



21AGS130

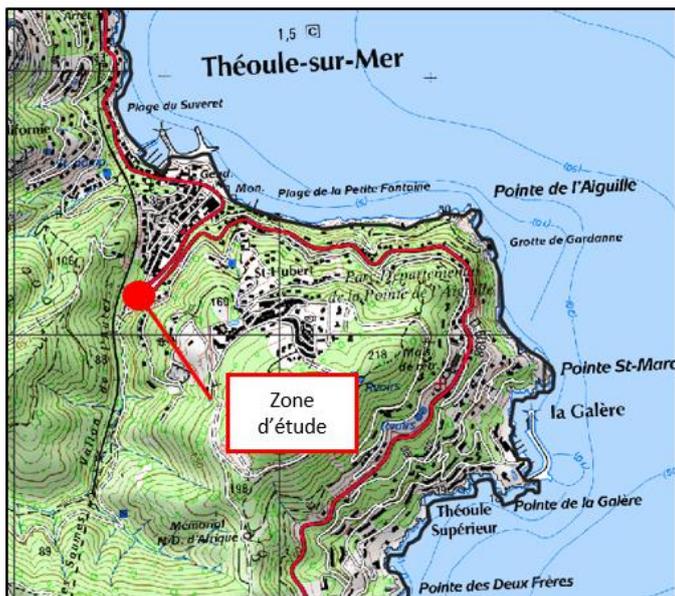
Décembre 2021

## Notice hydraulique

### Gestion du risque inondation

**Projet :** Construction d'un parc de stationnement

**Localisation :** Rue Jean Baptiste Pastor  
06 590 Théoule sur Mer





## TABLE DES MATIERES

---

<b>1</b>	<b>CONTEXTE ADMINISTRATIF</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OBJECTIFS DE L'ÉTUDE, LOCALISATION ET DESCRIPTION DU PROJET</b> .....	<b>2</b>
2.1	Objectif de l'étude et localisation du projet .....	2
2.2	Description de la situation existante .....	3
2.3	Composition du projet .....	4
<b>3</b>	<b>CONTEXTE HYDROGRAPHIQUE</b> .....	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>DESCRIPTION DES RISQUES D'INONDATION AU DROIT DU PROJET</b> .....	<b>8</b>
4.1	Risque de remontée de nappe .....	8
4.2	Atlas des Zones inondables.....	9
4.3	Plan de Prévention des Risques Inondation (PPRi).....	10
<b>5</b>	<b>IMPOSITIONS REGLEMENTAIRES EN MATIERE DU RISQUE INONDATION</b> .....	<b>11</b>
5.1	Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux Rhône-Méditerranée (SDAGE RM) .....	11
5.2	Au titre du Plan Local d'Urbanisme (PLU).....	12
5.3	Au titre de la Loi sur l'Eau .....	12
<b>6</b>	<b>IMPACTS DU PROJET EN TERMES D'INONDATION</b> .....	<b>14</b>
6.1	Objectif et méthodologie.....	14
6.2	Détermination de la crue centennale .....	15
6.2.1	Modélisation réalisée dans le cadre de la présente étude .....	15
6.2.2	Délimitation et caractéristiques du bassin versant .....	16
6.2.3	Estimation du débit de pointe par la méthode rationnelle .....	18
6.2.4	Détermination de la pluie de projet .....	20
6.2.5	Construction de l'hydrogramme de la crue centennale .....	22
6.3	Modélisation du risque inondation .....	24
6.3.1	Modèle utilisé .....	24
6.3.2	Emprise du modèle .....	25
6.3.3	Données topographiques.....	26
6.3.4	Coefficients de rugosité .....	27
6.3.5	Maillage du modèle .....	28

6.3.6	Conditions aux limites.....	30
6.3.7	Conduites en amont du parking.....	31
6.3.8	Topographie en situation projetée .....	32
6.3.9	Modélisation de la crue centennale .....	33
6.3.10	Modélisation de la crue de référence.....	36
6.3.11	Analyse du risque d'embâcle .....	41
<b>7</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>47</b>

