposée présente les avantages de la rapidité et de la robustesse. En effet, l'approche bidimensionnelle traditionnelle impose de représenter finement la totalité des détails topographiques (digues, obstacles aux écoulements, ...), ce qui conduit très rapidement à des modèles très lourds, tant au point de vue de la construction que des temps de calcul. L'exploitation de tels modèles est plus longue, donc plus coûteuse.

Par ailleurs, HEC-RAS rend compte de la nature du terrain et de l'occupation des sols par des paramètres globaux de rugosité : les obstacles aux écoulements sont donc simulés à l'échelle macroscopique et demande un niveau de détail moindre.

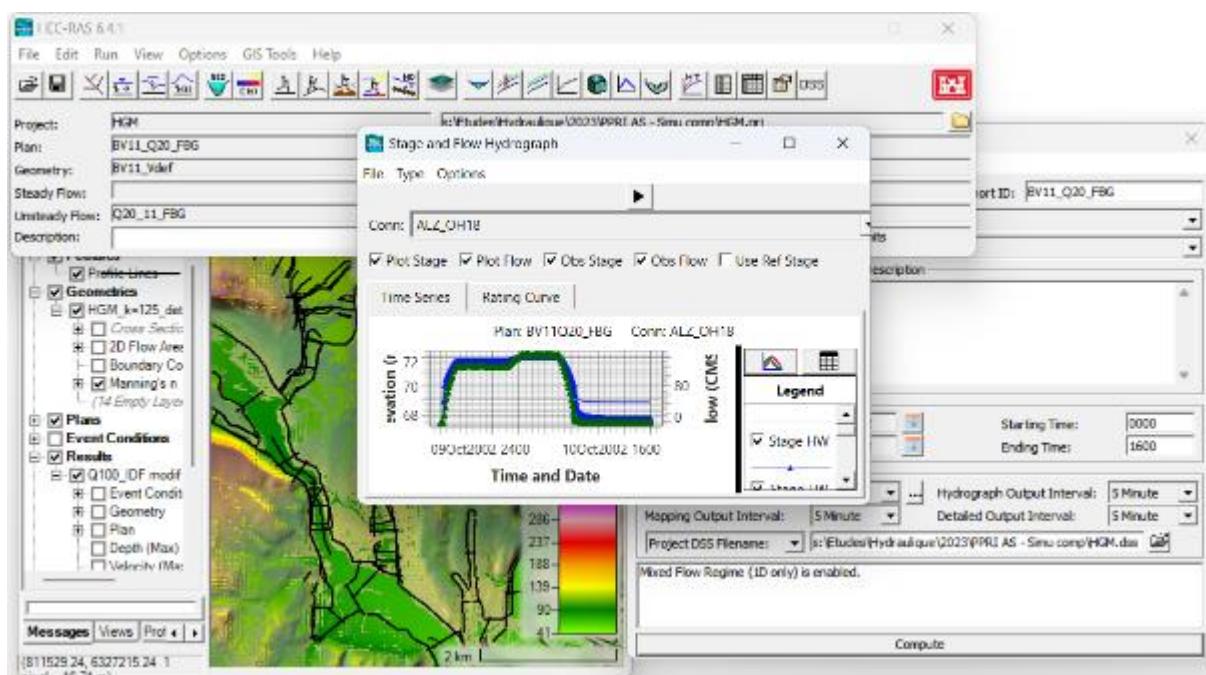


Figure 7 : Espace de travail HEC-RAS

3.4.3. Le modèle hydraulique

Le modèle s'appuie principalement sur les MNT disponibles sur la zone (LIDAR HD notamment) et les levés topographiques transmis par le Département sur la zone d'étude.

La taille des mailles en champ majeur varie de quelques m^2 à $1000 m^2$, avec une taille moyenne de l'ordre de $50 m^2$. La zone couverte présente une superficie de $2.4 km^2$, pour environ 50000 mailles.

Cette discrétisation permet de décrire correctement les principales singularités topographiques et les écoulements, tout en conservant un temps de calcul raisonnable pour ce type de modèle. Chaque maille est décrite par une loi hauteur/volume issue de l'exploitation du MNT.

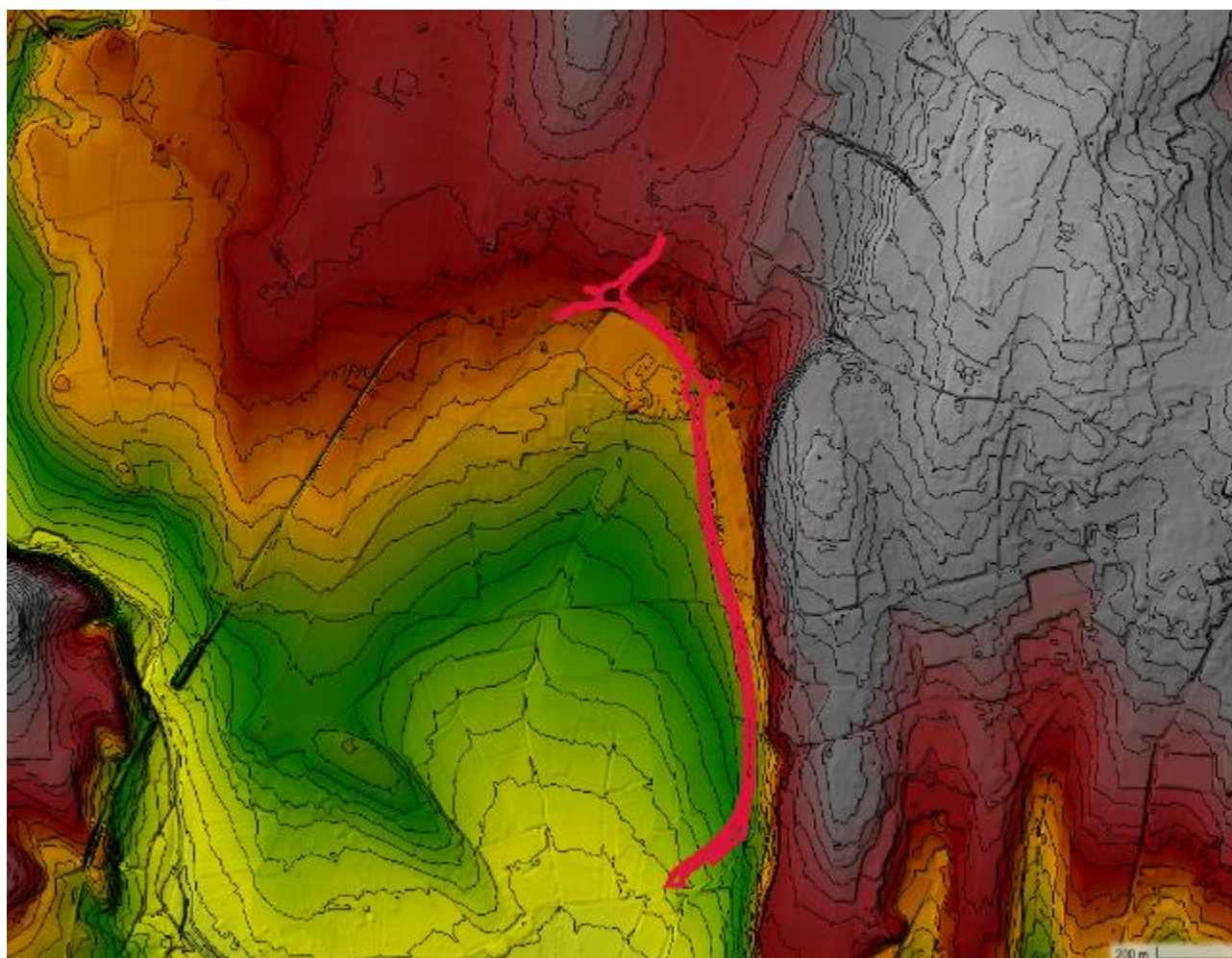


Figure 8 : Extrait du MNT général, avec la localisation du projet en rose

Comme le montre la figure suivante, l'emprise du modèle comprend la totalité des bassins versants topographiques intégralement interceptés par le projet de déviation, ainsi que le champ majeur du ruisseau de Font-Froide à l'aval. Les apports amont du bassin versant Nord, concerné uniquement à la marge par le projet (apport n°1), ainsi que les apports en rive droite du ruisseau de Font-Froide (2 et 3), sont issus des modélisations PPRI. Comme le montre

l'emprise de modélisation retenue, les écoulements secondaires observés au Nord du projet et issus de la frange Est du BV Nord, caractérisés dans la cartographie PPRI du ruissellement, sont directement modélisés.

L'ensemble du modèle est présenté ci-après, avec un zoom sur la partie amont pour illustrer les caractéristiques du maillage.

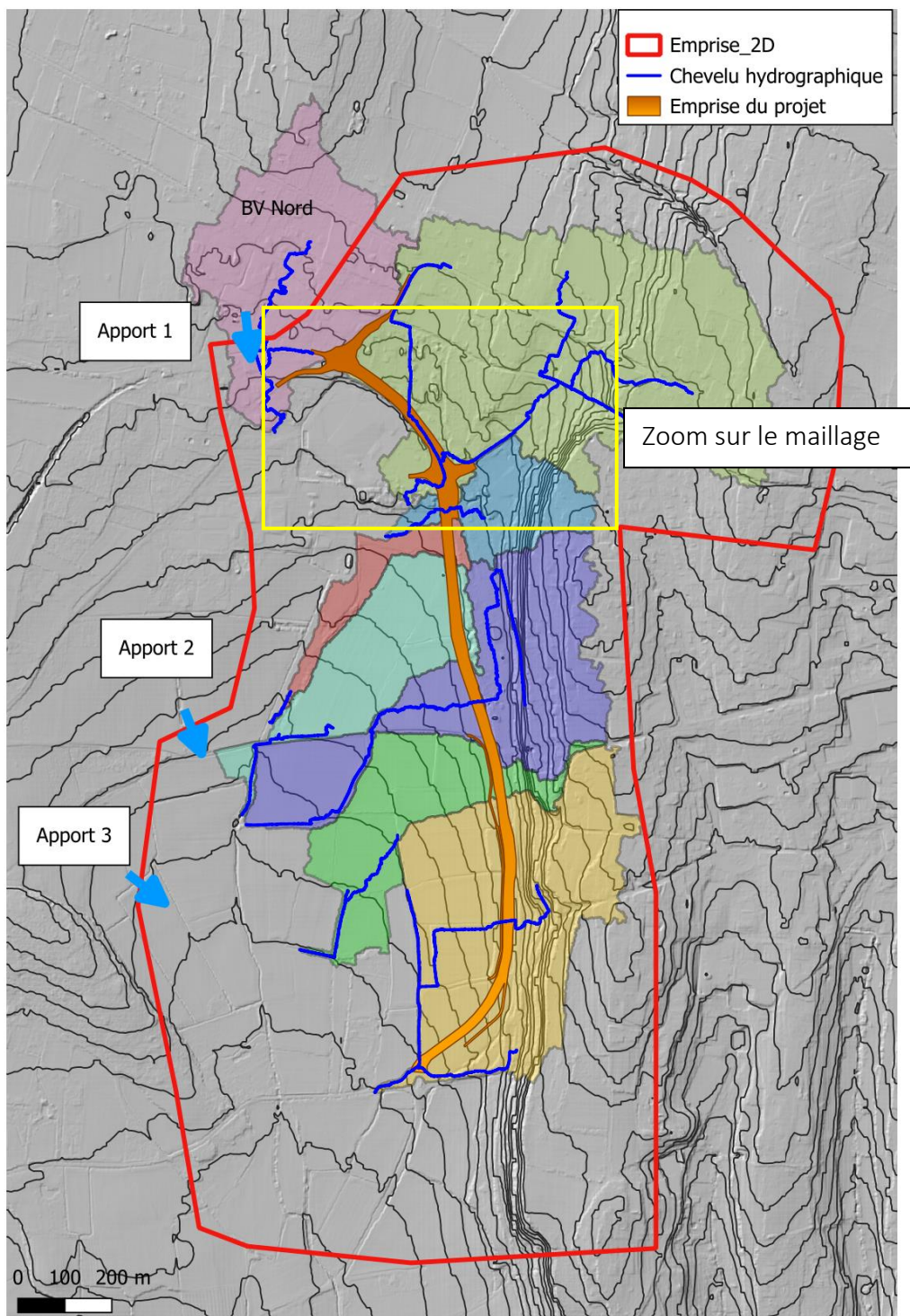


Figure 9 : emprise du modèle hydraulique (rouge), avec les points d'injection sur le ruisseau de Font-Froide (flèches bleues) et les bassins-versants interceptés par le projet

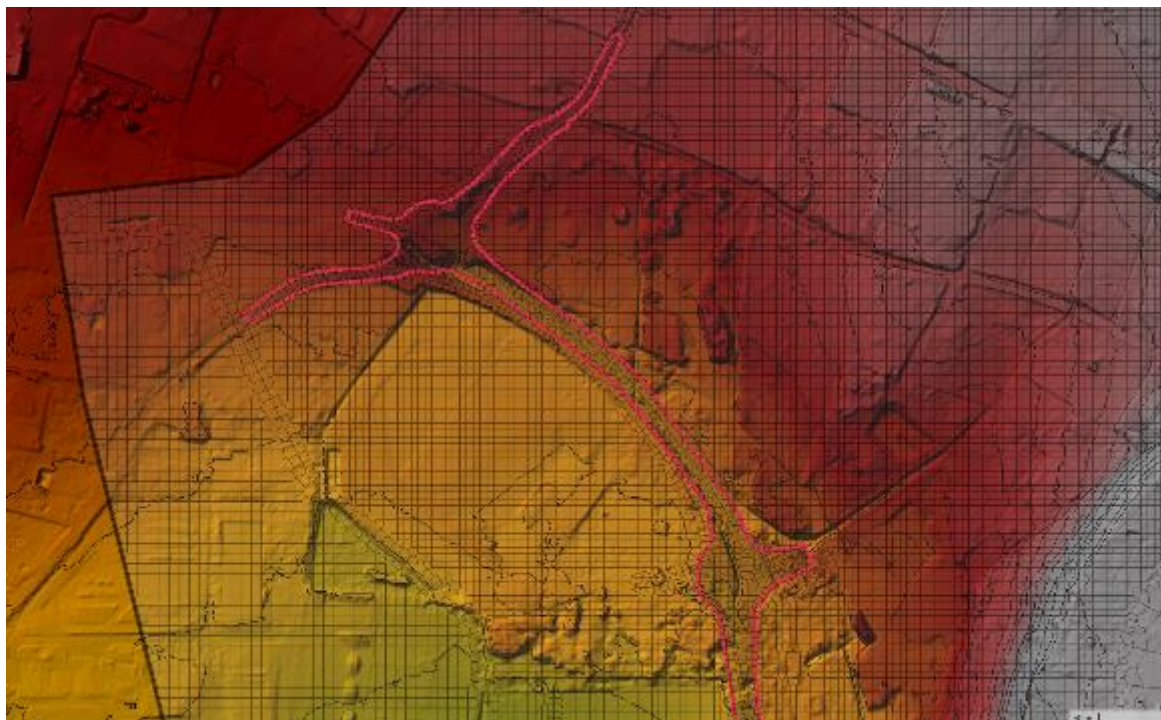


Figure 10 : Extrait du maillage (zoom sur la partie nord du projet)

3.4.4. Les coefficients de rugosité

Les coefficients de rugosité utilisés dans le cadre de la présente étude ont été caractérisés suivant la base d'occupation du sol à grande échelle (OCS GE), présentée ci-après. Les valeurs de Strickler retenues à l'échelle de la zone d'étude sont les suivantes :

- Lits mineurs : 15
- Zones boisées : 5 à 10
- Zones cultivées : 5 à 20
- Bâtiments : >1
- Routes, parking : 40

Il est utile de préciser que les valeurs utilisées au cours de l'étude ne sont pas issues d'une nomenclature particulière, mais émanent du retour d'expérience acquis par OTEIS sur les cours d'eau et bassins versants régionaux. En théorie, si l'évaluation des coefficients de rugosité ne dépend que du tirant d'eau et de la dimension caractéristique des matériaux constitutifs de la zone d'écoulement, on sait d'expérience que dans le cadre d'une modélisation, ces coefficients prennent en compte également les pertes de charges dues aux turbulences. Dans ces conditions, et en l'absence de données de calage, la quantification des coefficients de rugosité relève plus de l'expertise de terrain que de l'application d'une nomenclature donnée.