## LISTE DES TABLEAUX ET ILLUSTRATIONS

Illustration 1 : Localisation de la zone d'étude .....	2
Illustration 2 : Emprises du projet à Théoule-sur-Mer.....	3
Illustration 3 : Organisation de la zone existante et emprise du projet .....	4
Illustration 4 : Plan des aménagements paysagers : vue toiture .....	4
Illustration 5 : Coupe transversale et éléments par niveau .....	5
Illustration 6 : Coupe longitudinale - Façade vue du nord-ouest .....	5
Illustration 7 : Contexte hydrologique global autour de la zone .....	6
Illustration 8 : Graphe de capacité de l'Autel .....	7
Illustration 9 : Aménagements prévus sur le vallon de l'Autel .....	7
Illustration 10 : Carte du risque de remontée de nappe au droit du projet .....	8
Illustration 11 : Atlas des Zones Inondables à proximité de la zone d'étude .....	10
Illustration 12 : Principales étapes d'une étude hydrologique .....	16
Illustration 13 : Délimitation du bassin versant intercepté par l'emprise du projet .....	16
Illustration 14 : Représentation schématique des courbes IDF .....	18
Illustration 15 : Représentation schématique d'une pluie double triangle .....	21
Illustration 16 : Hyétoگرامme de pluie d'occurrence 100 ans obtenu avec la méthode du double triangle.....	21
Illustration 17 : Schématisation de la fonction de transfert .....	22
Illustration 18 : Schématisation de la méthode du réservoir linéaire .....	22
Illustration 19 : Hydrogramme de la crue centennale .....	24
Illustration 20 : Hydrogramme de la crue exceptionnelle .....	24
Illustration 21 : Principales étapes liées à la construction d'un modèle hydraulique .....	25
Illustration 22 : Emprise du modèle et réseau hydrographique à proximité du projet .....	26
Illustration 23 : Données topographiques exploitées pour la modélisation hydraulique .....	26
Illustration 24 : Occupation du sol au niveau de l'emprise du modèle .....	27
Illustration 25 : Maillages et lignes de structure au niveau de l'emprise du modèle .....	29
Illustration 26 : Contraintes amont et aval du modèle.....	30
Illustration 27 : Position des conduites en amont du parking .....	31
Illustration 28 : Topographie au droit du projet en situation projetée .....	32
Illustration 29 : Hauteurs d'eau maximales et sens des écoulements pour l'évènement centennal en situation existante au droit du projet.....	33
Illustration 30 : Vitesses des écoulements pour l'évènement centennal au droit du projet en situation existante .....	34
Illustration 31 : Hauteurs d'eau maximales modélisées pour une crue centennale en situation projetée .....	35
Illustration 32 : Vitesses des écoulements modélisées pour une crue centennale en situation projetée .....	35
Illustration 33 : Hauteurs d'eau maximales modélisées pour une crue centennale augmentée de 20% en situation existante .....	36
Illustration 34 : Vitesses d'écoulement maximales modélisées pour une crue centennale augmentée de 20% en situation existante.....	37
Illustration 35 : Hauteurs d'eau maximales modélisées pour une crue centennale augmentée de 20% en situation projetée .....	38
Illustration 36 : Vitesses d'écoulement maximales modélisées pour une crue centennale augmentée de 20% en situation projetée.....	38
Illustration 37 : Régime d'écoulement dans la buse du vallon de l'Autel.....	39
Illustration 38 : Hauteurs d'eau maximales modélisées pour une crue exceptionnelle au droit de l'entrée du rez-de-chaussée .....	40
Illustration 39 : Hauteurs d'eau maximales modélisées pour une crue exceptionnelle au droit de la sortie des véhicules au niveau R+1 .....	40

Illustration 40 : Hauteurs d'eau maximales modélisées pour une crue centennale avec la buse en amont bouchée en situation existante .....	41
Illustration 41 : Vitesses d'écoulement maximales modélisées pour une crue centennale avec la buse en amont bouchée en situation existante .....	42
Illustration 57 : Hauteurs d'eau maximales modélisées pour une crue centennale avec la buse en amont bouchée en situation projetée .....	43
Illustration 58 : Vitesses d'écoulement maximales modélisées pour une crue centennale avec la buse en amont bouchée en situation projetée .....	43
Illustration 44 : Localisation des trois points où est réalisée l'analyse de sensibilité .....	44
Illustration 45 : Taux de variation de la hauteur d'eau modélisée en fonction de la variation des débits du modèle (pourcentage) .....	45
Illustration 46 : Variation de la hauteur d'eau maximale modélisée en fonction de la variation des débits du modèle (centimètres) .....	45
Illustration 47 : Taux de variation de la hauteur d'eau modélisée en fonction de la variation des coefficients de rugosité du modèle (pourcentage) .....	46
Illustration 48 : Variation de la hauteur d'eau maximale modélisée en fonction de la variation des coefficients de rugosité du modèle (centimètres).....	46
Tableau 1 : Rubriques de la nomenclature « Loi sur l'Eau » concernées par le projet.....	13
Tableau 2 : Tableau récapitulatif des cartes en annexe .....	15
Tableau 3 : Comparaison des méthodes de calcul du temps de concentration .....	17
Tableau 4 : Calcul du temps de concentration du-bassin de la zone d'étude .....	17
Tableau 5 : Coefficients de Montana de la station météorologique de Cannes.....	19
Tableau 6 : Coefficients de ruissellement pour les différentes affectations du sol .....	20
Tableau 7 : Débit de pointe et volume ruisselé déterminés avec la méthode du réservoir linéaire pour des évènements pluvieux d'occurrence 100 ans .....	23
Tableau 8 : Coefficients de Manning associés à chaque occupation de sol .....	27
Tableau 9 : Caractéristiques des conduites en situation existante.....	31
Tableau 10 : Caractéristiques de la buse déviée en situation projetée .....	32

## CONTEXTE ADMINISTRATIF

Commanditaire de l'étude	Rédacteur de l'étude
<p><b>VILLE DE THEOULE SUR MER</b></p>  <p>1, Place Général Bertrand 06 590 Théoule sur Mer</p> <p>Contact :</p> <p>M. Le Maire Georges BOTELLA E-mail : <a href="mailto:mairie@ville-theoulesurmer.fr">mairie@ville-theoulesurmer.fr</a> Fixe : +33 (0)4 92 97 47 77</p>	<p><b>AQUAGEOSPHERE</b></p>  <p>13, Avenue des Maquisards 13 126 Vauvenargues</p> <p>Contact :</p> <p>Savannah ROGIVUE E-mail : <a href="mailto:s.rogivue@aquageosphere.com">s.rogivue@aquageosphere.com</a> Fixe : +33 (0)4 42 57 69 27</p>

<i>Version</i>	<i>Date</i>	<i>Rédaction</i>	<i>Vérification</i>
V1	28/09/2021	S. Rogivue	T. Soudy
V2	01/12/2021	S. Rogivue	T. Soudy

## OBJECTIFS DE L'ETUDE, LOCALISATION ET DESCRIPTION DU PROJET

### 2.1 Objectif de l'étude et localisation du projet

La ville de Théoule-sur-Mer porte le projet de construction d'un pôle multifonction comportant un parc de stationnement, la Maison de l'Estérel et un accès piéton au parc de l'Estérel. Ce projet consiste en la démolition du parking existant de la rue Jean Baptiste Pastor, de la route adjacente et du terrain de sport et en la construction d'une nouvelle route, du parking et d'une passerelle piétonne vers les sentiers du parc de l'Estérel. Le dévoiement de la buse du vallon de l'Autel est également prévu.