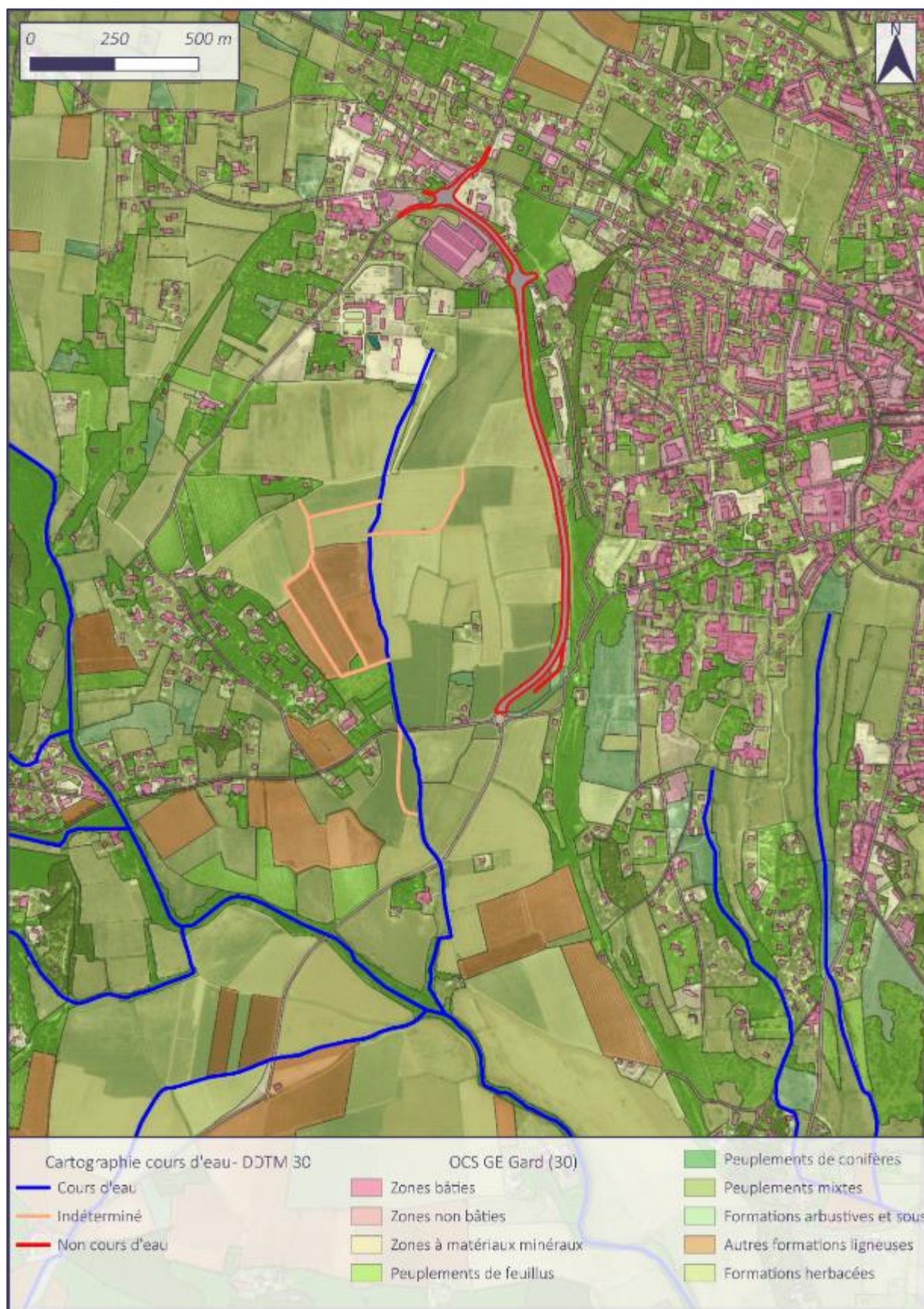
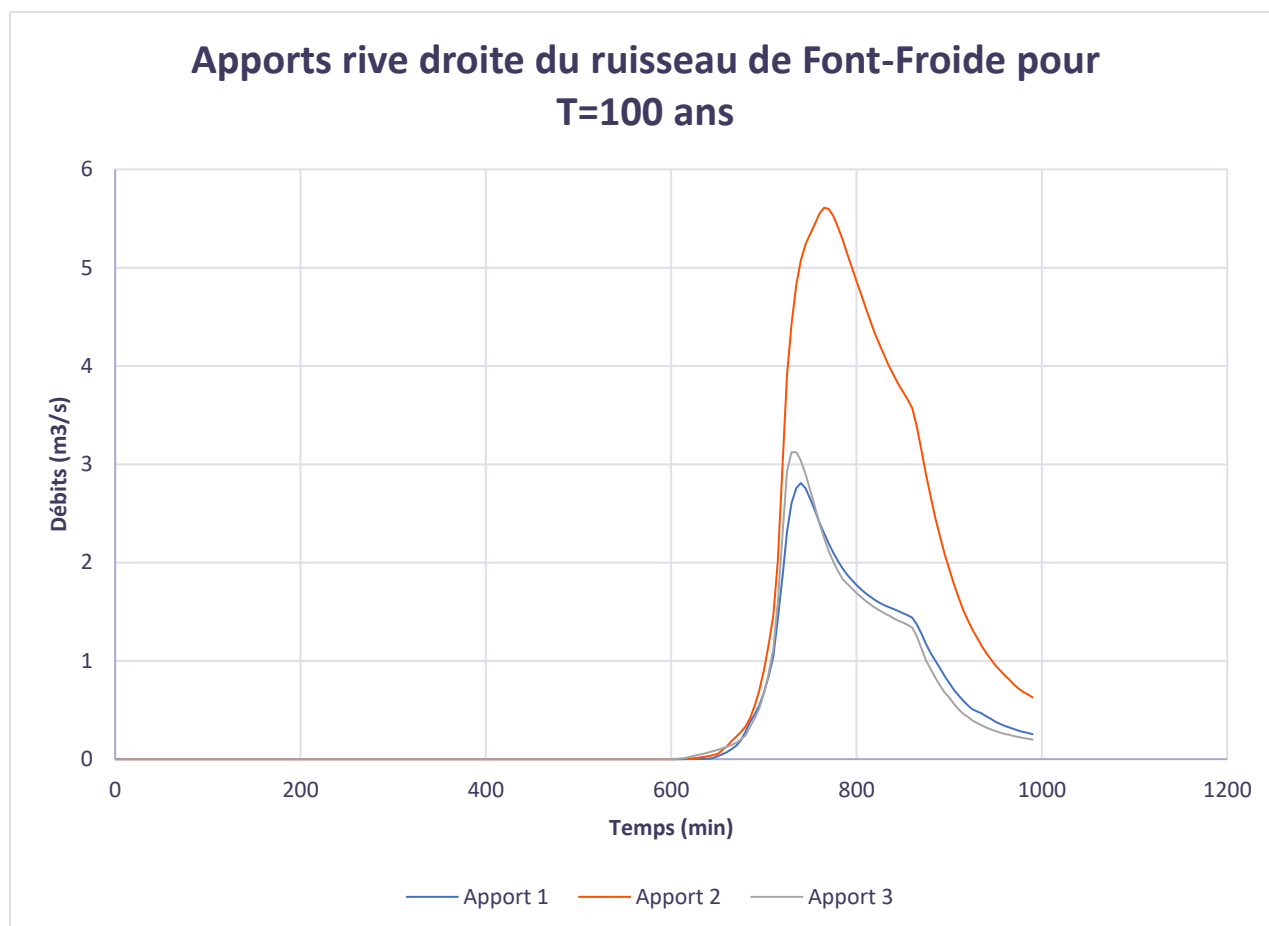


Figure 11. Base de données occupation du sol OCS GE (IGN, QGIS)

3.4.5. Les conditions aux limites

Pour l'évènement modélisé (Q100), les conditions limites amont sont de deux types :

- La pluie de projet nette, injectée directement sur l'emprise du modèle 2D
- Les hydrogrammes des trois apports principaux en rive droite du ruisseau de Font-Froide, et présentés ci-après.



Classiquement, les limites aval peuvent être de plusieurs types, dépendant notamment de l'appréciation du fonctionnement hydraulique aux confluences :

- hauteur issue d'une loi de tarage,
- hauteur normale,
- loi de seuil,
- données historiques,
- hauteur issue de la modélisation hydraulique pour les affluents (notion de contrôle aval des cours d'eau principaux sur les affluents), ...

Dans le cadre de la présente étude, la condition limite aval, qui évolue dans le temps suivant le débit, sera la hauteur normale (calculée par la formule de Manning-Strickler) sur le ruisseau de Font-Froide, estimée sur la base d'une pente de ligne d'énergie de 0.01 m/m.

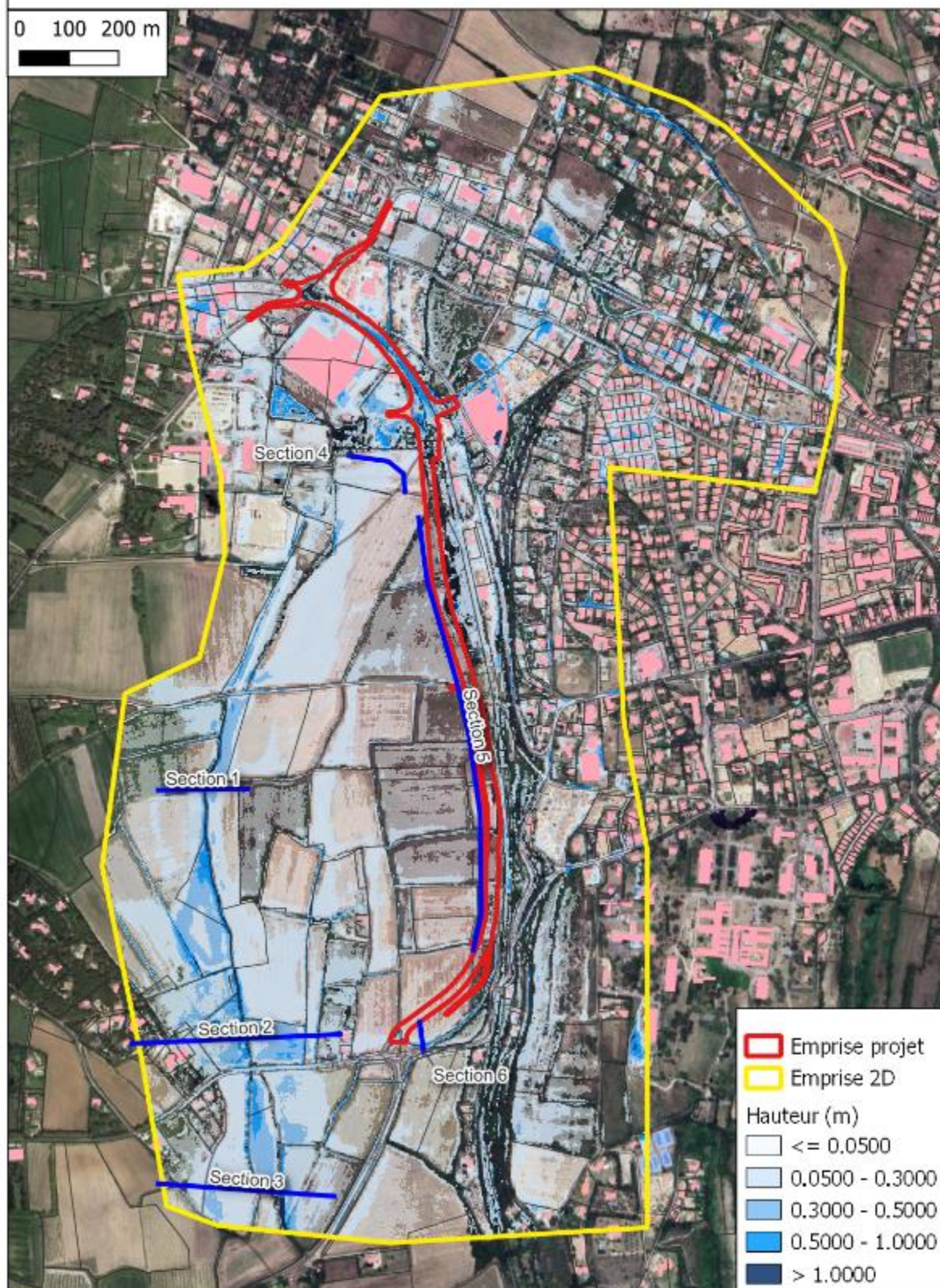
3.5. PRESENTATION DES RESULTATS

Les résultats sont présentés en suivant pour l'état actuel. La cartographie des hauteurs d'eau est présentée en suivant dans l'emprise de la zone modélisée. Y sont notamment localisées les sections de calculs principales utilisées pour l'analyse. Le bâti figure en rose.

Concernant le ruissellement pluvial, les hauteurs d'eau restent généralement inférieures à 0.3 m, excepté très ponctuellement, notamment au niveau des dépressions. Le fonctionnement hydraulique est détaillé par la suite sous forme de synoptiques simplifiés par zone.

Concernant le risque inondation, le débit du ruisseau de Font-Froide évolue entre 26 m³/s à l'amont (section 1), jusqu'à 42 m³/s à l'aval (section 3). Les hauteurs d'eau afférentes caractérisent un aléa principalement modéré (<0.3 m), même si des poches d'aléas forts sont observées ponctuellement : on retrouve bien les mêmes tendances caractérisées dans le PPRi.

Hauteurs d'eau sur la zone d'étude - état actuel



Les résultats confirment les cartographies existantes sur la zone, tout en permettant d'en affiner les résultats. Les principales tendances sont synthétisées ci-après :

- Sur la partie amont, les résultats de la modélisation confirment bien que le projet se situe sur le secteur en limite de bassin-versant (BV Nord identifié précédemment), la chaussée actuelle drainant vers le Sud-Ouest les écoulements provenant de la frange Est du BV Nord ; ces derniers sont pris en compte de façon plus détaillée que dans le cadre de la cartographie PPRI. A noter que sur cette zone, le projet est calé au niveau du TN, il ne modifiera donc pas le fonctionnement actuel.

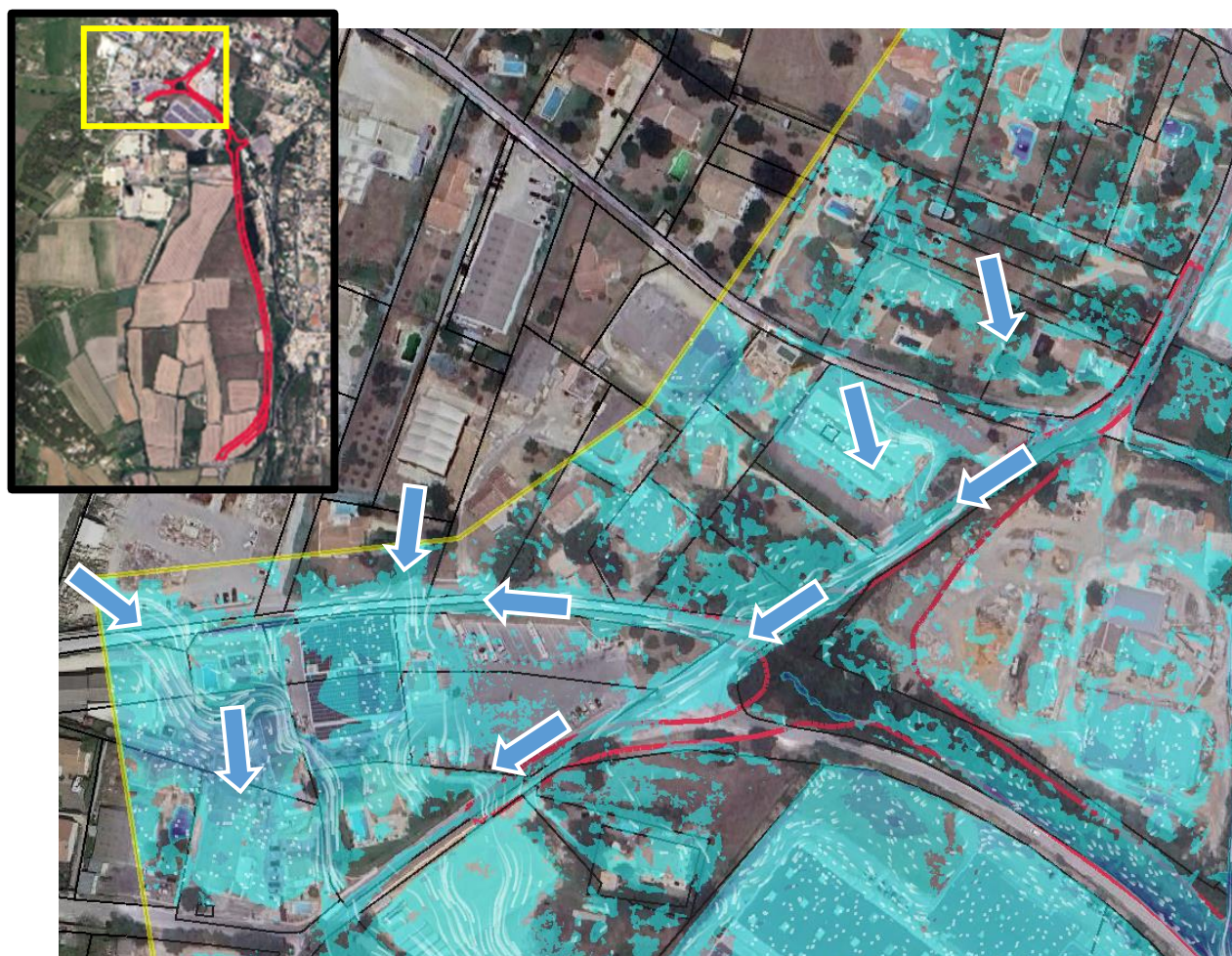


Figure 12: secteur Nord du projet

- Le principal axe d'écoulement concernant la déviation (1 ci-dessous) provient d'un bassin-versant d'une quarantaine d'hectares situé au nord-est, et vient notamment inonder le projet de ZAC situé dans le triangle au sud-est du grand bâtiment commercial Athezza. Son débit de pointe se situe aux alentours de 9.5 m³/s (section de calcul n°4) ;



Figure 13 : axe d'écoulement principal venant du Nord-Est

- Plus à l'aval, sur la partie médiane du projet, on observe toute une série d'axes secondaires d'écoulements (T1 à T11 ci-après) dont les débits varient entre 0.2 et 0.8 m³/s. Ils ne se rejettent pas forcément dans un fossé existant et peuvent présenter donc un caractère diffus. Le débit total généré par le coteau (intégrant donc l'ensemble des apports précédents) est de l'ordre de 5.2 m³/s (section de calcul n°5) ;



Figure 14: axes d'écoulement secondaires sur la zone médiane - partie nord

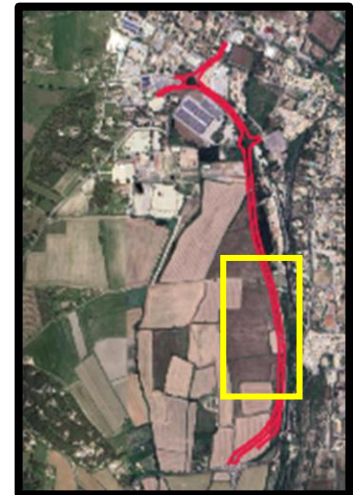
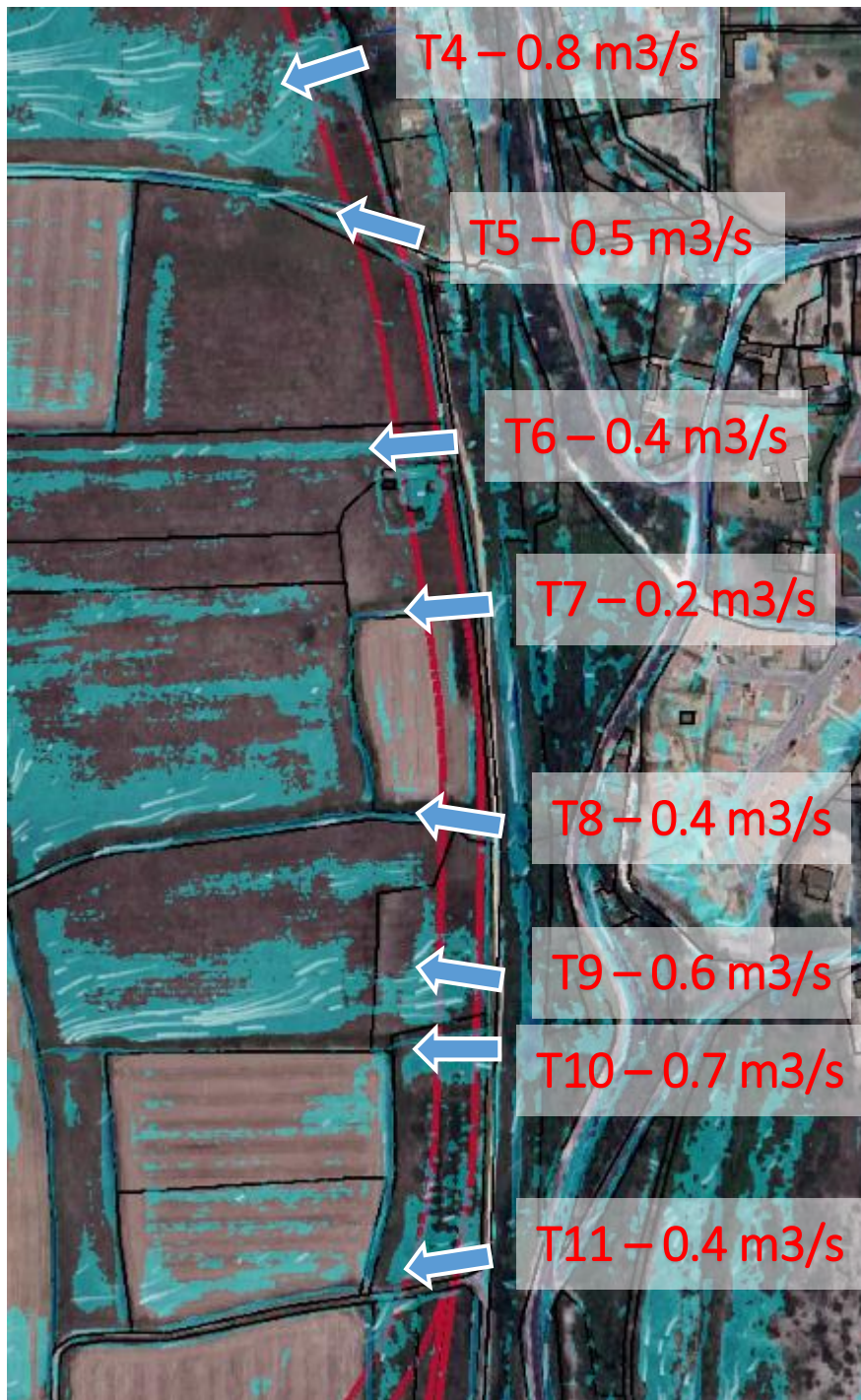


Figure 15: axes d'écoulement secondaires sur la zone médiane - partie sud

- Tout à l'aval du projet, on retrouve un axe d'écoulement conséquent (2 ci-dessous) drainé par le fossé le long de la route, et dont le débit est estimé aux alentours de 2.1 m³/s (section de calcul n°6).

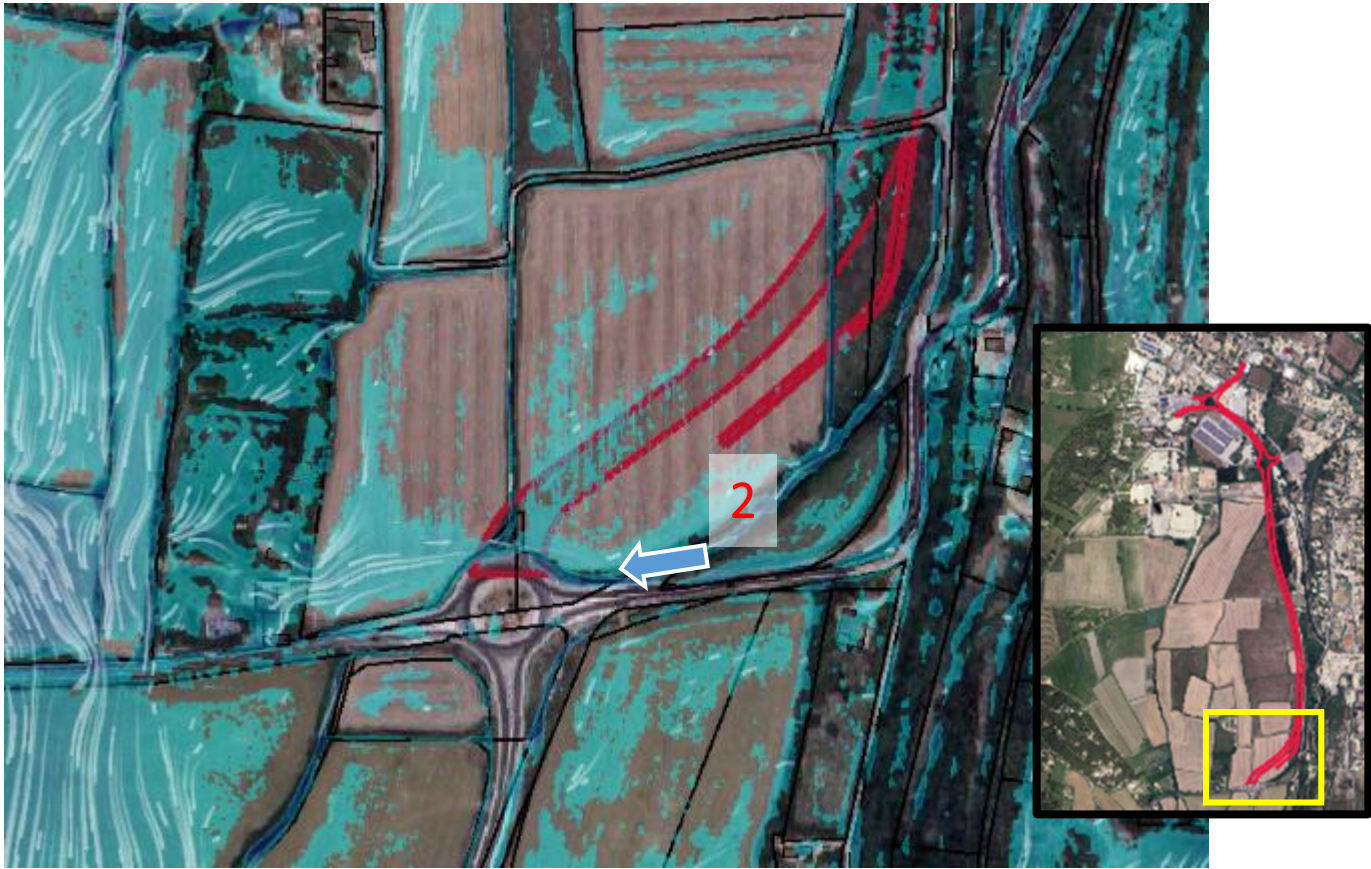


Figure 16: axes d'écoulement secondaires sur la zone sud

4. CARACTERISATION DE L'ETAT PROJET

4.1. PRINCIPE DE L'AMENAGEMENT

Le projet de liaison RD981/982 suit un axe Nord-Sud tandis que la topographie du secteur d'étude oriente les écoulements naturels de l'Est vers l'Ouest.

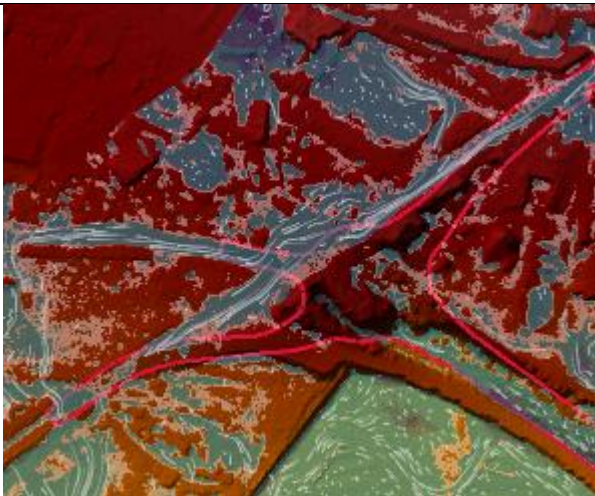
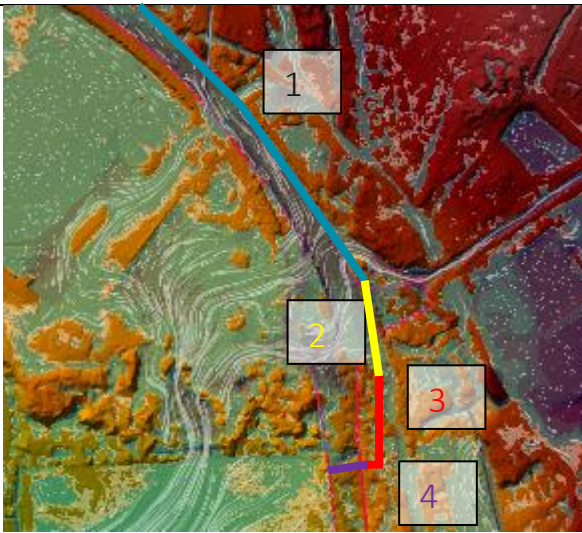
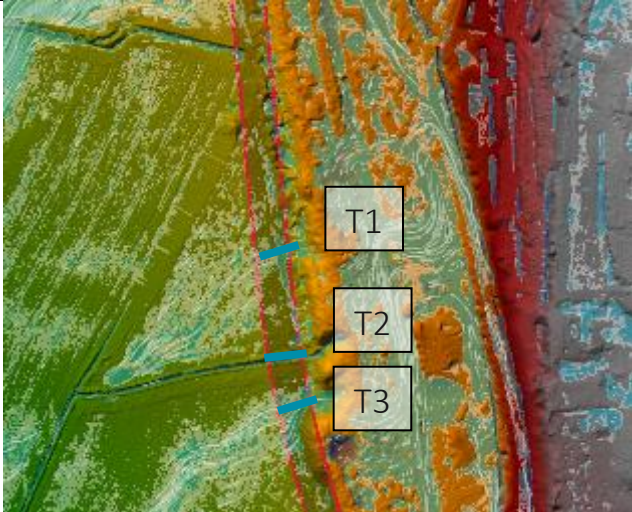
Ce projet, d'environ 20 m de large en moyenne, vient se positionner sur des axes d'écoulement, identifiés précédemment ; il sera donc nécessaire de dimensionner des ouvrages afin de rétablir les écoulements naturels, en essayant de préserver au maximum le fonctionnement hydraulique actuel. A noter que pour rappel, les axes d'écoulement déterminés lors de la phase précédente ne sont pas référencés cours d'eau.

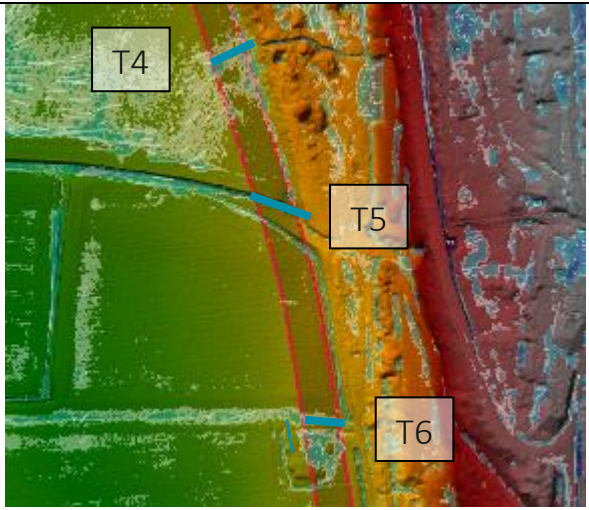
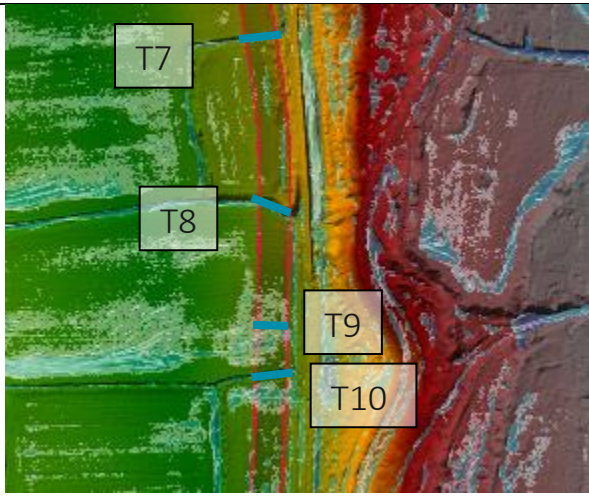
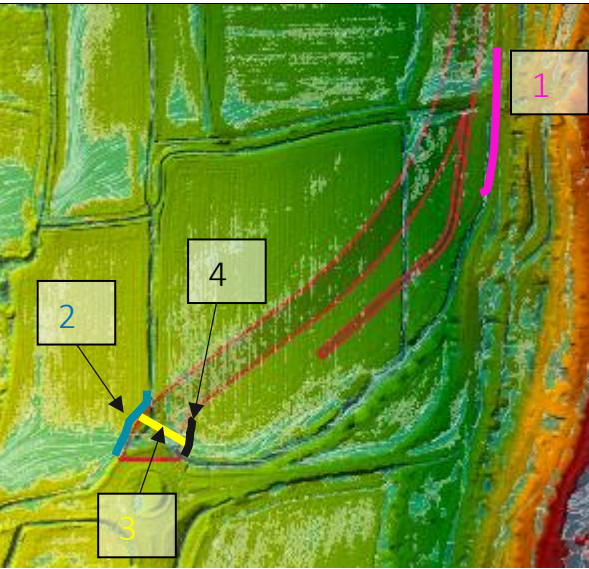
Ainsi, les principes généraux retenus (niveau esquisse) sont les suivants :

- Occurrence de dimensionnement : 100 ans
- A l'amont : gestion de l'axe d'écoulement principal Nord-Est (axe n°1) par la mise en place d'un chenal de collecte dont la largeur en base varie de 3 à 10 m, et d'une transparence sous la chaussée projetée (5 cadres 2x1 m). L'exutoire prévu se situe sur la parcelle collée au sud du projet de ZAC ;
- Sur la partie médiane : aménagement de transparences pour les axes d'écoulements secondaires T1 à T10 (buses de diamètre 800 mm, avec une pente minimale de 1 %) ;
- Sur la partie aval : gestion commune des eaux du T11 et de l'axe principal n°2, avec création d'une noue de collecte (largeur de 2.5 m en base) à l'amont immédiat du rond-point et mise en place d'un ouvrage de transparence (cadre 2x1 m) garantissant la non-submersion du projet. Si le fossé aval sera déplacé, la partie amont du fossé et les ouvrages connexes existants ne seront pas repris afin de le limiter les phénomènes de concentration des écoulements.

Ces principes sont détaillés dans les pages suivantes.

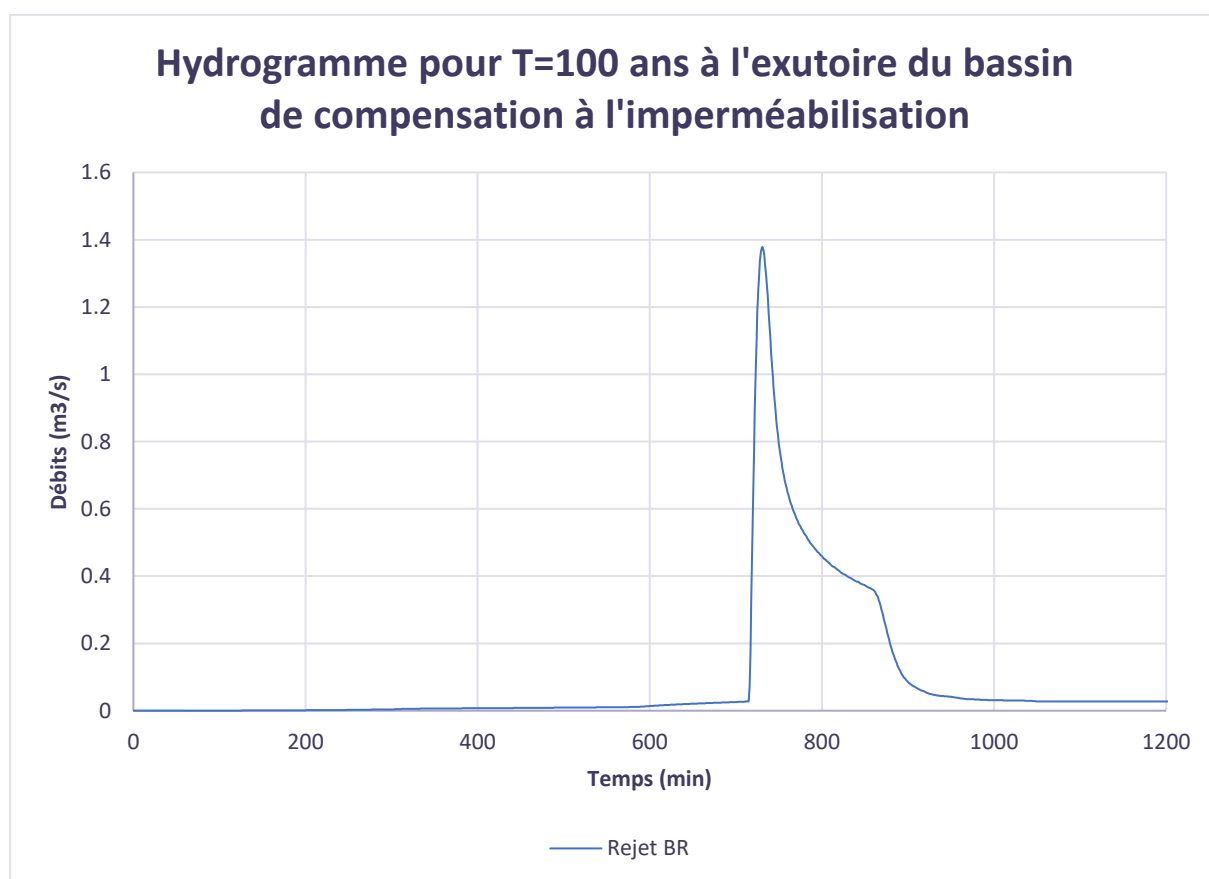
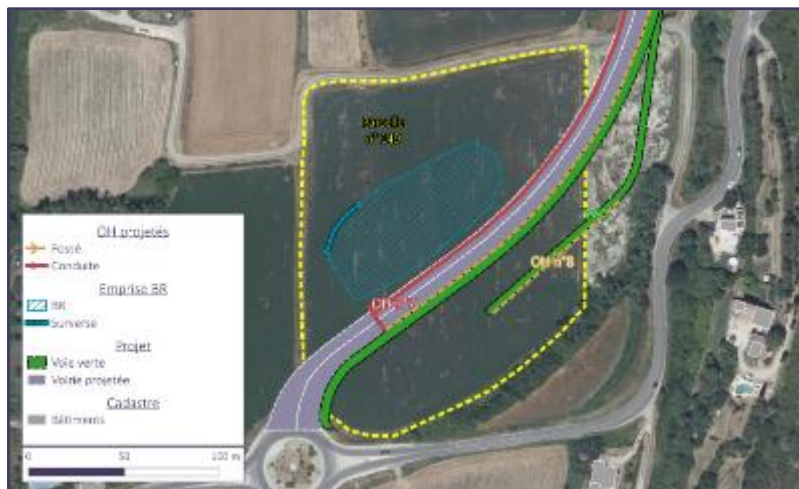
**Présentation des résultats concernant la déviation d'Uzès, et proposition d'aménagement
d'amont en aval**

Secteur	Proposition	Localisation
Limite amont du projet	Aucun aménagement particulier (le projet est au niveau du TN)	
Secteur concerné par le projet de ZAC	- Mise en place d'un chenal de déviation en amont du projet, de 3 m de large en base (1) - Passage sous la bretelle Est du rond-point (2) : 5 cadres 2x1 m - Mise en place d'un chenal de déviation de 10 m de large à l'aval de la bretelle, dimensionné pour recevoir les apports supplémentaires du BV Est (3) - mise en place d'une transparence de 5 cadres 2x1 m	
Secteur de l'ancienne gare	- T1, T2 et T3 : OA de transparence (800 mm)	

Secteur du chemin de Fontfroide	- T4, T5 et T6 : OA de transparence (800 mm)	
Chemin reliant le chemin de Fontfroide et la RD982	- T7, T8, T9 et T10 : OA de transparence (800 mm)	
Limite aval du projet	- Fossé de dérivation (1) gérant les eaux de T11 pour les ramener dans le fossé existant le long de la route - Déviation du fossé aval (2) - OA de transparence 2x1 m (3) - noue de collecte des eaux (2.5 m de largeur en base) le long du rond-point	

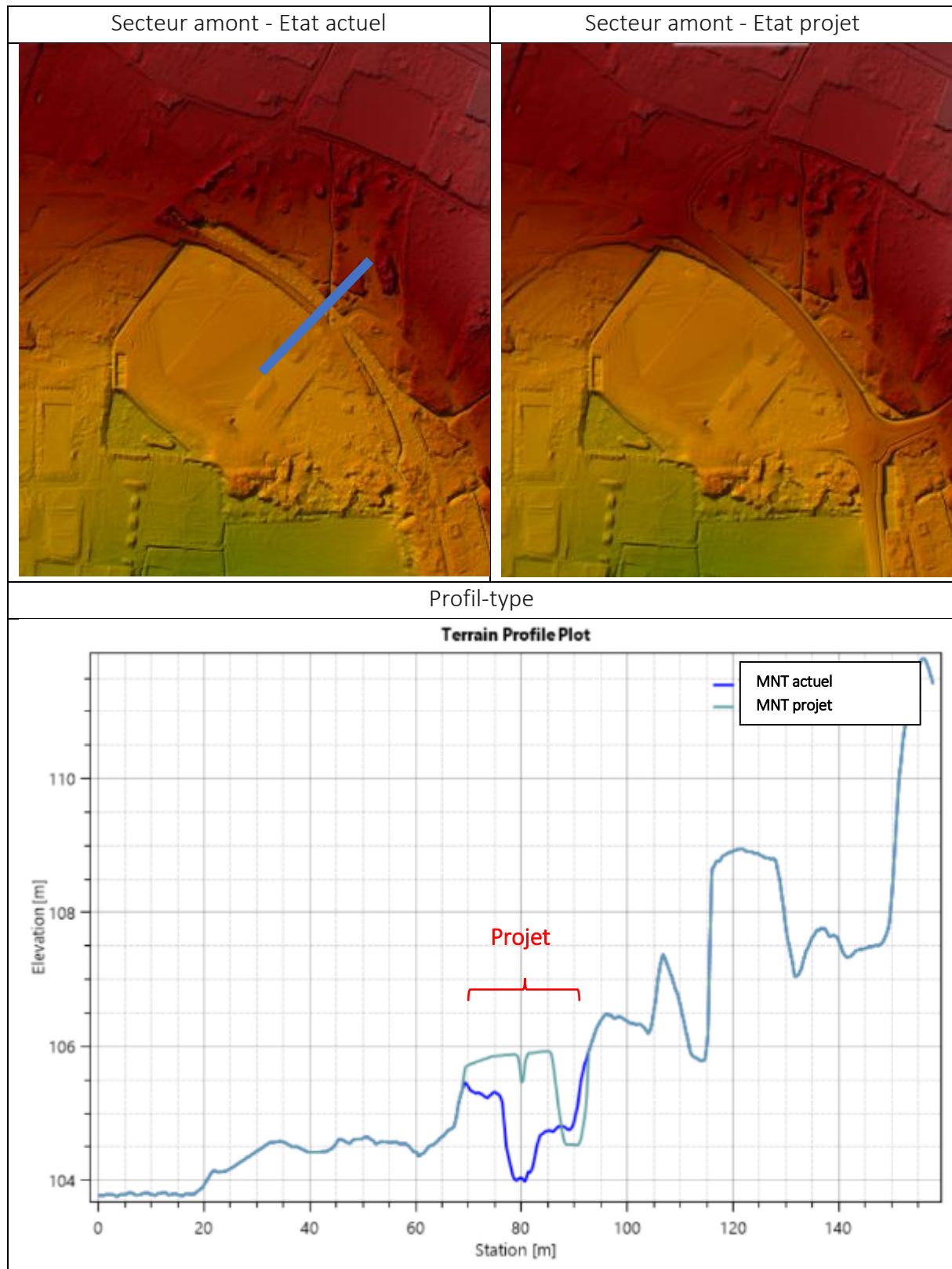
A noter que le réseau d'assainissement pluvial de la plateforme, dimensionné par ailleurs (occurrence de projet également centennale), est considéré comme indépendant et ne collectera pas les eaux externes au projet. Il ne sera donc pas modélisé.