Le rez-de-chaussée abritera une partie du parking public dont les véhicules utiliseront une entrée/sortie depuis la rue Jean Baptiste Pastor. Le reste du parking public occupera les trois niveaux supérieurs. La sortie du parking public qui rejoint également la rue Jean Baptiste Pastor se trouve au niveau bas et l'entrée se fait au niveau haut depuis le boulevard de la corniche d'Or. Le toit sera réservé aux piétons et inclura un local communal, la maison de l'Estérel et des espaces verts. L'accès pompier au parc de l'Estérel se trouve au sud du projet.

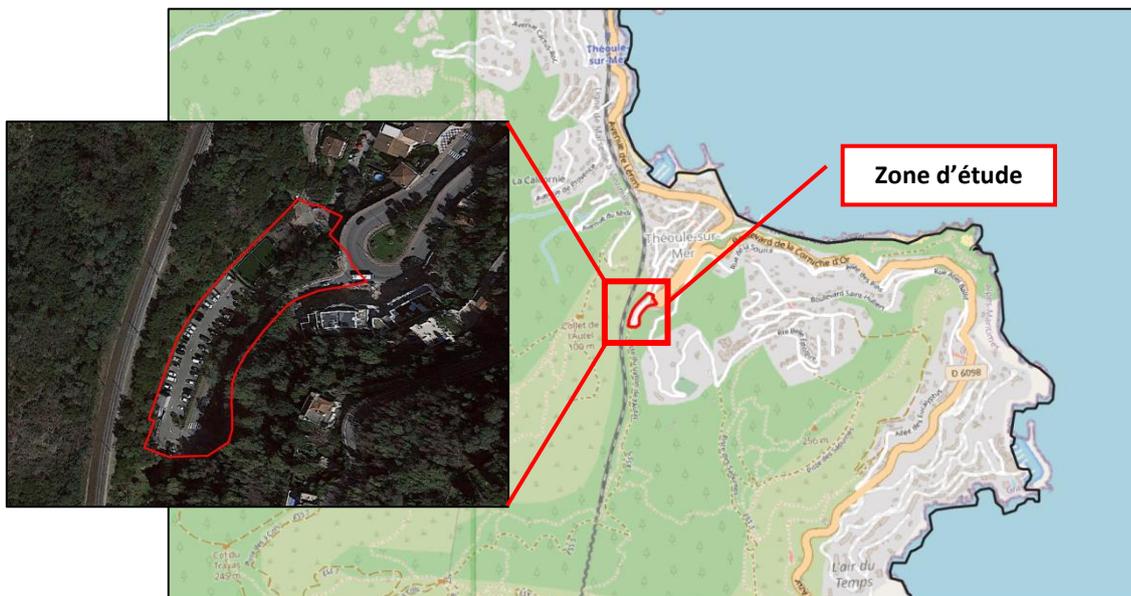


Illustration 1 : Localisation de la zone d'étude

L'emprise totale du projet est de 5 202 m<sup>2</sup> pour le parc de stationnement et de 878 m<sup>2</sup> pour la passerelle d'accès au parc de l'Estérel. L'emprise au sol du bâtiment est de 3 130 m<sup>2</sup>.

L'objectif de la commune est de diminuer le nombre de véhicules dans le centre-ville de Théoule-sur-Mer. Le projet favorisera le stationnement à l'extérieur du centre et l'accès piéton des visiteurs.

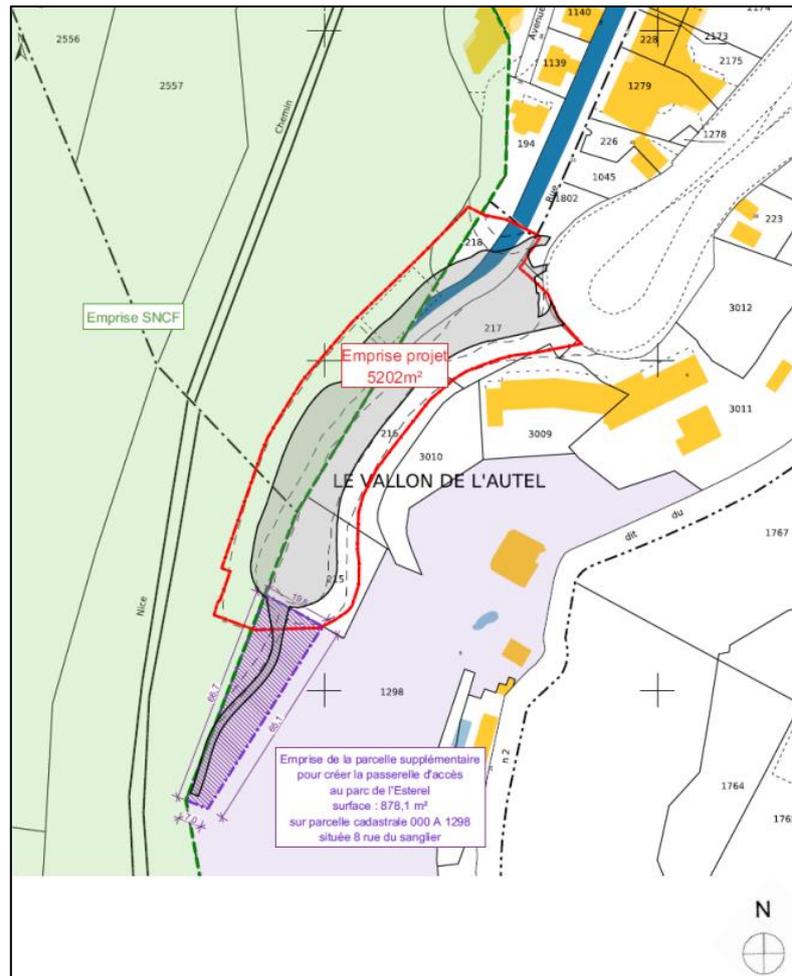


Illustration 2 : Emprises du projet à Théoule-sur-Mer (Source : Atelier du Pont, 2021)

## 2.2 Description de la situation existante

Comme illustré dans la figure ci-dessous, la zone concernée par le projet est actuellement occupée par les équipements suivants :

- La rue Jean-Baptiste Pastor ;
- Le parking existant ;
- Une aire sportive avec un petit terrain de football et une table de ping-pong.