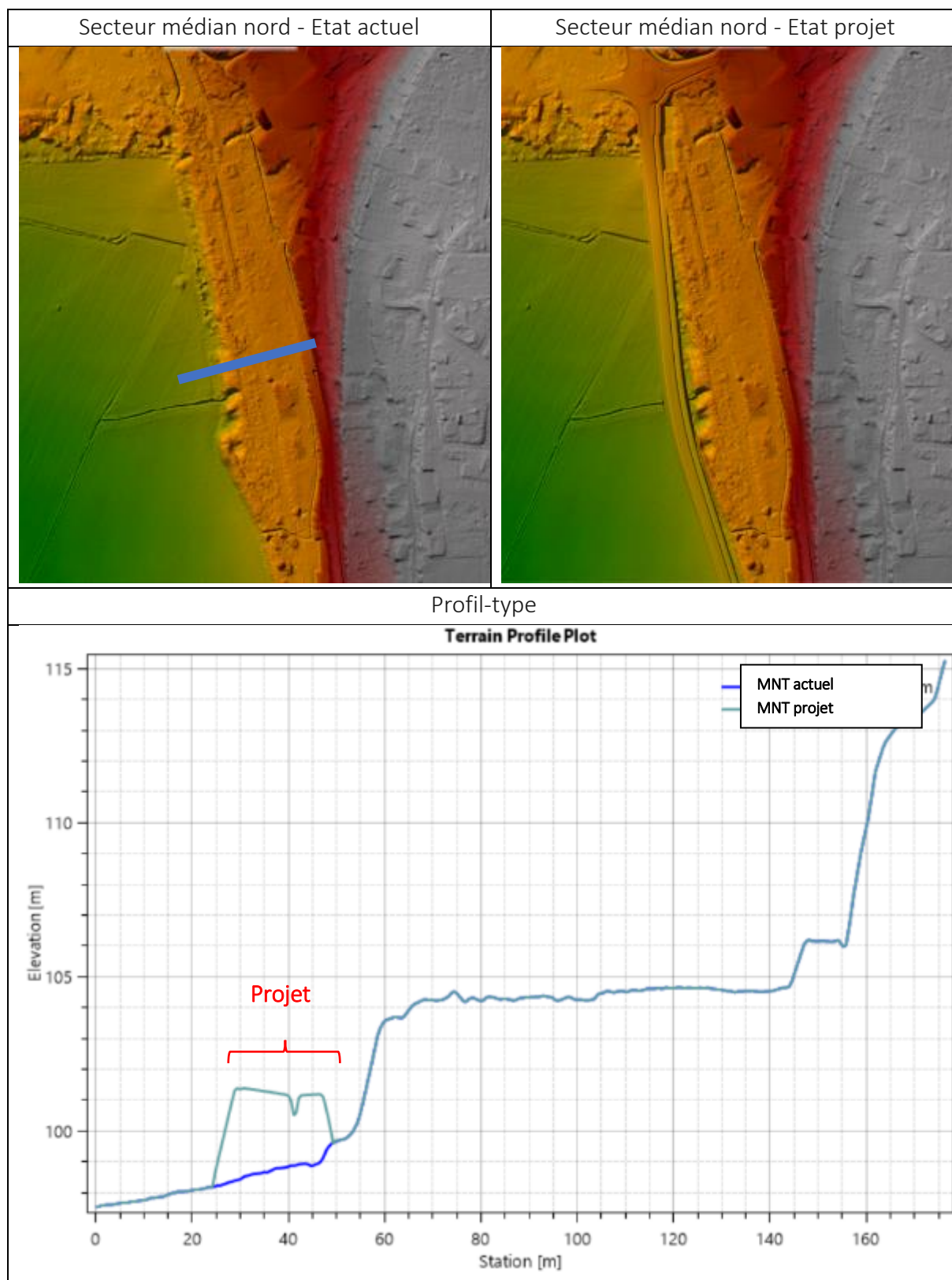
Par contre, le rejet du bassin de compensation à l'imperméabilisation, situé à l'aval du projet (cf. localisation de principe ci-contre), sera pris en compte. L'hydrogramme considéré est présenté ci-après. Il a été défini suivant les apports de la plateforme et le fonctionnement du bassin suivant ses caractéristiques du bassin (volume utile de 4000 m³ avant surverse à h=1.5 m et orifice de fuite de 115 mm de diamètre).

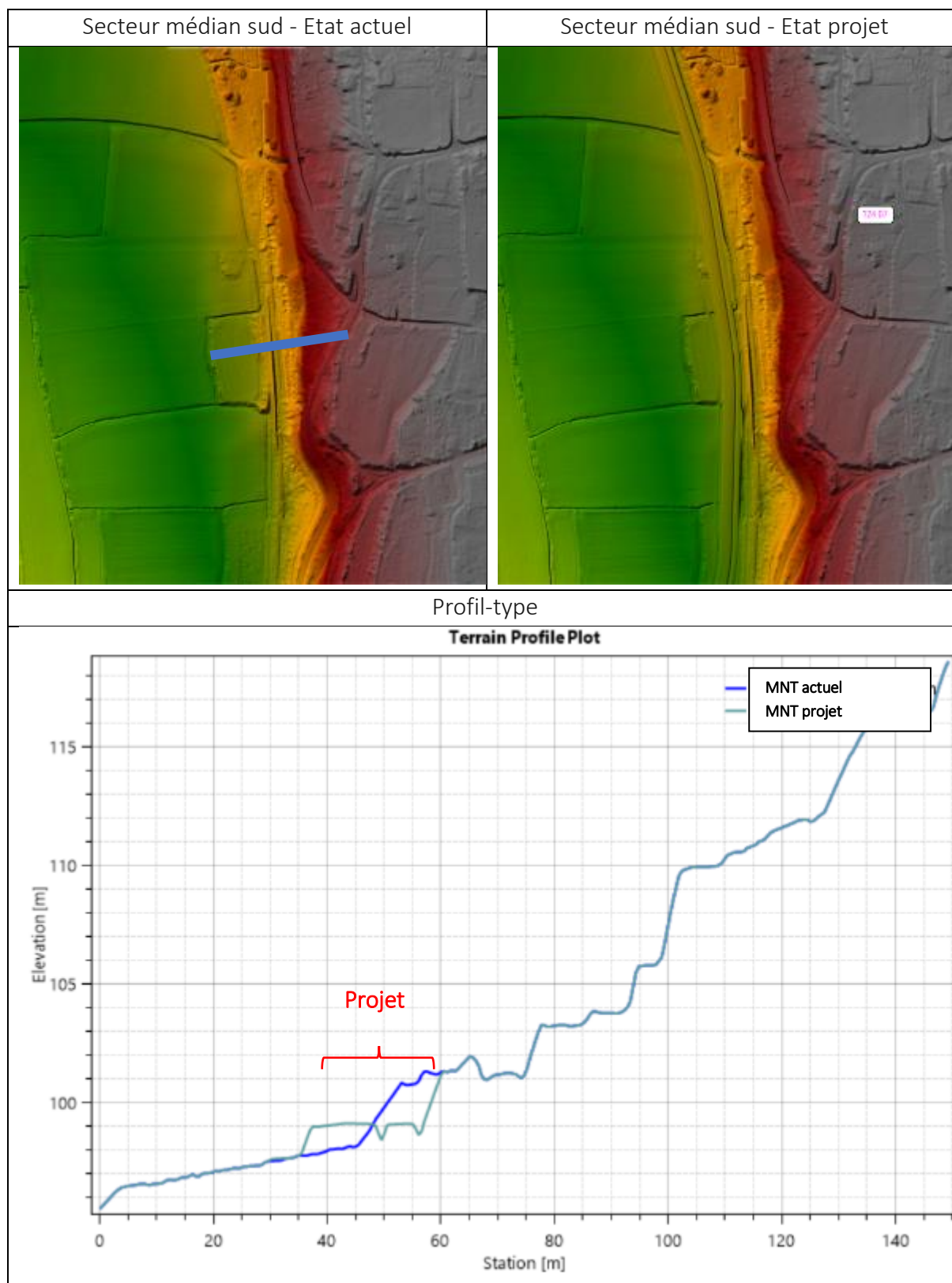


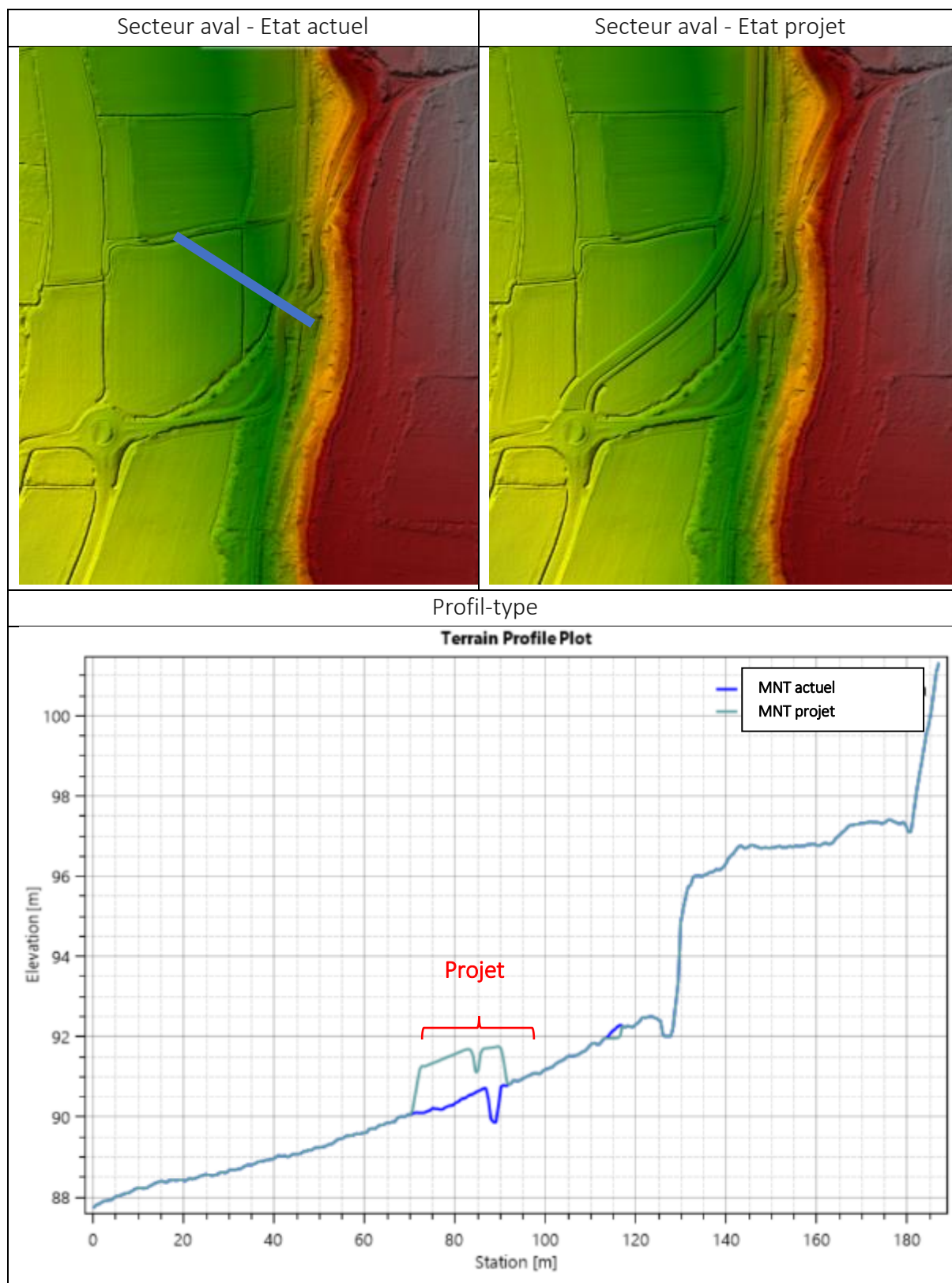
4.2. LA TOPOGRAPHIE

Afin de prendre en compte le projet dans le modèle, le MNT état actuel a été modifié sur la base de la topographie état aménagé fournie par le Département. Pour illustrer ces modifications, les MNT états actuel et projet sont présentés ci-après par tronçon, avec un profil-type positionné en bleu pour illustrer le changement.









4.3. CARACTERISATION DES INCIDENCES

Les incidences du projet sur les écoulements sont caractérisées suivant deux axes :

- Les hauteurs d'eau
- Les débits

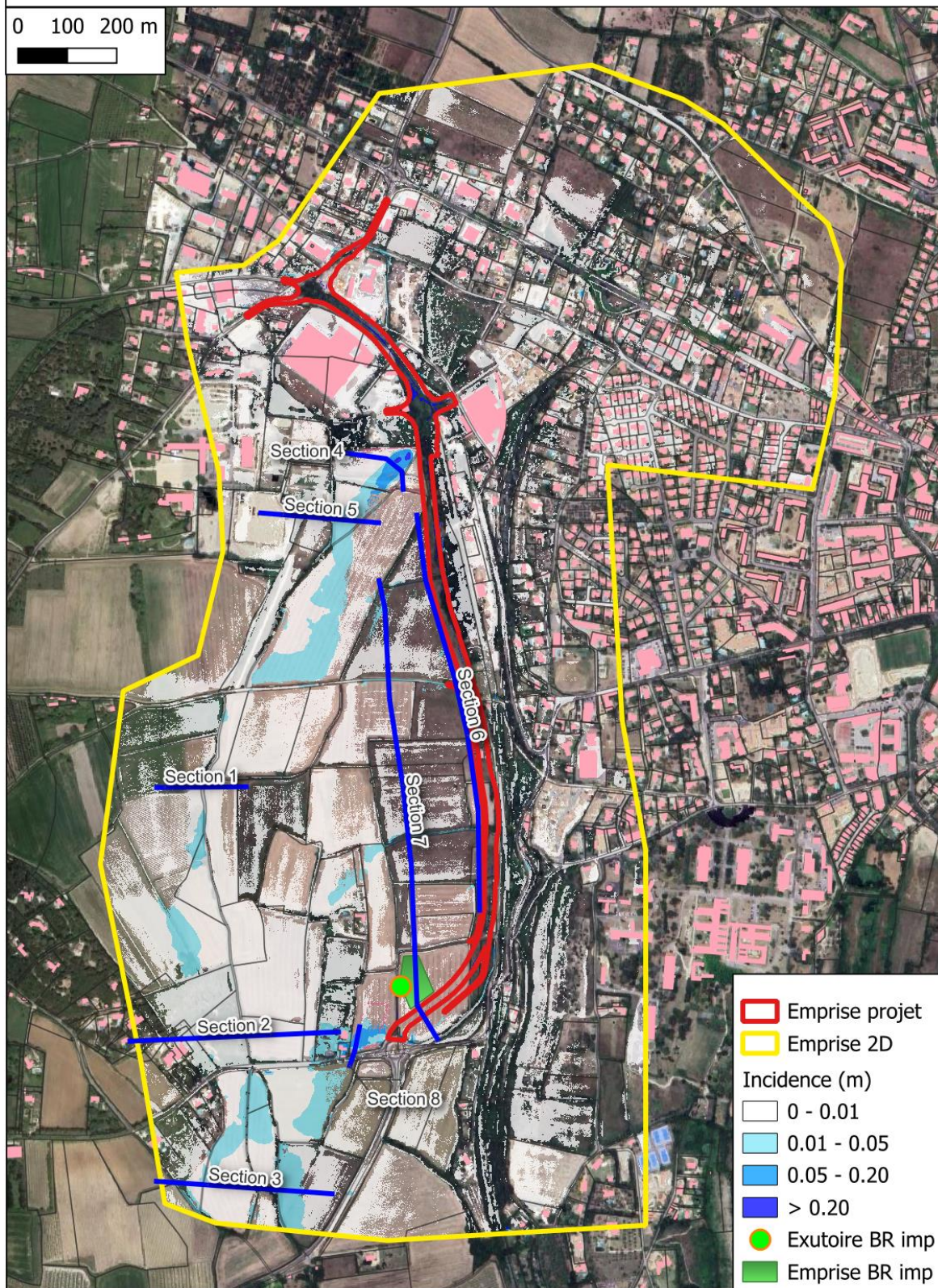
On vérifiera notamment que les impacts négatifs sur les hauteurs d'eau restent en deçà du seuil de tolérance (1 cm sur les enjeux humains).

A noter que compte tenu des gradients topographiques sur la zone, parfois très forts comme l'illustrent les coupes précédentes, et de la configuration du projet, situé principalement à flanc de coteau, les enjeux humains concernés par le risque ruissellement et susceptibles d'être impactés par le projet sont principalement situés sur son côté Ouest, en contrebas du tracé. En effet, les enjeux situés à l'Est dominant généralement la déviation, souvent de façon assez large.

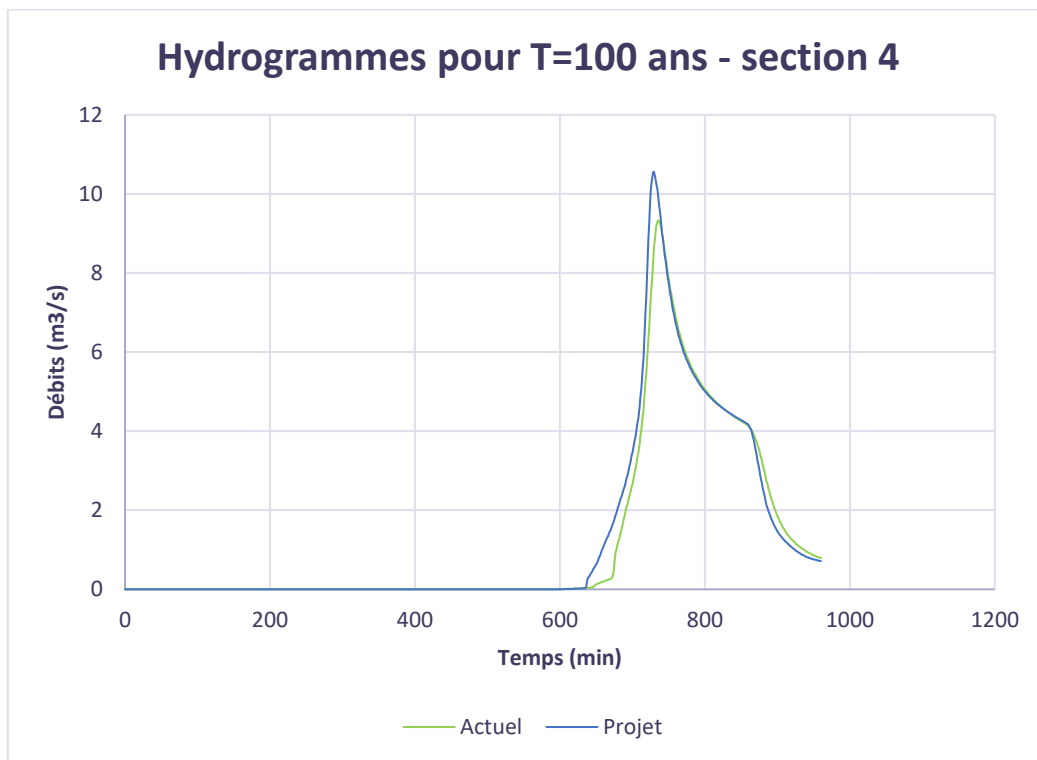
Les incidences positives (augmentation) sur les hauteurs d'eau sont présentées en suivant. Le bassin de compensation à l'imperméabilisation (nommé BR imp), ainsi que son point de rejet, sont localisés sur la cartographie afférente, de même que les sections de calculs complémentaires pour l'analyse des incidences.

Pour rappel, le bâti est en rose.

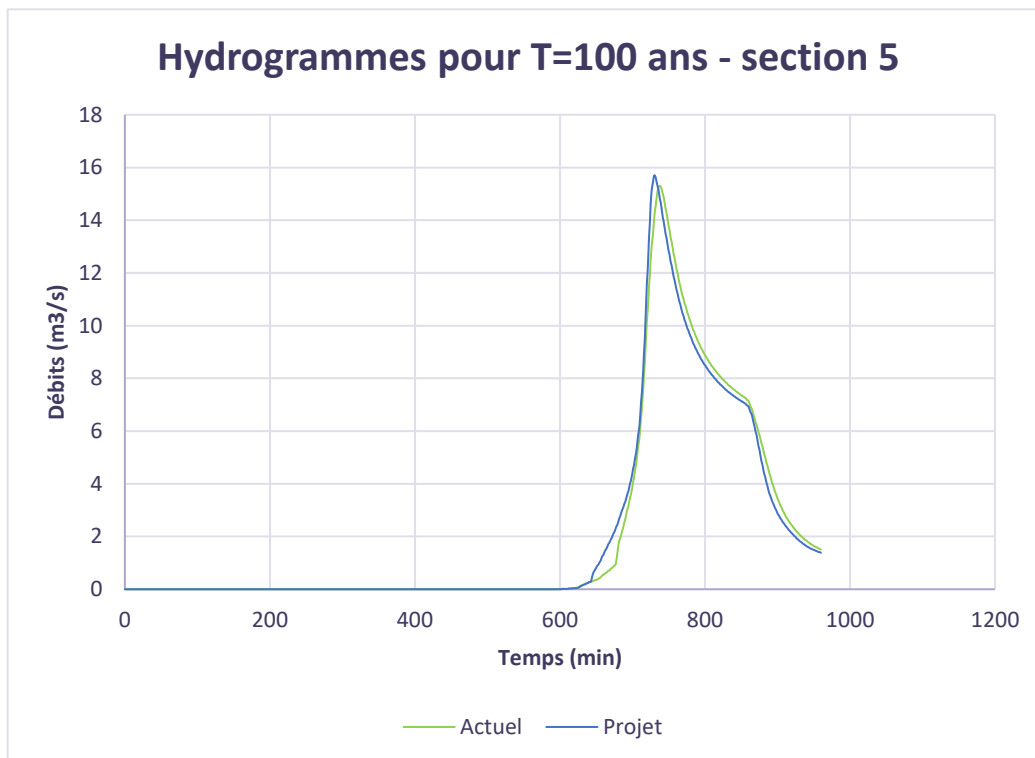
Incidences sur les hauteurs d'eau



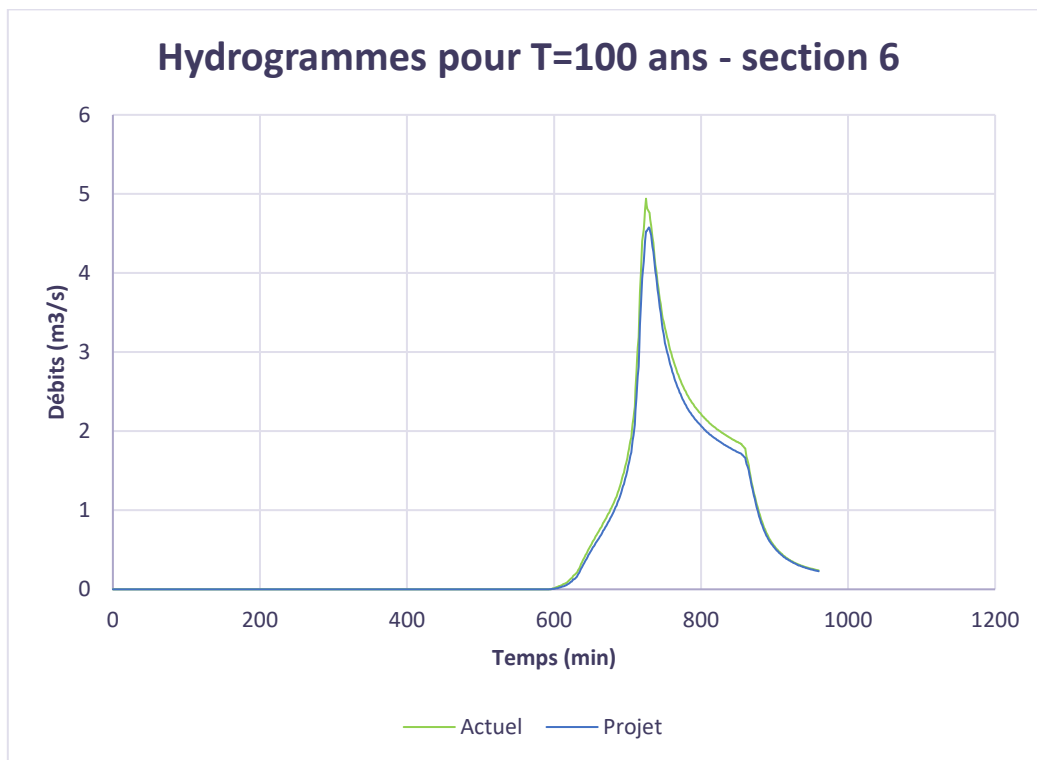
Sur la partie nord, la mise en place du chenal permet de soulager la zone Athezza – ZAC en y diminuant la submersion d'environ 0.1 à 0.2 m. Par contre, cela s'accompagne d'une augmentation des débits au droit du point de rejet du chenal à l'aval de la déviation (section 4 : +1.2 m³/s), et d'une pointe qui arrive plus tôt (- 7 min) du fait de la concentration des écoulements. Cette augmentation de débit se traduit par une surélévation de la ligne d'eau dépassant parfois 5 cm à l'aval de l'exutoire du chenal



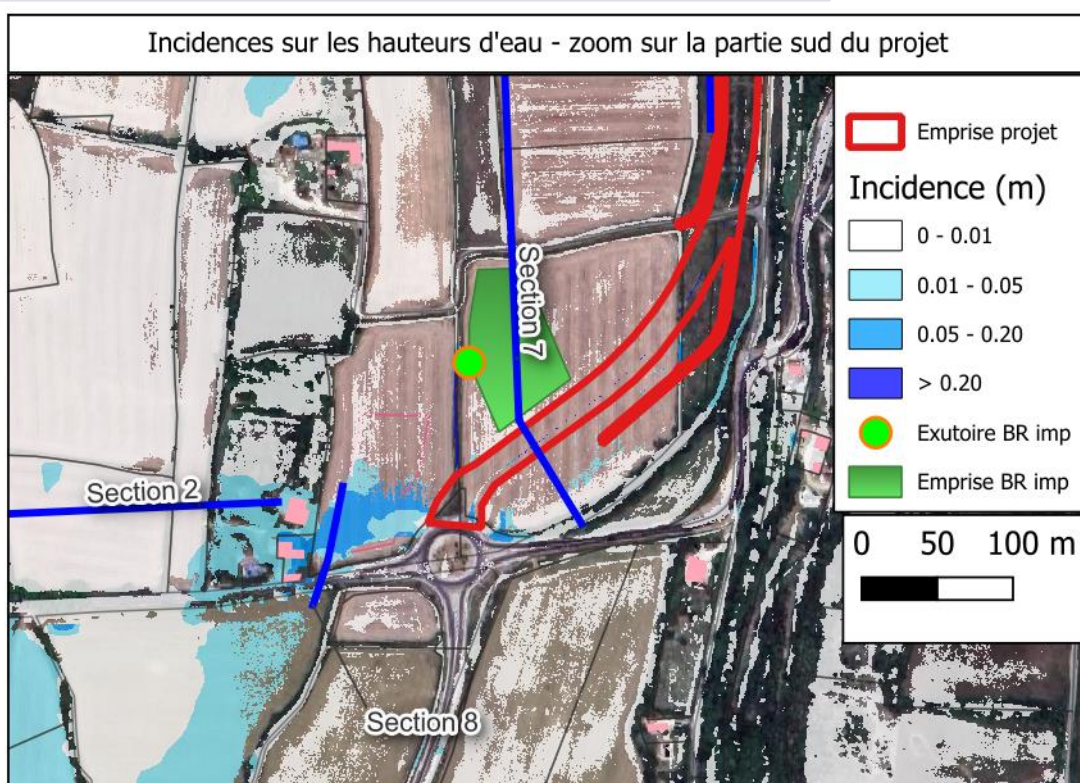
Si l'augmentation du débit sur l'extrême amont du ruisseau de Font-Froide (section 5 : +0.4 m³/s) est beaucoup plus limitée du fait de la diminution des apports amont ouest qui compense l'augmentation liée au chenal, la pointe arrive également plus tôt (- 8 min). Cependant, la rehausse des NPHE ne concerne que des zones agricoles, en rive gauche.



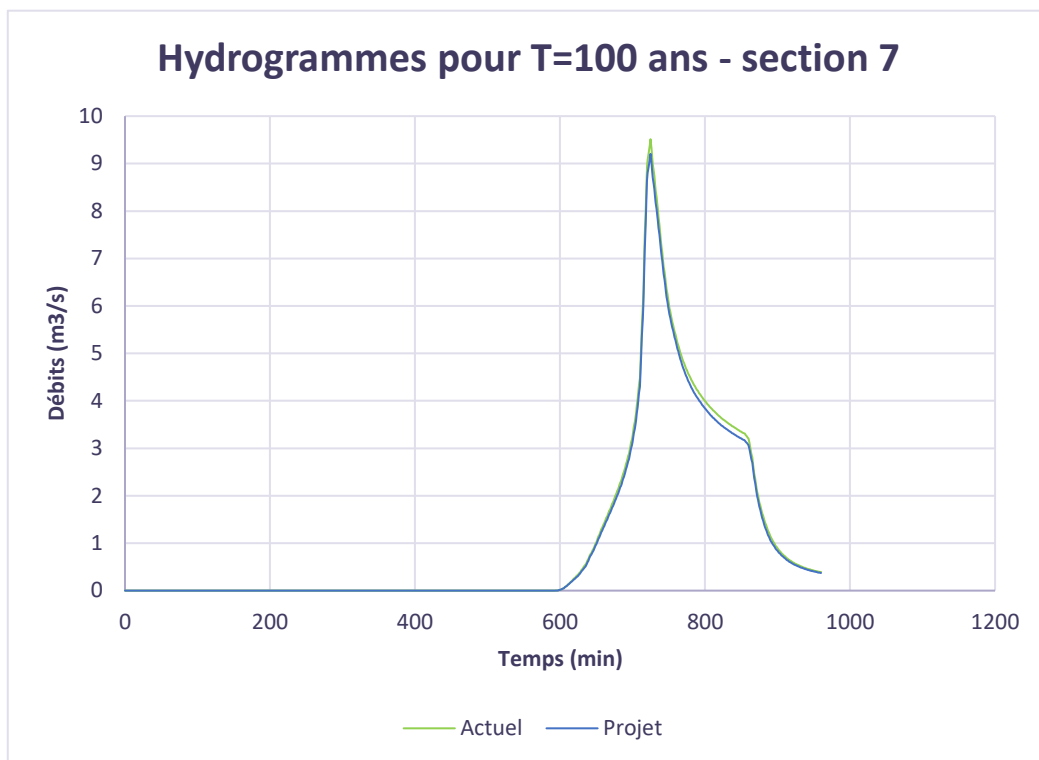
Sur la partie médiane, le projet ne modifie pas spécialement les écoulements : si les débits peuvent ponctuellement évoluer du fait d'une répartition légèrement différente liée au projet, le débit d'apport total n'évolue quasiment pas (section 6 : -0.3 m³/s) et les éventuelles incidences négatives demeurent circonscrites, ne concernant que des terrains agricoles, même si l'on note la présence d'une habitation sur le secteur. Ces incidences ne sont pas de nature à remettre en cause le mode de culture sur la zone.



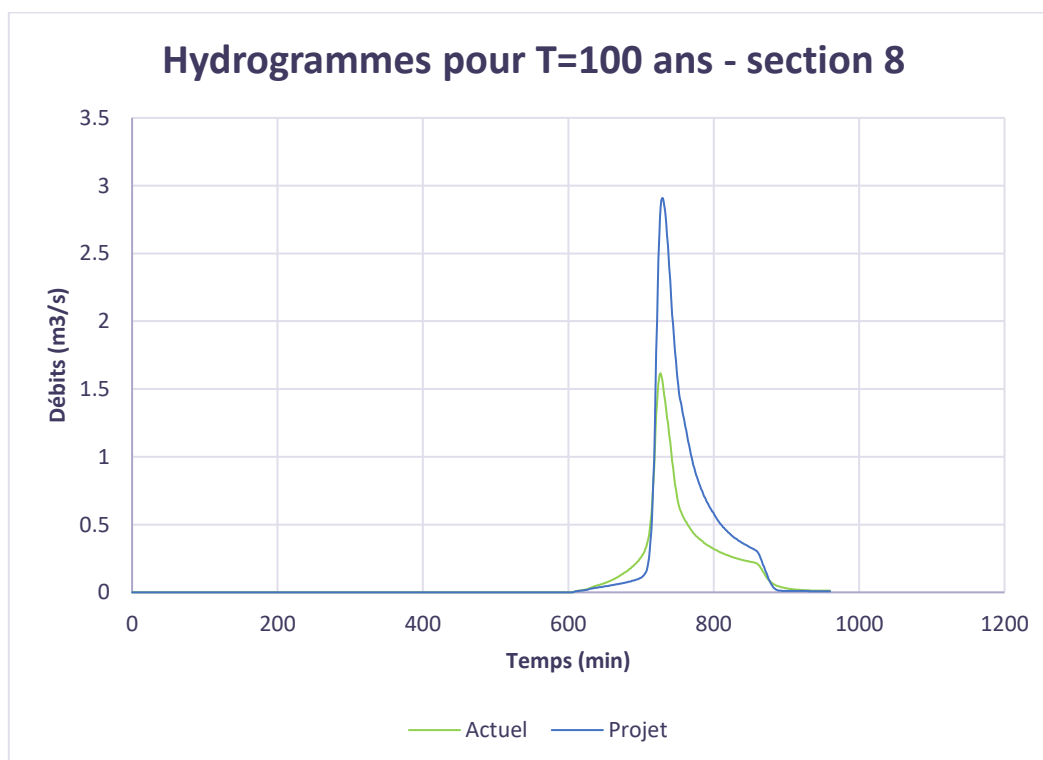
Sur la partie sud, on constate une aggravation de la situation au niveau des habitations (en rose) situées immédiatement à l'Ouest du rond-point (zoom ci-contre). C'est le seul secteur de la zone d'étude où des enjeux humains sont directement concernés par une augmentation de la ligne d'eau dépassant le cm.



Cette aggravation est essentiellement liée au rejet du bassin de compensation à l'imperméabilisation, celui-ci drainant l'intégralité des eaux de la plateforme (surface : 0.39 ha) en un seul point. En effet, la section de calcul 7, à l'amont du bassin – et donc sans son apport, montre bien que les débits actuel et projet sont équivalents.



Le bassin, dimensionné selon les prescriptions départementales en matière de compensation, ne permet pas d'écarter le débit centennal et surverse : à l'ouest immédiat du rond-point (section de calcul 8), l'augmentation des débits est de l'ordre de 80 % (soit +1.3 m³/s), ce qui explique les incidences négatives significatives (plus de 5 cm).

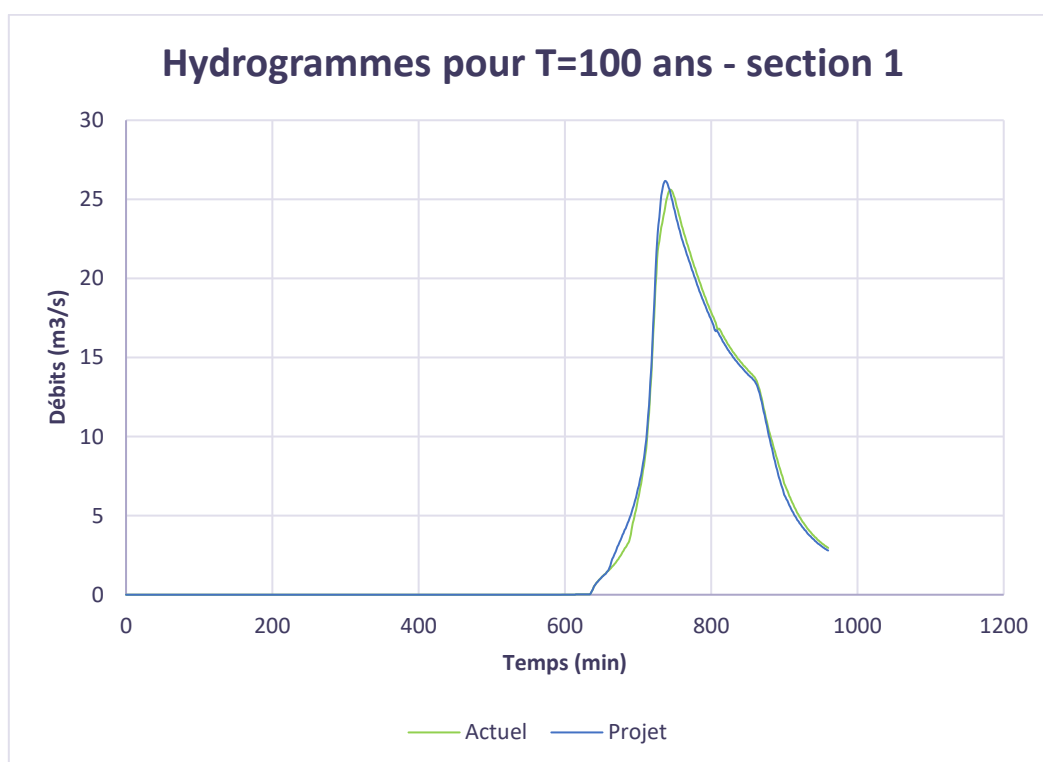


Sur le ruisseau de Font-Froide et au niveau des différentes sections de calcul, on constate une augmentation des débits comprise entre 0.6 m³/s (section 1) et 2.7 m³/s (section 3).