Le parking existant dans la rue Jean-Baptiste Pastor accueille 43 places. L'emprise du projet se trouve sur les parcelles 215, 216, 217, 218, 726, 2361, 2362 et 1298 dans la section A du plan cadastral de la ville de Théoule-sur-Mer. Certaines de ces parcelles sont traversées par une voie ferrée de la SNCF. Le terrain existant se trouve à une altitude comprise entre environ 8 m NGF et 22,3 m NGF.

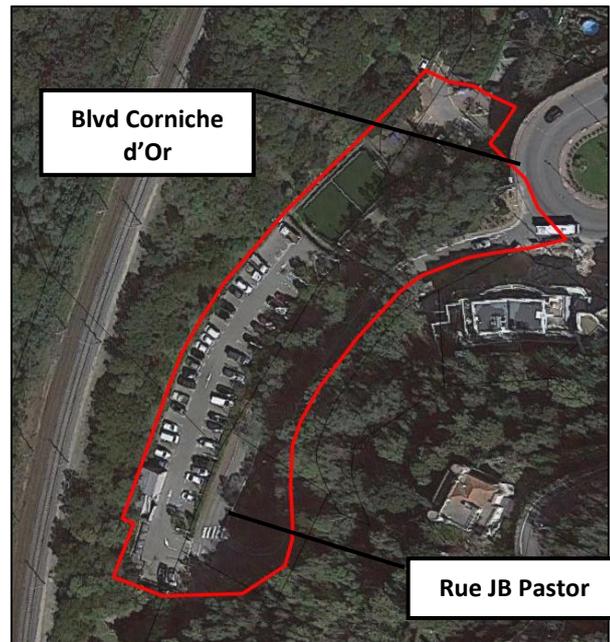


Illustration 3 : Organisation de la zone existante et emprise du projet

## 2.3 Composition du projet

Le projet de réaménagement du parc de stationnement consiste en la construction d'un parking public accédant au parc naturel de l'Estérel, d'un local communal, de la maison de l'Estérel et en l'aménagement d'une promenade paysagère vers les sentiers du parc de l'Estérel.

La cote prévue pour le rez-de-chaussée est de 9,74 m NGF au niveau de l'entrée des véhicules à 10,49 m NGF au fond du bâtiment. Ainsi le plancher du rez-de-chaussée sera en pente. La nouvelle voirie contournera le bâtiment par l'ouest et s'élèvera pour rejoindre le Boulevard de la Corniche d'Or. La surface extérieure de voirie est de 2 047 m<sup>2</sup>

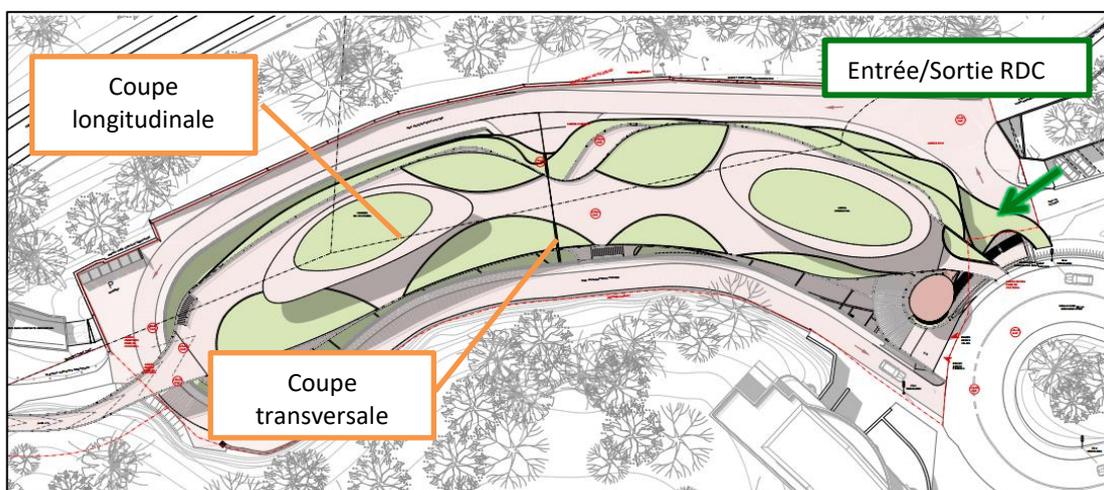


Illustration 4 : Plan des aménagements paysagers : vue toiture (Source : Atelier du Pont, 2021)

Le bâtiment « Les Portes de l'Estérel » est composé de cinq niveaux, dont quatre sont occupés par le parking public. Le nombre de places prévues pour le parking est de 207 places pour véhicules légers et 8 places de parking pour les Personnes à Mobilité Réduite (PMR). La répartition par niveau des aménagements du projet est présentée en page suivante :