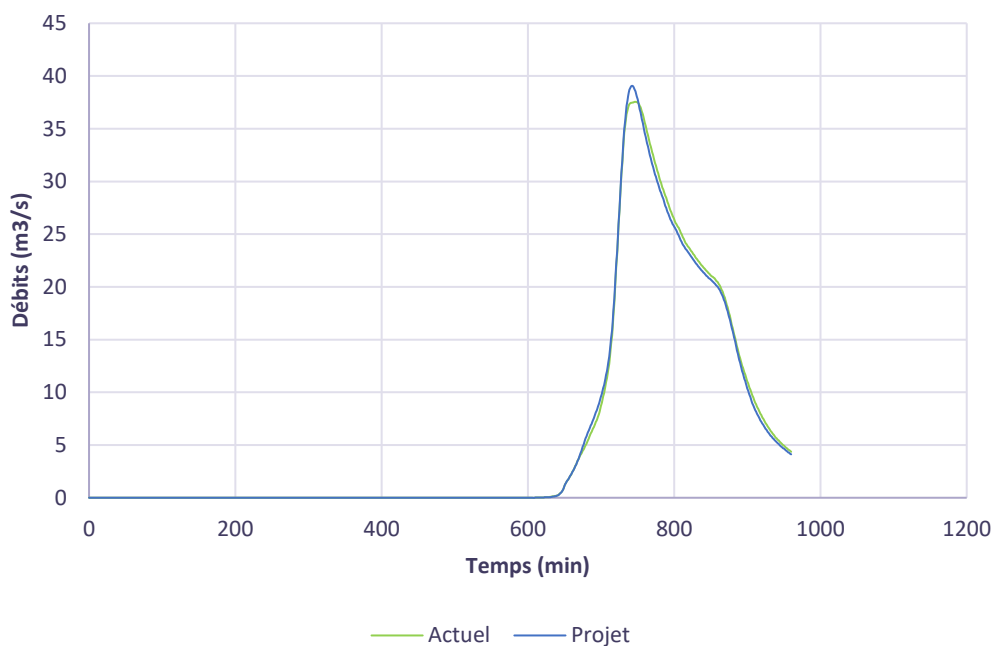
Même si les apports médians demeurent inchangés (cf. section 7), la chenalisation amont des écoulements provoque une augmentation des débits et une accélération de la réponse du bassin, ce dernier phénomène entraînant une diminution du décalage des pointes avec les apports latéraux, et donc une rehausse des débits du ruisseau.

Couplés à l'aval aux apports du bassin de compensation à l'imperméabilisation, qui concentre également les écoulements, ces phénomènes expliquent ainsi une augmentation du débit sur le ruisseau de Font-Froide de près de 7 %.

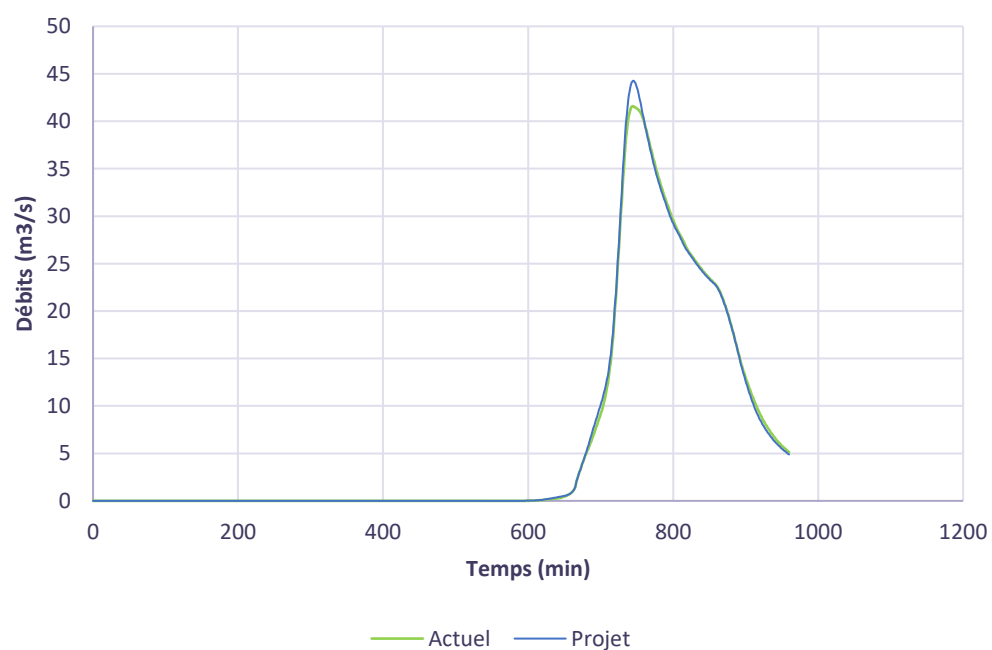
Nous proposons donc de mettre en place des mesures d'accompagnement visant à compenser la chenalisation amont et la concentration des débits au niveau des apports latéraux et à l'exutoire du bassin de compensation aval.



Hydrogrammes pour T=100 ans - section 2



Hydrogrammes pour T=100 ans - section 3



5. DEFINITION DES MESURES COMPENSATOIRES

5.1. PRINCIPE

Comme explicité précédemment, il s'agit de compenser les aggravations observées liées à la chenalisation et à la concentration des écoulements. Les principes des mesures compensatoires sont explicités en suivant, au niveau esquisse.

Pour la partie amont, l'analyse des volumes écoulés entre les hydrogrammes actuel et projet au droit de la parcelle qui sert d'exutoire au canal (section 4) montre un différentiel volumétrique de l'ordre de +7000 m³ lors de la décrue lorsque les deux courbes de débit se rejoignent. Le principe de la compensation consistera donc à compenser à minima ce volume par la mise en place d'un bassin écrêteur.

Il s'agira également de circonscrire les éventuelles incidences négatives à la parcelle concernée par le bassin, qui fera l'objet d'une acquisition par le Département. Dans ce cadre, et par mesure de sécurité, la capacité de l'ouvrage de rétention sera augmentée.

Nous proposons donc :

- la mise en place d'un bassin de rétention d'une capacité portée à 9000 m³, avec un exutoire de type déversoir dimensionné pour évacuer le débit centennal actuel (9.5 m³/s).
- En considérant une charge utile dans le bassin de 1.2 m, cela représente une superficie de 7500 m², et un ouvrage de sortie de type seuil de 4.5 m de large. En prenant une revanche de 0.2 m, la profondeur maximale pour le bassin serait de 1.4 m.
- A l'aval, il faudra notamment prévoir une noue de 5 à 7 m de large, permettant de diffuser les écoulements et de dissiper l'énergie en sortie d'ouvrage. Sa cote de fond est estimée à 98 m NGF.
- Afin d'essayer de retrouver la largeur, le positionnement et l'étalement des eaux observée en situation actuelle à l'aval du bassin, un décapage du TN à l'aval de la fosse est proposé à la cote estimée de 98.4 m NGF.

Une vue de l'aménagement théorique est présentée ci-après.

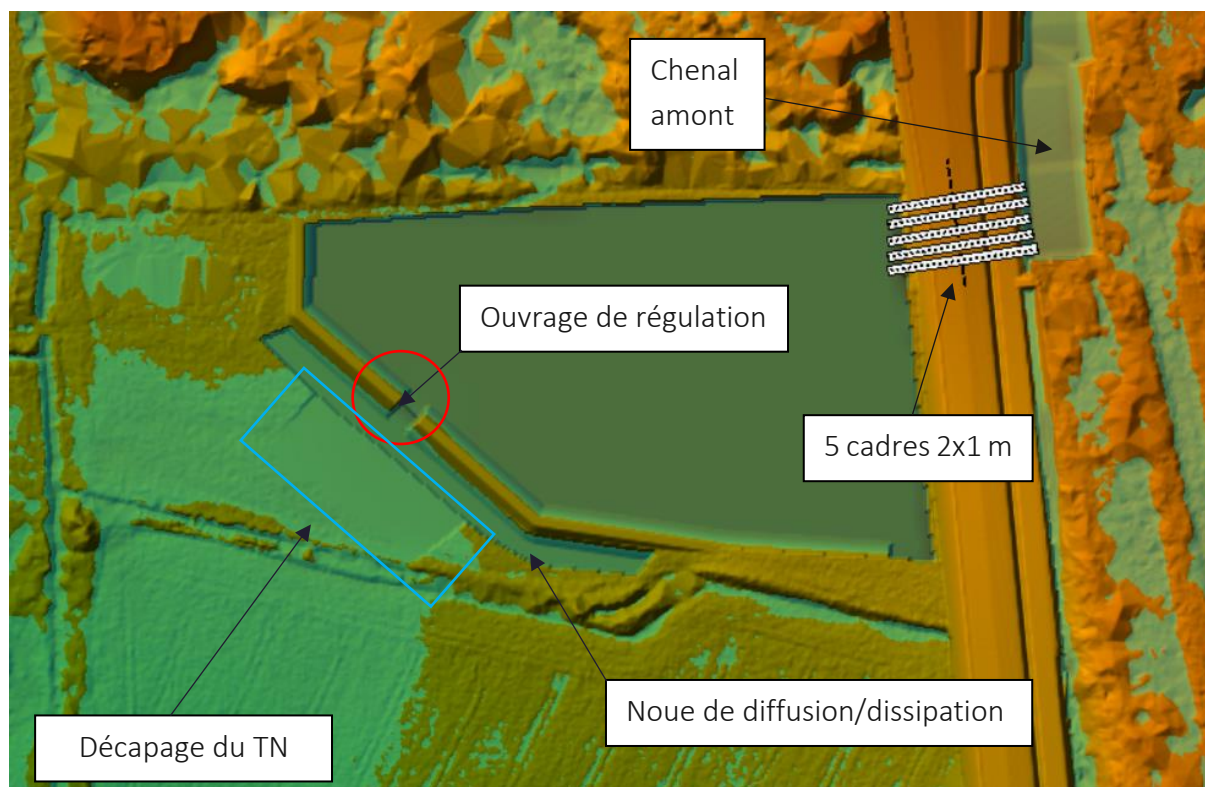
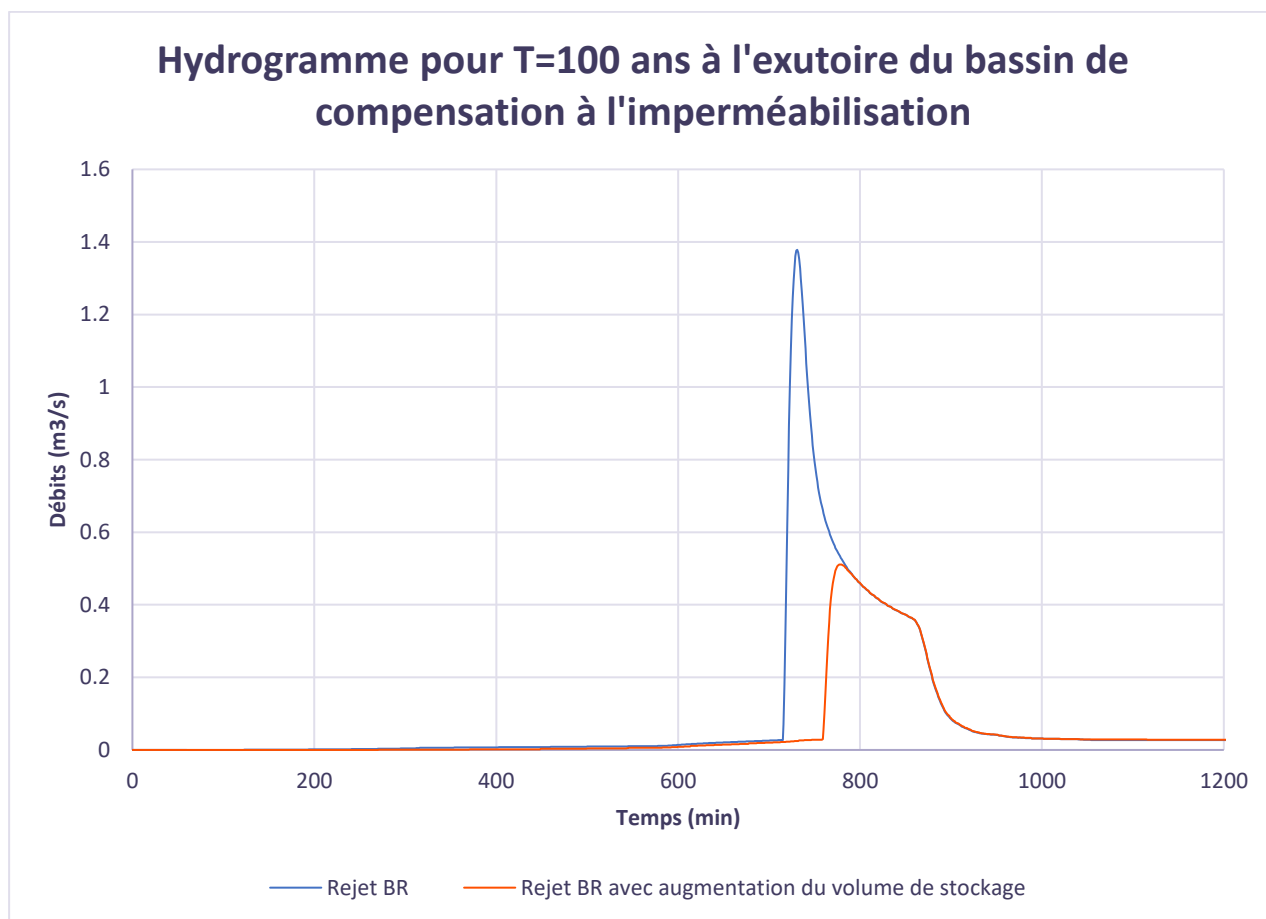


Figure 17: Vue du bassin projeté au nord

Pour la gestion des eaux du bassin de compensation à l'imperméabilisation situé au sud du projet, l'analyse des hydrogrammes à l'ouest du rond-point sud (section 8) met en avant un apport complémentaire estimé aux alentours $+3500 \text{ m}^3$ entre les situations actuelle et aménagée.

La solution envisagée pour pallier à cette incidence est l'augmentation de la capacité du bassin de compensation, notamment pour permettre un décalage substantiel entre la pointe des apports naturels externes et celle du bassin ; pour cela, la profondeur avant surverse est portée à 1.6 m pour une superficie de bassin théorique d'environ 4000 m^2 .

Le diamètre du puits de fond initialement prévu est conservé. L'hydrogramme sortant du bassin de compensation aval est présenté ci-dessous, et comparé à celui sans optimisation : on voit bien le décalage de la pointe, et sa nette diminution ;

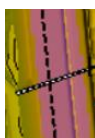


Concernant le fossé bordant le projet à l'est, à l'aval du chenal de dérivation, et même si les incidences sont limitées sur la zone à l'aval du projet, il est proposé la mise en place de points hauts de telle manière à pouvoir traiter au mieux les débits amont en séparant les apports et en évitant les phénomènes de concentration. A noter que le positionnement des points hauts n'est qu'indicatif et devra être affiné en phase AVP-PRO.

Au niveau des zones d'écoulement diffus, il est prévu des noues de diffusion des écoulements. Le principe consiste à aménager une noue plane à altitude constante et d'une largeur théorique équivalente à celle de l'écoulement diffus actuel. Sa profondeur sera de l'ordre de 0.3 m pour une longueur de 2 m en fond.

Les cartographies suivantes, concernant le tronçon au sud du bassin de rétention amont, permettent de localiser les aménagements précédents du Nord au Sud, ainsi que la largeur théorique des noues de diffusion.

Légende :



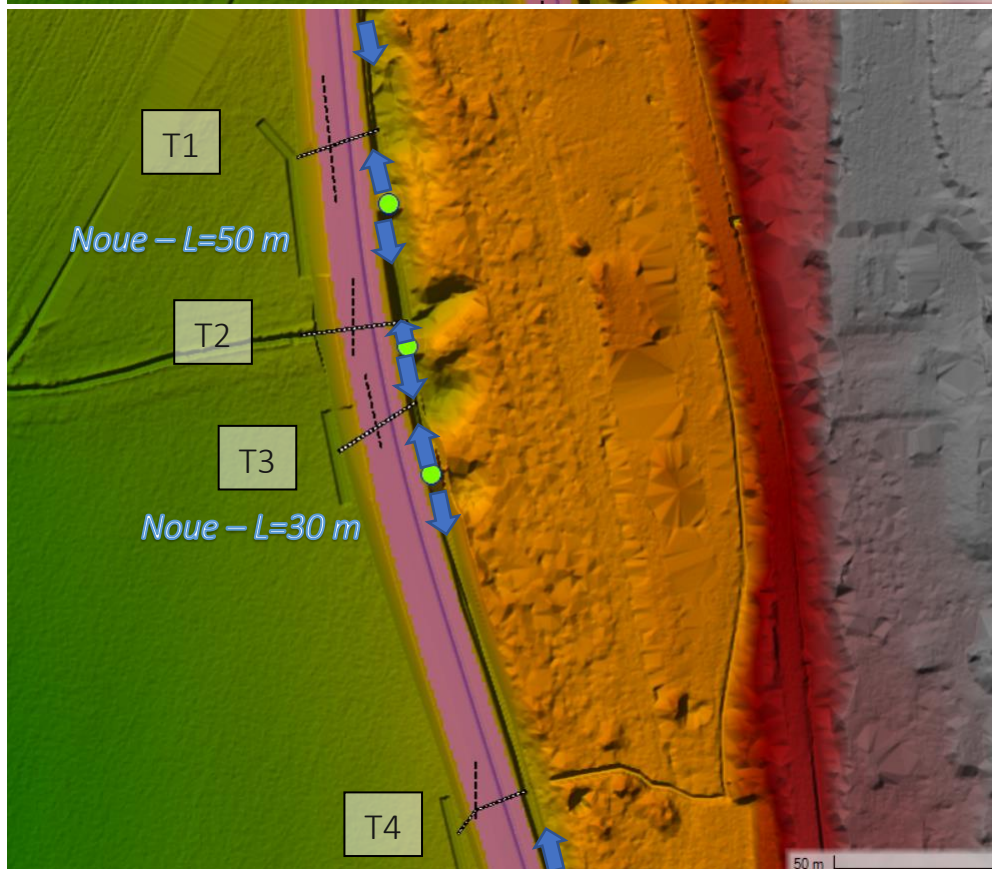
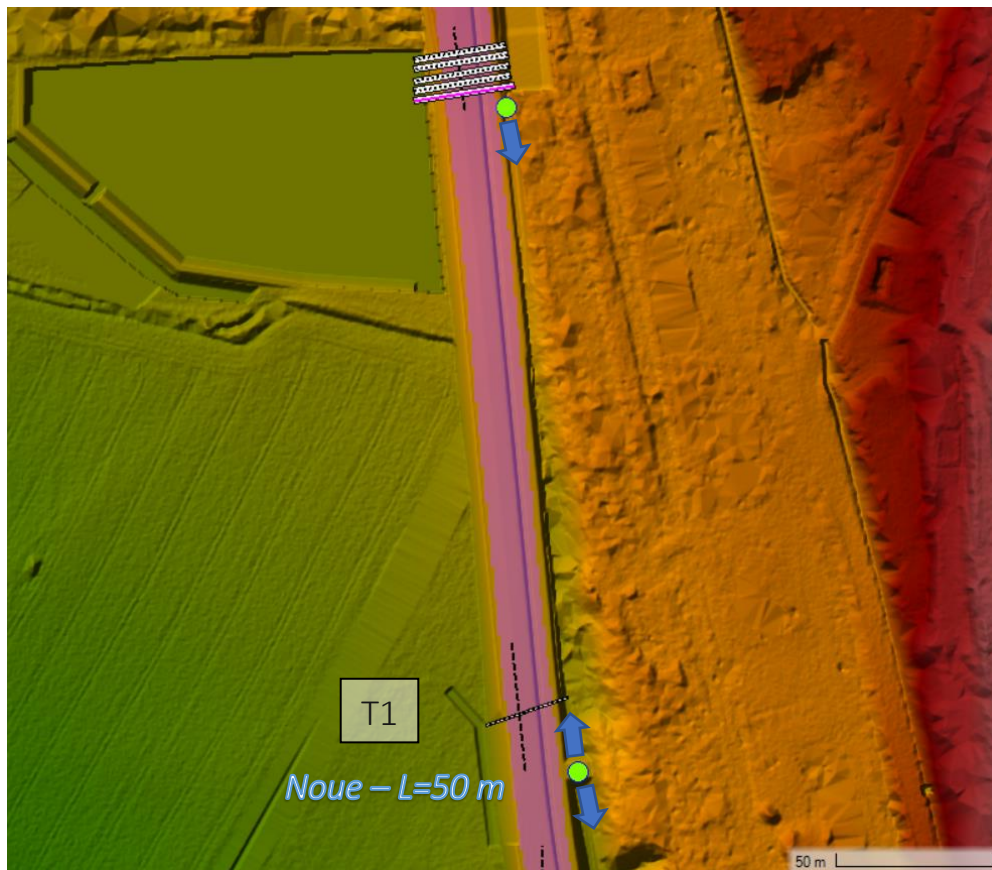
Traversée