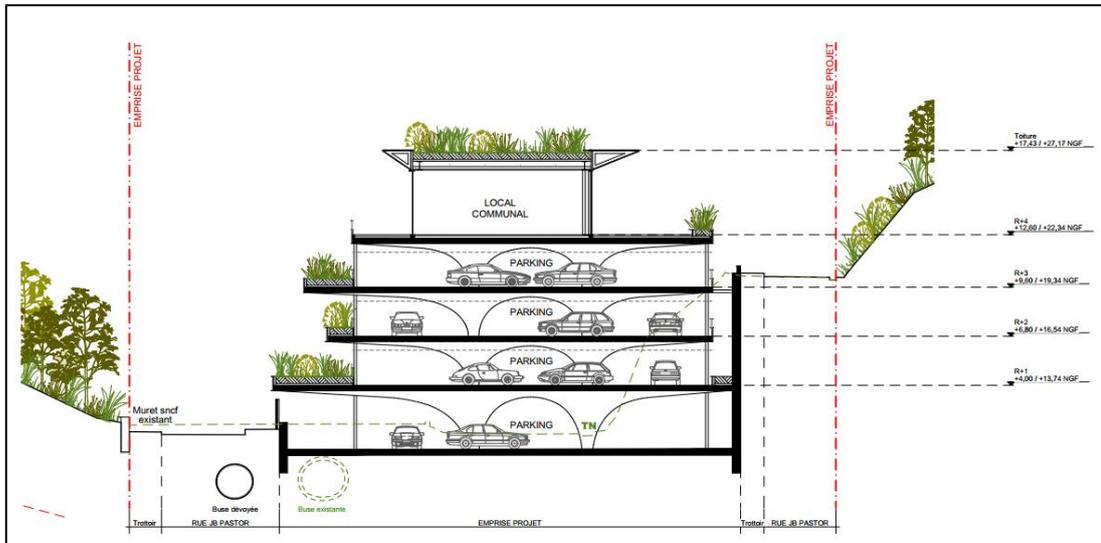


Illustration 5 : Coupe transversale et éléments par niveau (Source : Atelier du Pont, 2021)

Le rez-de-chaussée abritera une partie des places de parking. Les véhicules disposeront d'une entrée et d'une sortie donnant sur la rue Jean Baptiste Pastor. Le parking public occupera les quatre étages. Toutes les entrées et les sorties du bâtiment se font dans la partie nord du projet. L'entrée du parking public se fera sur le niveau haut depuis le boulevard de la Corniche d'Or et la sortie se fait au niveau R+1 et rejoint la rue Jean Baptiste Pastor en contre-bas. Le toit sera réservé aux piétons et inclura un local communal, la Maison de l'Estérel et des espaces verts. Les piétons accèdent à la passerelle vers l'Estérel par la Corniche d'Or. Un autre accès piéton vertical au nord du parking est accessible depuis la rue Jean Baptiste Pastor et permet aussi la desserte du parking.



Illustration 6 : Coupe longitudinale - Façade vue du nord-ouest (Source : Atelier du Pont, 2021)

D'une largeur de 22 m dans la direction est-ouest et d'une longueur de 120 m dans la direction nord-sud, le rez-de-chaussée se fondera dans la pente du terrain naturel existant.

## CONTEXTE HYDROGRAPHIQUE

Le projet se situe dans le vallon de l'Autel. Ce dernier se rejette dans la mer Méditerranéenne qui se trouve 450 m à l'aval du projet. Il prend sa source sur le territoire de la commune de Théoule-sur-Mer à proximité du Mémorial de Notre Dame d'Afrique. Ce vallon draine un bassin versant d'environ 160 ha.



Illustration 7 : Contexte hydrologique global autour de la zone

En amont de la zone d'étude, trois buses sont présentes le long du vallon.

*Voir chapitre 6.3.7 : Conduites en amont du parking*

L'Autel est entièrement canalisé à partir de l'entrée amont de la zone de projet jusqu'à la mer. Les parties canalisées du vallon sont sous-dimensionnées pour la crue centennale au niveau du centre-ville de Théoule-sur-Mer et des débordements ont eu lieu dans le centre-ville en 2019. Lors de cet événement, les fortes pluies ont engendré d'importants volumes d'eau dans l'ouvrage dont l'évacuation a été bloquée par la forte houle.

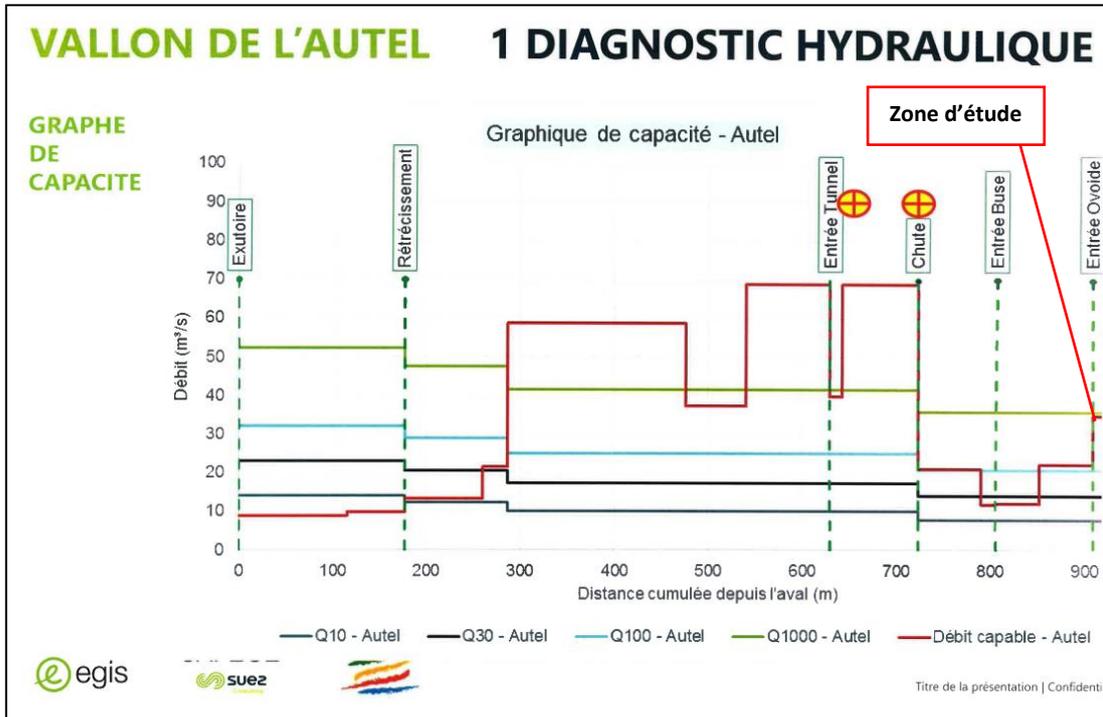


Illustration 8 : Graphe de capacité de l’Autel (Source : PAPI CACPL, octobre 2019)

Pour information, un recalibrage de l’ouvrage dans le cœur du centre-ville a été inscrit dans le PAPI de la CACPL. Il est prévu pour après 2026.



Illustration 9 : Aménagements prévus sur le vallon de l’Autel (Source : PAPI CACPL, octobre 2019)

En situation existante, les eaux pluviales ruisselant sur la zone d’étude sont rejetées dans la buse de l’Autel.

## DESCRIPTION DES RISQUES D'INONDATION AU DROIT DU PROJET

### 4.1 Risque de remontée de nappe

La carte nationale de sensibilité de remontée de nappe a été élaborée par le BRGM en janvier 2018 sur la base de données piézométriques et altimétriques. L'interpolation spatiale des niveaux d'eau souterraine a permis de définir les isopièzes des cotes maximales probables. Une comparaison de ces dernières avec l'altimétrie a permis d'obtenir les valeurs de débordements potentiels des nappes souterraines.

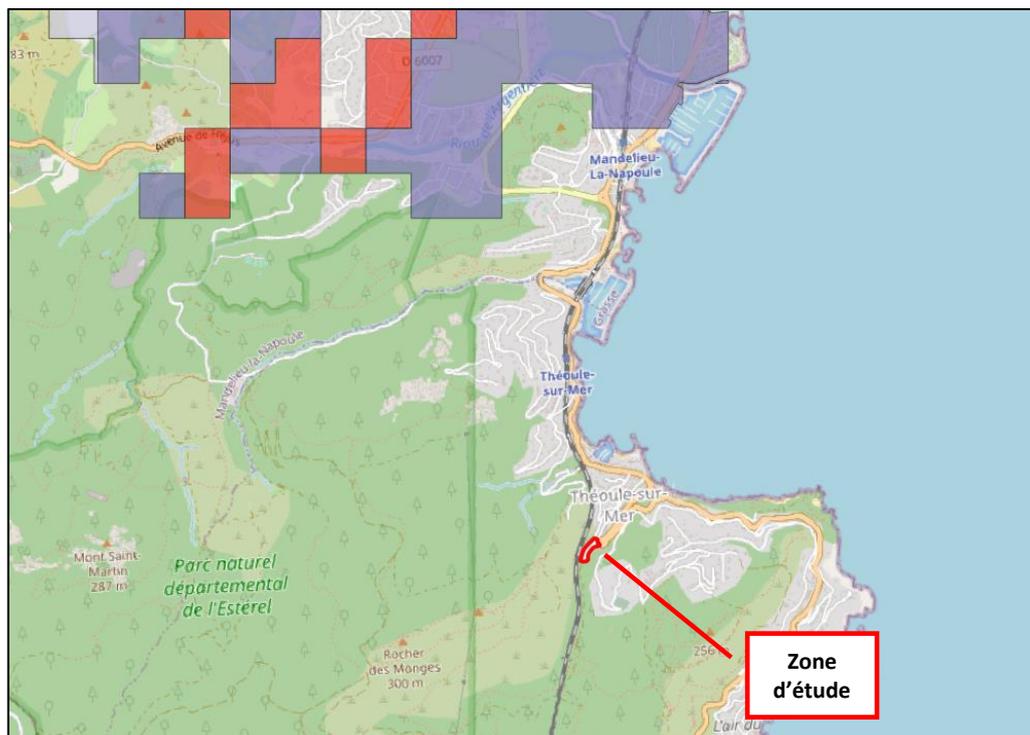


Illustration 10 : Carte du risque de remontée de nappe au droit du projet (Source : Georisques)

La cartographie résultante permet d'identifier les **zones où il existe un risque de débordement par remontée de nappe**. En raison du manque d'homogénéité des données disponibles (géologie, relief, durée des mesures), l'interpolation a abouti à un maillage du territoire relativement grossier avec des mailles de 250 m de côté (1/100 000). L'objectif est de fournir une appréciation générale de la problématique de remontée de nappe sans surinterpréter les données et d'inciter à la réalisation d'études complémentaires.

On distingue ainsi les « zones potentiellement sujettes aux débordements de nappe » qui correspondent aux emplacements où le niveau maximal de la nappe est supérieur au terrain naturel, et des « zones potentiellement sujettes aux inondations de cave » qui correspondent aux emplacements où le niveau maximal de la nappe est compris entre 0 et 5 m sous le terrain naturel.

Il convient de noter que la carte de sensibilité n'est pas représentative de la réalité dans les situations suivantes :

- Etudes locales avec une résolution fine (échelle inférieure à 1/100 000) ;
- Secteurs avec terrains affleurants imperméables ;
- Zones karstiques ;
- Zones urbaines.

La figure précédente montre que **le projet ne se situe pas en zone d'aléa pour le risque de débordement de nappes**. L'étude des niveaux piézométriques est en cours de réalisation par le bureau d'étude FUGRO, le niveau du toit de la nappe sera spécifié ultérieurement.

## 4.2 Atlas des Zones inondables

L'Atlas des Zones Inondables (AZI) a été défini au moyen de la méthode hydrogéomorphologique. L'analyse hydrogéomorphologique est une approche naturaliste fondée sur la compréhension du fonctionnement naturel de la dynamique des cours d'eau (érosion, transport, sédimentation) au cours de l'histoire. Elle consiste à étudier finement la morphologie des plaines alluviales et à retrouver sur le terrain les limites physiques associées aux différents lits (mineur, moyen, majeur) qui ont été façonnés par les crues passées.