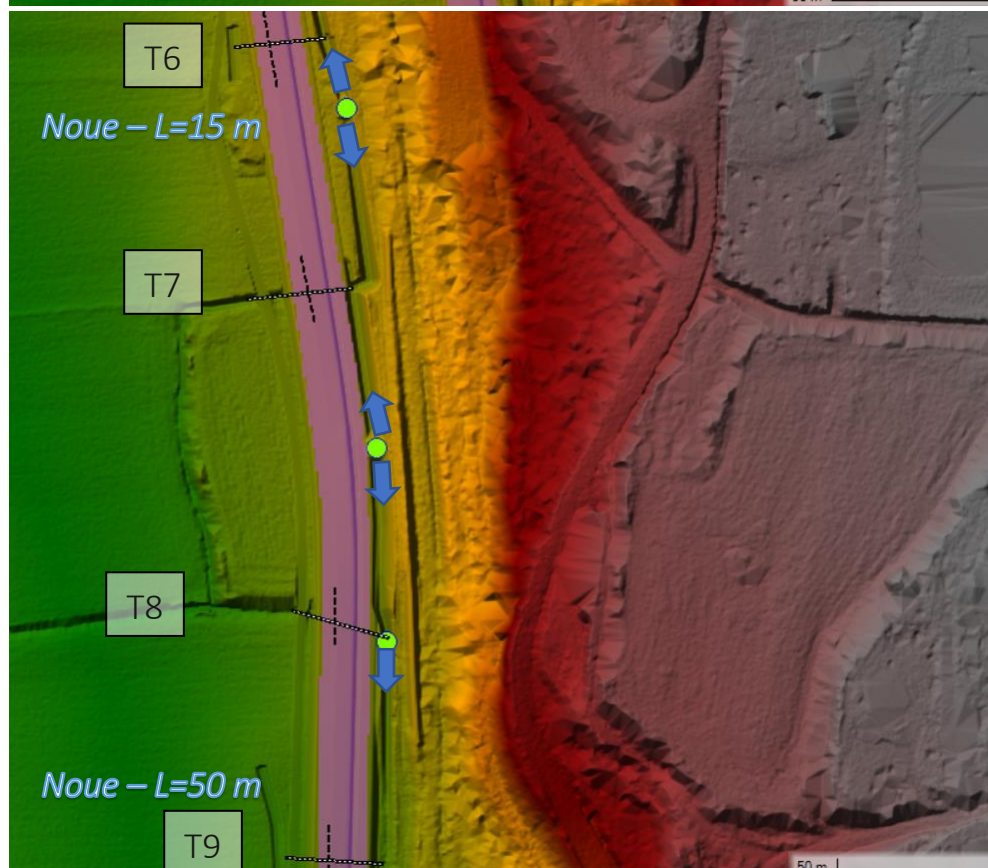
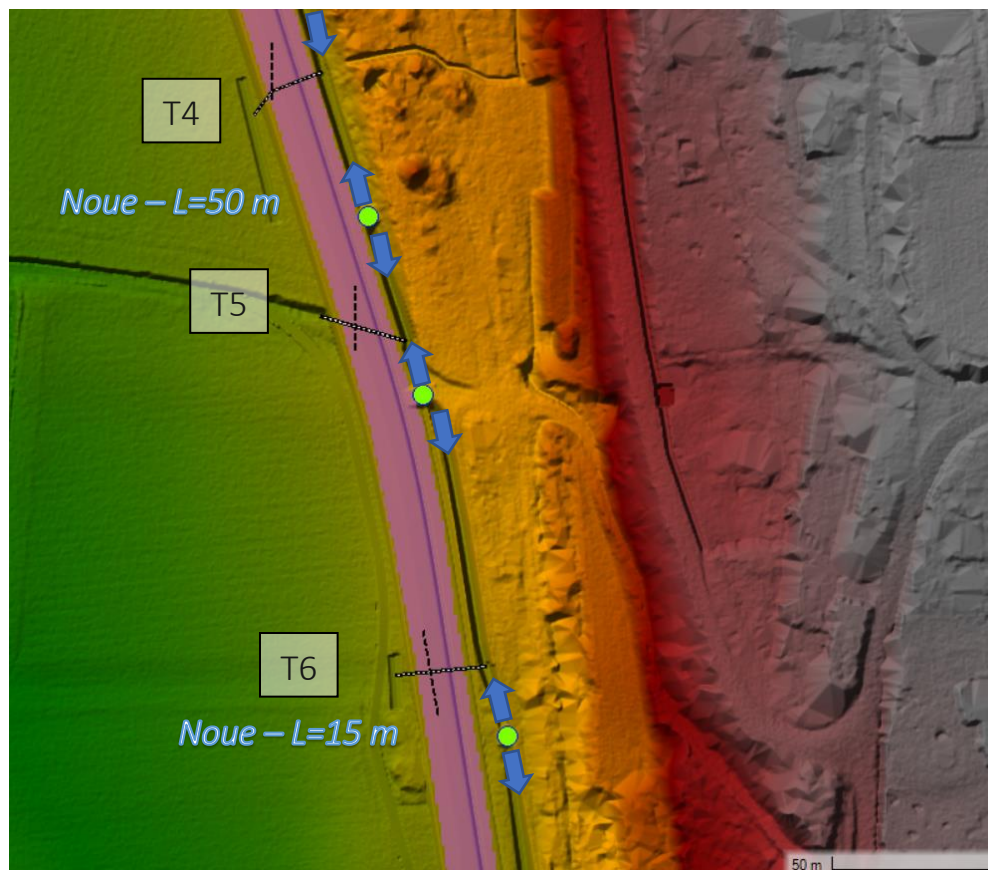


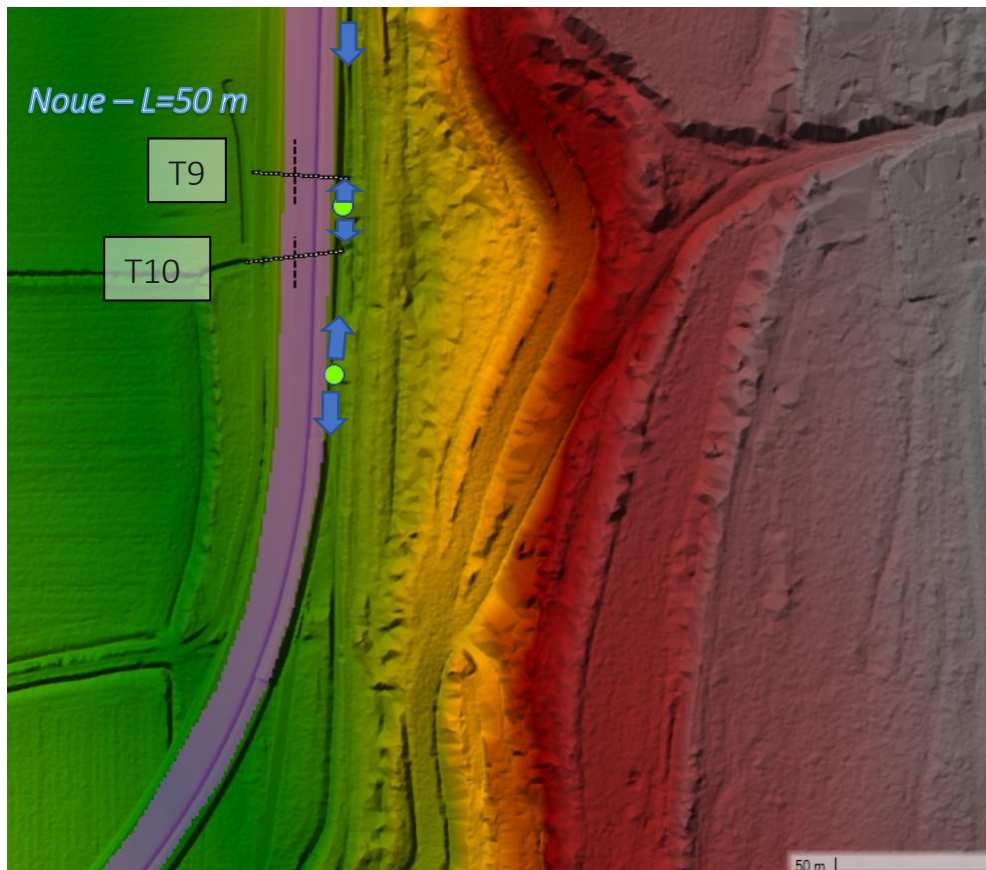
Sens théorique d'écoulement



Point haut



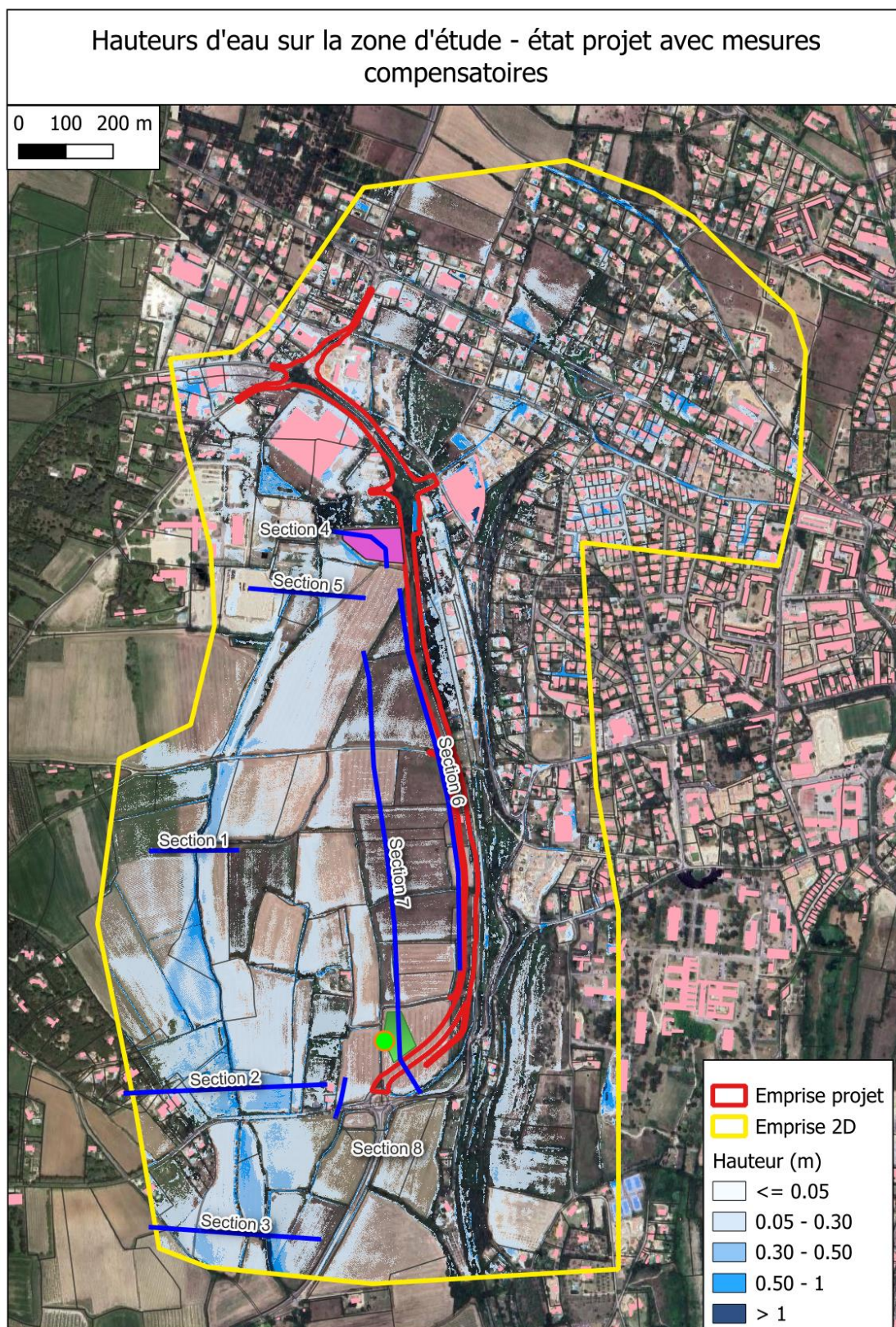




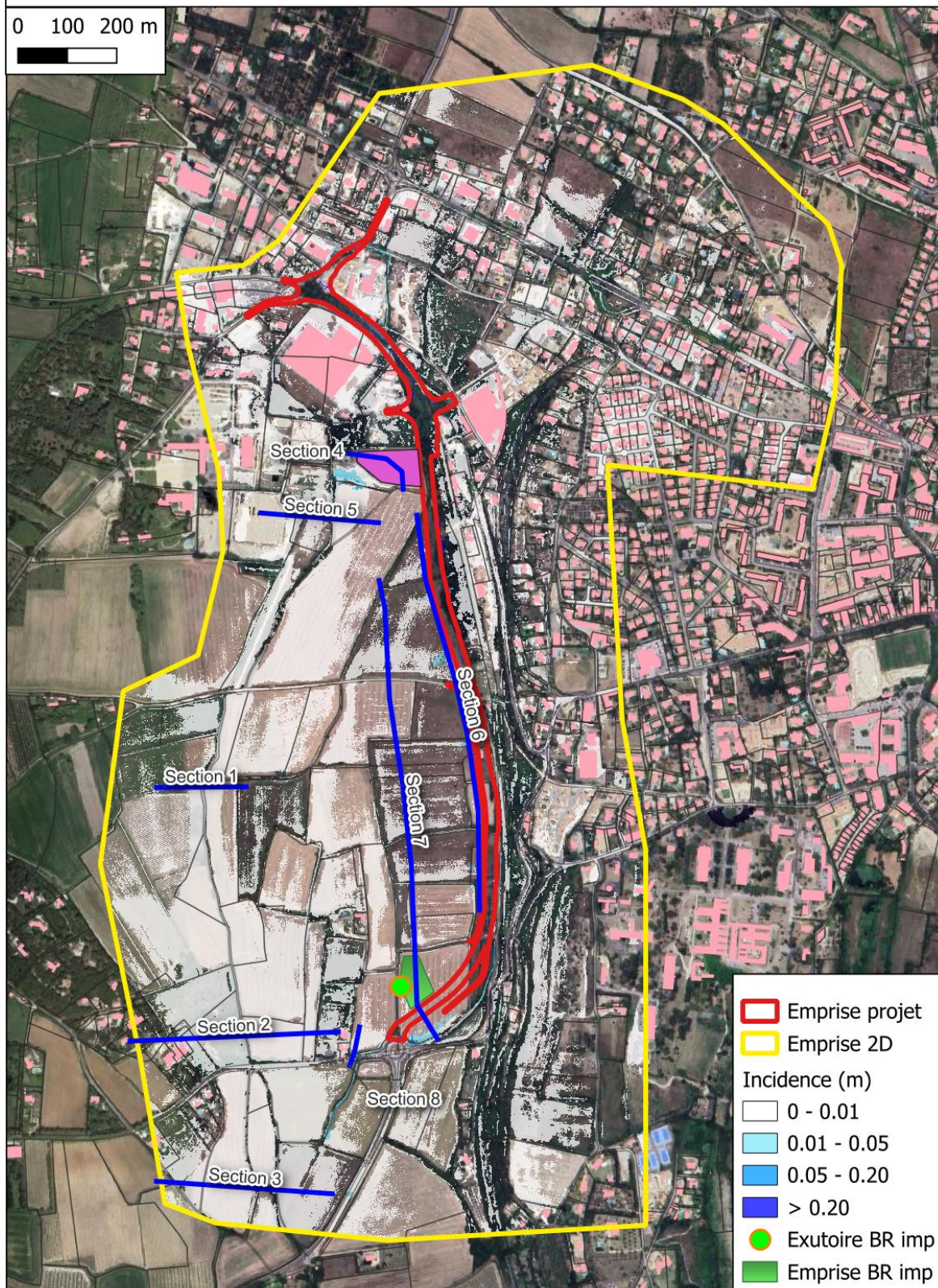
5.2. CARACTERISATION DES INCIDENCES

Les incidences de ces aménagements sont explicitées en suivant. Pour les hydrogrammes, sont rappelées les valeurs du projet initial à titre comparatif.