La cartographie produite par l'analyse hydrogéomorphologique permet de disposer d'une vision globale et homogène des champs d'inondation sur l'ensemble des secteurs traités en pointant, à un premier niveau, les zones les plus vulnérables au regard du bâti et des équipements existants.

**L'information fournie reste cependant essentiellement qualitative à savoir qu'elle ne donne aucune information en termes de hauteur de submersion, de vitesse d'écoulement ou d'occurrence.** C'est pourquoi, dans les secteurs où les enjeux sont importants notamment en termes d'urbanisation ou d'aménagement, elle se prête à être complétée ultérieurement par des approches hydrologiques et hydrauliques.

**Le projet est repris en zone inondable d'après la carte ci-dessous.** Le projet est situé dans le lit majeur du vallon de l'Autel, mais suite aux échanges avec la DDTM 06 cette zone est considérée comme le lit mineur de l'Autel.



Illustration 11 : Atlas des Zones Inondables à proximité de la zone d'étude

### 4.3 Plan de Prévention des Risques Inondation (PPRi)

Le PPRi vise, en application de l'article L.562-1 du code de l'Environnement, à interdire les implantations humaines (habitations, établissements publics, activités économiques, etc.) dans les zones les plus dangereuses où la sécurité des personnes ne pourrait être garantie et à les limiter dans les autres zones inondables. Le PPRi vise également à préserver la capacité d'écoulement des cours d'eau et leur champ d'expansion des crues en limitant les aménagements en zones vulnérables. Il prévoit d'une part des dispositions pour les projets nouveaux et d'autre part des mesures de réduction de la vulnérabilité, dites de mitigation, sur le bâti existant.

**Aucun PPRi n'existe sur la commune de Théoule-sur-Mer.** Du fait de son contexte hydrologique, Théoule-sur-Mer a été nettement moins impactée par les inondations que le reste du territoire.

Selon le Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs, la ville de Théoule est sujette à des inondations générées par le débordement du réseau d'assainissement pluvial en centre-ville.

## IMPOSITIONS REGLEMENTAIRES EN MATIERE DU RISQUE INONDATION

### 5.1 Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux Rhône-Méditerranée (SDAGE RM)

Le 20 novembre 2015, le comité de bassin a adopté le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) 2016-2021 et a donné un avis favorable au Programme de mesures qui l'accompagne. Ces deux documents ont été arrêtés par le Préfet coordonnateur de bassin le 3 décembre 2015 et sont entrés en vigueur le 21 décembre 2015 consécutivement à la publication de l'arrêté au Journal officiel de la République française. Ils fixent la stratégie 2016-2021 du bassin Rhône-Méditerranée pour l'atteinte du bon état des milieux aquatiques ainsi que les actions à mener pour atteindre cet objectif.

Neuf orientations fondamentales traitent les grands enjeux de la gestion de l'eau :

- OF 0 : S'adapter aux effets du changement climatique
- OF 1 : Privilégier la prévention et les interventions à la source pour plus d'efficacité
- OF 2 : Concrétiser la mise en œuvre du principe de non dégradation des milieux aquatiques
- OF 3 : Prendre en compte les enjeux économiques et sociaux des politiques de l'eau et assurer une gestion durable des services publics d'eau et d'assainissement
- OF 4 : Renforcer la gestion de l'eau par bassin versant et assurer la cohérence entre aménagement du territoire et gestion de l'eau
- **OF 5 : Lutter contre les pollutions, en mettant la priorité sur les pollutions par les substances dangereuses et la protection de la santé**
- OF 6 : Préserver et restaurer le fonctionnement naturel des milieux aquatiques et des zones humides
- OF 7 : Atteindre l'équilibre quantitatif en améliorant le partage de la ressource en eau et en anticipant l'avenir
- **OF 8 : Augmenter la sécurité des populations exposées aux inondations en tenant compte du fonctionnement naturel des milieux aquatiques**

Ces orientations visent à économiser l'eau et à s'adapter au changement climatique, réduire les pollutions et protéger la santé, préserver la qualité des rivières et de la Méditerranée, restaurer les cours d'eau en intégrant la prévention des inondations, préserver les zones humides et la biodiversité.

Dans le cadre de l'étude, les dispositions suivantes sont concernées :

- 5A-04 : « Éviter, réduire et compenser l'impact des nouvelles surfaces imperméabilisées » relative à la gestion des eaux pluviales ;
- 8-03 : « Éviter les remblais en zones inondables » relative à la gestion du risque inondation.

Dans la disposition 5A-04, il est indiqué que « **tout projet doit viser a minima la transparence hydraulique de son aménagement vis-à-vis du ruissellement des eaux pluviales en favorisant l'infiltration ou la rétention à la source** (noues, bassins d'infiltration, chaussées drainantes, toitures végétalisées, etc.).

De manière générale, l'infiltration est privilégiée dès lors que la nature des sols le permet et qu'elle est compatible avec les enjeux sanitaires et environnementaux du secteur (protection de la qualité des eaux souterraines, protection des captages d'eau potable), à l'exception des dispositifs visant à la rétention des pollutions.

Parmi les différentes dispositions émises au sein de cette orientation n°8, il convient d'être plus particulièrement attentif à **la disposition 8-03 : Éviter les remblais en zones inondables**.