5.2.1. Cartographies des hauteurs d'eau et des incidences et en situation projet



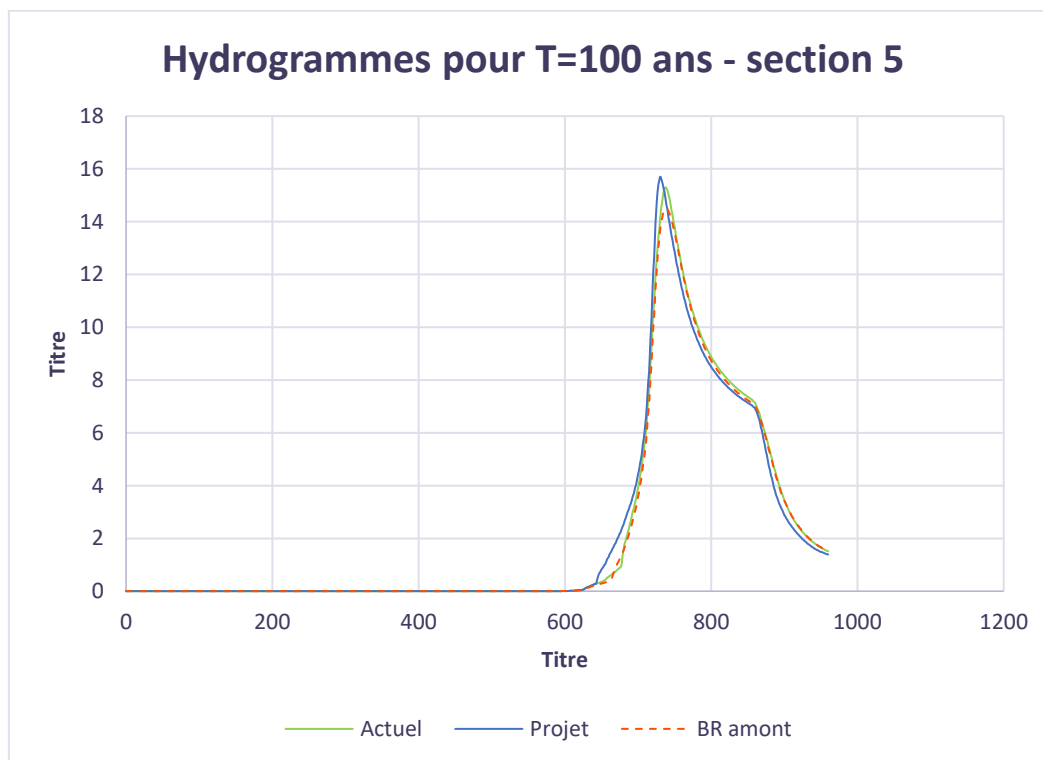
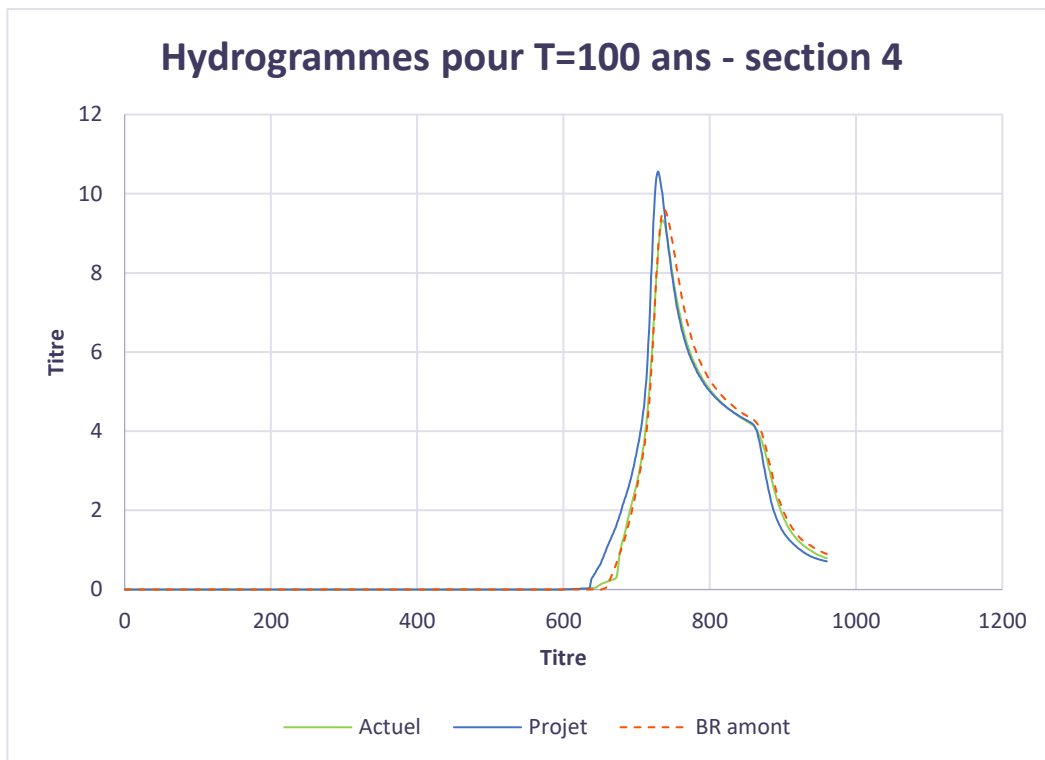
Projet avec mesures compensatoires - Incidences sur les hauteurs d'eau



5.2.2. Analyse

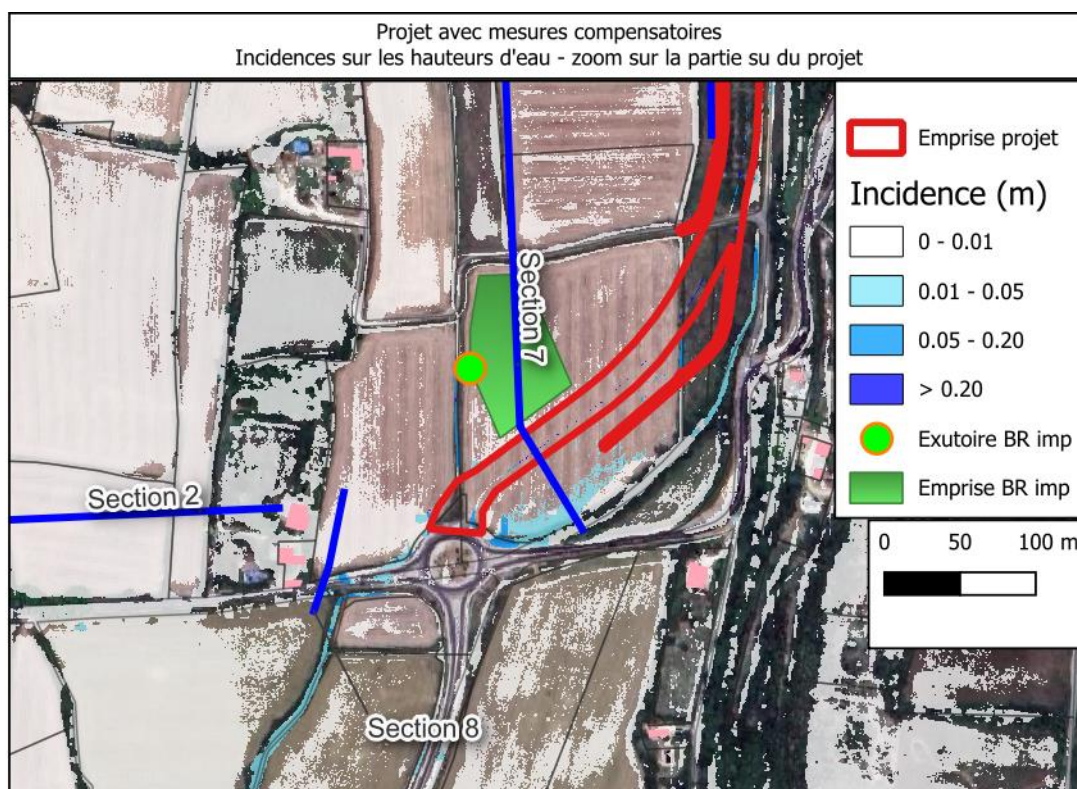
Sur le secteur amont, les hydrogrammes des sections 4 et 5 montrent bien que l'on arrive à compenser quasiment intégralement l'augmentation des débits et l'accélération des écoulements. La comparaison des débits au niveau de la section 5 montre même une légère amélioration par rapport à la situation actuelle (-1.1 m³/s).

La seule aggravation constatée sur la zone amont concerne l'aval immédiat du bassin, où la répartition des débits change forcément par rapport à la situation actuelle. Elle demeure cependant circonscrite à la parcelle concernée par le bassin, ce qui était l'objectif recherché par les aménagements.

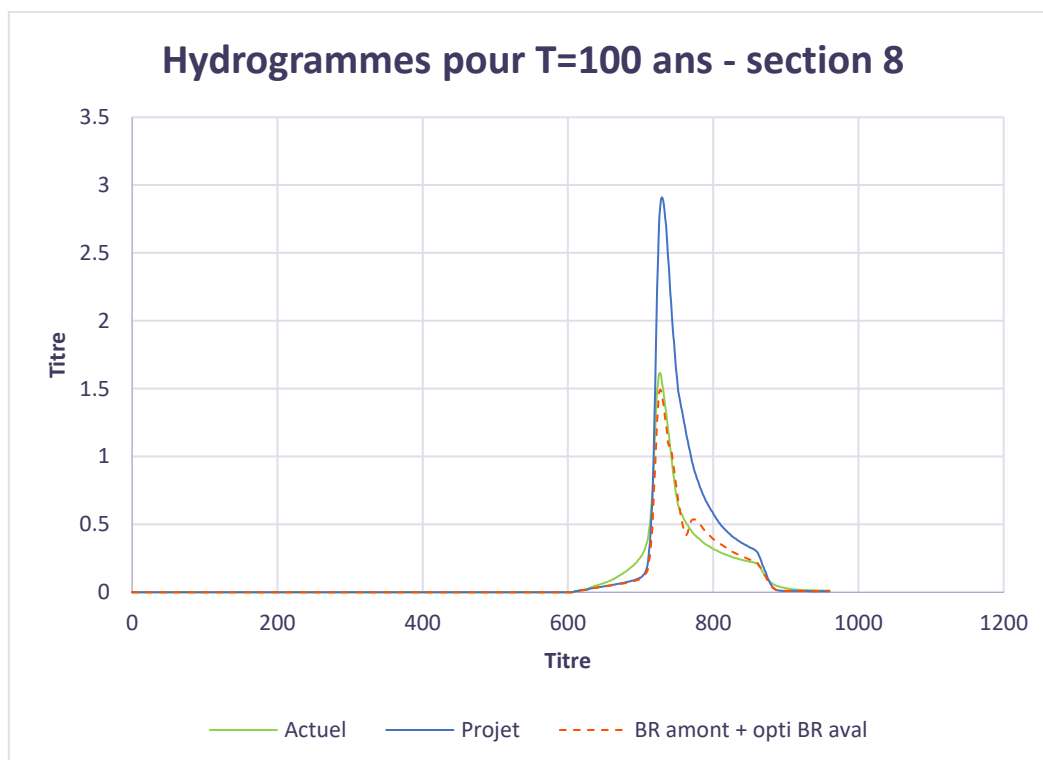


Sur le secteur médian, les aménagements proposés permettent de retrouver une répartition des écoulements très similaire à la situation actuelle, en évitant au maximum les phénomènes de concentration des écoulements diffus. Il n'y a donc plus d'incidence négative notable sur la zone.

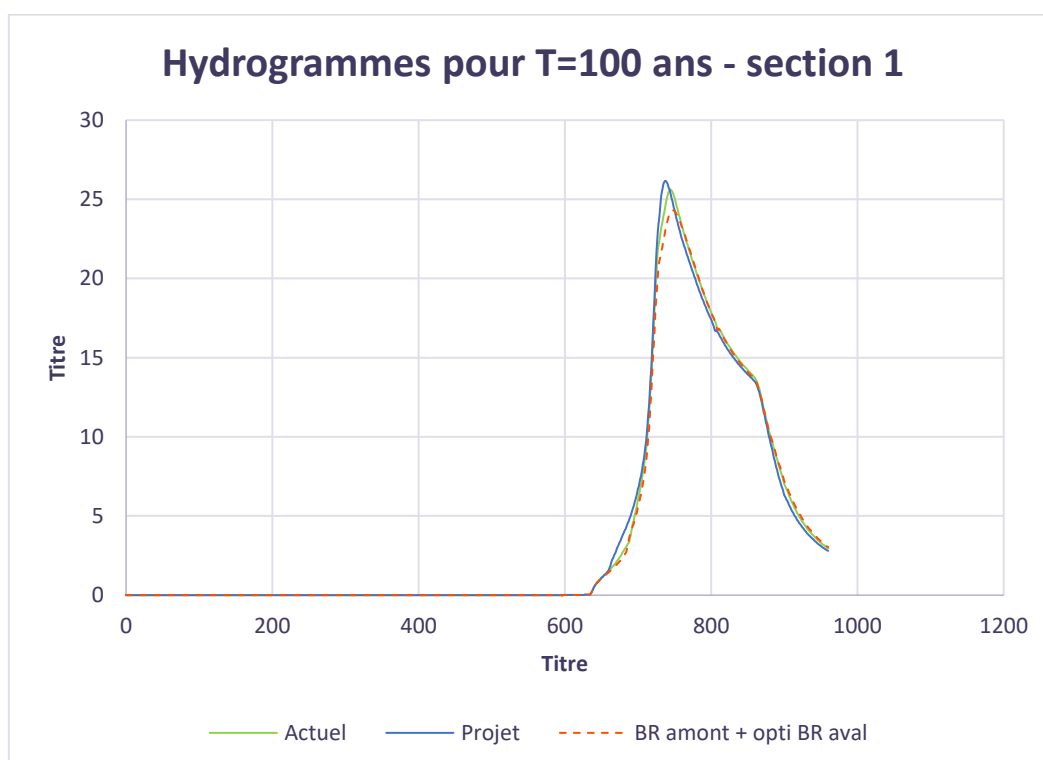
Au niveau des habitations, la mise en place des mesures préconisées précédemment aboutit à une situation équivalente à celle actuelle (cf. extrait cartographique ci-après) : l'optimisation du bassin de compensation permet donc de bien supprimer toute incidence négative sur les enjeux humains.



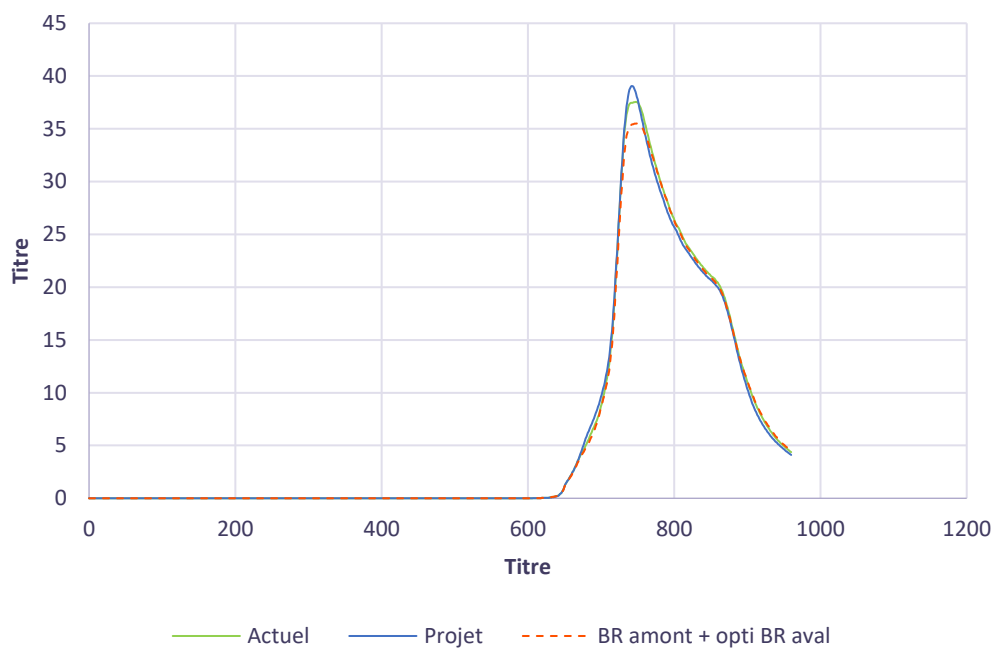
Ce point est confirmé par l'analyse des hydrogrammes au niveau de la section 8 : le débit de pointe après compensation est bien équivalent à celui de la situation actuelle.



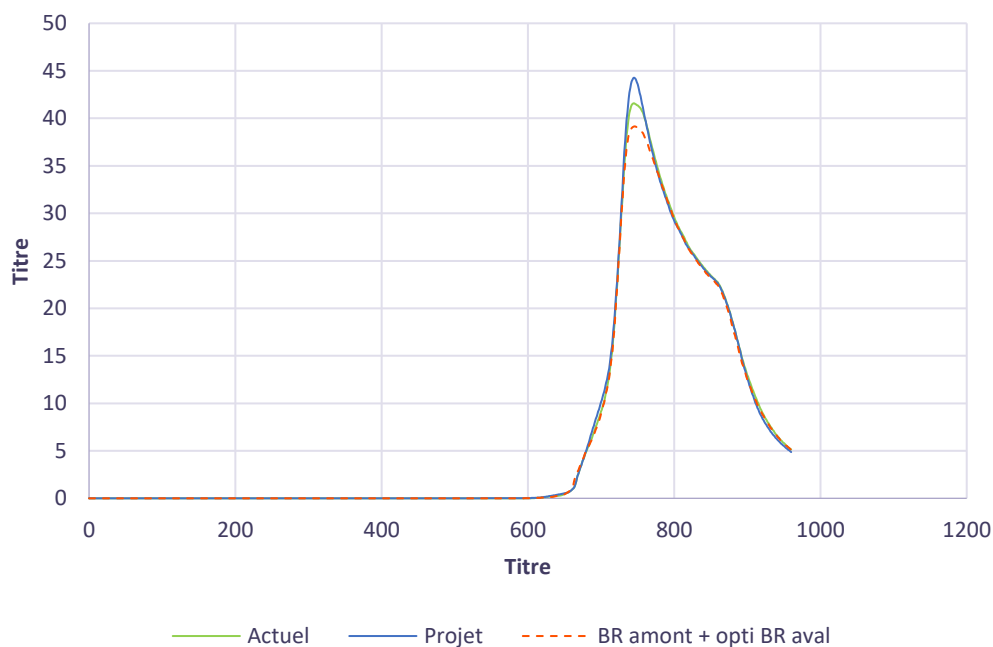
Sur le ruisseau de Font-Froide, l'incidence du bassin amont, cumulé à celle de l'optimisation du bassin de compensation, permet de retrouver une situation sans aggravation (voire une légère amélioration), avec un débit qui ne dépasse jamais celui de l'état actuel.



Hydrogrammes pour T=100 ans - section 2



Hydrogrammes pour T=100 ans - section 3



6. CONCLUSION

La présente étude avait pour objectif de caractériser l'incidence du projet sur le ruissellement et le milieu récepteur aval, le ruisseau de Font-Froide. Cette analyse a été réalisée sur la base d'une modélisation 2D.

Dans la configuration initiale du projet, il a été montré que :

- En déviant et chenalissant les écoulements amont, le projet permettait de soulager la zone Athezza – ZAC. Par contre, cela s'accompagnait d'une augmentation des débits à l'aval sur le ruisseau de Font-Froide ; les zones impactées sont cependant essentiellement agricoles ;
- Sur la partie médiane, le projet ne modifiait pas spécialement les écoulements : si les débits peuvent ponctuellement évoluer du fait d'une répartition légèrement différente, le débit d'apport total n'évolue quasiment pas. Les incidences sur le secteur sont limitées aux zones agricoles, et ne remettent pas en cause localement le mode de culture ;
- La seule zone où les incidences étaient significatives et préjudiciables est localisée sur la partie aval du projet, à l'ouest du rond-point sud. Ces incidences sont majoritairement liées au rejet du bassin de compensation à l'imperméabilisation.

Compte tenu des observations précédentes, il a été proposé un scénario d'aménagements afin de ne pas aggraver la situation actuelle. Les mesures compensatoires proposées sont les suivantes :

- Mise en place d'un bassin de rétention sur la partie amont du projet ;
- A l'aval du chenal de dérivation, reprise du fossé bordant le projet à l'Est, afin de conserver une répartition des écoulements globalement équivalente à la situation actuelle. Des noues de diffusion seront mises en place sur les zones concernées par des écoulements diffus ;
- Optimisation du fonctionnement du bassin de compensation à l'imperméabilisation (augmentation du volume) ;

Les modélisations ont montré que les aménagements proposés permettent de ne pas aggraver la situation actuelle sur les zones à enjeux.