Il est ainsi demandé que « *tout projet soumis à autorisation ou déclaration en application des articles L. 214-1 à L. 214-6 du code de l'environnement doit chercher à éviter les remblais en zone inondable. (...)*

*Si aucune alternative au remblaiement n'est possible, le projet doit respecter l'objectif de limitation des impacts sur l'écoulement des crues en termes de ligne d'eau et en termes de débits. (...) Lorsque le remblai se situe dans un champ d'expansion de crues, la compensation doit être totale (...) vis-à-vis de la ligne d'eau et en considérant le volume soustrait aux capacités d'expansion des crues, c'est-à-dire viser l'absence d'impact vis-à-vis de la ligne d'eau et en termes de volume soustrait aux capacités d'expansion des crues, et se faire dans la zone d'impact hydraulique du projet ou dans le même champ d'expansion de crues. La compensation en volume correspond à 100 % du volume prélevé sur le champ d'expansion de crues pour la crue de référence et doit être conçue de façon à être progressive et également répartie pour les événements d'occurrence croissante : compensation « cote pour cote ».*

## 5.2 Au titre du Plan Local d'Urbanisme (PLU)

La commune de Théoule-sur-Mer ne comporte pas de Plan Local d'Urbanisme (PLU) et est uniquement soumise aux impositions du règlement National d'Urbanisme (RNU). **Aucune imposition particulière en matière de risque inondation n'y est indiquée.**

## 5.3 Au titre de la Loi sur l'Eau

En application des articles L 214-1 et suivants du code de l'environnement, « *sont soumis à déclaration de l'autorité administrative les installations, ouvrages, travaux et activités susceptibles de présenter des dangers pour la santé et la salubrité publique, de nuire au libre écoulement des eaux, de réduire la ressource en eau, d'accroître notablement le risque inondation, de porter atteinte gravement à la qualité de l'eau ou à la diversité du milieu aquatique.* »

Les travaux d'aménagement sont définis dans la nomenclature issue de l'article R 214-1 du code de l'environnement. La rubrique susceptible d'être visée dans le cadre du projet est reprise dans le tableau suivant.

N°	Rubrique	Régime	Régime concerné
2.1.5.0	Rejet d'eau pluviales dans les eaux douces superficielles ou sur le sol ou dans le sous-sol, la surface totale du projet, augmentée de la surface correspondant à la partie du bassin interceptés par le projet, étant supérieur à 20 ha.	Autorisation	<b>Autorisation</b>
3.1.2.0	Installation, ouvrages, travaux, activités conduisant à modifier le profil en long ou le profil en travers du lit mineur d'un cours d'eau, à l'exclusion de ceux visés à la rubrique 3.1.4.0, ou conduisant à la dérivation d'un cours d'eau.		
	Sur une longueur de cours d'eau supérieure ou égale à 100 m	Autorisation	<b>Autorisation</b>
	Sur une longueur de cours d'eau inférieure à 100 m	Déclaration	
3.2.2.0	Installations, ouvrages, remblais dans le lit majeur d'un cours d'eau :		
	1. Surface soustraite supérieure ou égale à 10 000 m <sup>2</sup>	Autorisation	
	2. Surface soustraite supérieure ou égale à 400 m <sup>2</sup> et inférieure à 10 000 m <sup>2</sup>	Déclaration	<b>Déclaration</b>

Tableau 1 : Rubriques de la nomenclature « Loi sur l'Eau » concernées par le projet

La surface du bassin intercepté par le projet est de 160 ha et les eaux pluviales seront rejetées dans le vallon de l'Autel. **Le projet est soumis à autorisation pour la rubrique 2.1.5.0.**

**La rubrique 3.1.2.0 nécessite également un dossier d'autorisation** car le projet prévoit le dévoiement qui conduit à la modification du profil en long d'un cours d'eau sur un linéaire d'environ 107 mètres.

Le projet se situe dans le lit mineur du Vallon de l'Autel selon l'AZI. A ce titre, **la rubrique 3.2.2.0 doit être considérée.** L'emprise au sol du bâtiment est de 3 130 m<sup>2</sup>, la rubrique 3.2.2.0 est soumise à déclaration.

*Voir chapitre 6.3: Modélisation du risque inondation.*

## IMPACTS DU PROJET EN TERMES D'INONDATION

### 6.1 Objectif et méthodologie

Dans le cadre de ce dossier, une modélisation hydraulique a été réalisée dont l'objectif est de caractériser le risque inondation au droit du projet et d'évaluer l'impact du projet d'aménagement sur l'emprise de la zone inondable et les hauteurs d'eau associées durant un événement pluvieux intense (crue de référence centennale). Ce point est réalisé au travers d'un modèle hydraulique 2D sous le logiciel HEC-RAS. Le rapport détaillé de la modélisation hydraulique est fourni en annexe. Seuls les résultats des simulations sont rappelés dans le présent rapport.

L'approche méthodologique retenue dans le cadre de l'étude est la suivante :

1. La modélisation de la crue de référence en situation non aménagée. En l'absence d'inondation historique marquante, la crue de référence retenue est issue d'un évènement pluviométrique d'occurrence centennale augmentée de 20%.
2. L'intégration du projet dans le modèle et la comparaison des résultats en situation aménagée et non aménagée. Ceci permet de juger si le projet est susceptible ou non d'aggraver le risque d'inondation.

Trois scénarios de crue ont fait l'objet de simulation : la crue centennale, une crue exceptionnelle, le risque d'embâcle. Etant donné l'absence de zone inondée sur l'emprise du projet pour la modélisation de la crue centennale et suite aux échanges avec la DDTM 06, la crue exceptionnelle, c'est-à-dire la crue centennale augmentée de 20%, a été retenue comme crue de référence.

La crue centennale a également été modélisée. Les résultats ne sont cependant pas détaillés dans le présent dossier car la crue de référence retenue est la crue centennale augmentée de 20%. Toutes les cartes résultats de la situation existante et projetée pour les différents événements sont disponibles en annexe et résumées dans le tableau ci-dessous.

<b>N°Carte</b>	<b>Description des différentes cartes</b>
<b>Carte 1a</b>	<i>Hauteur max modélisée pour la crue centennale en situation existante</i>
<b>Carte 1b</b>	<i>Vitesse max modélisée pour la crue centennale en situation existante</i>
<b>Carte 2a</b>	<i>Hauteur max modélisée pour la crue exceptionnelle en situation existante</i>
<b>Carte 2b</b>	<i>Vitesse max modélisée pour la crue exceptionnelle en situation existante</i>
<b>Carte 3a</b>	<i>Hauteur max modélisée pour la crue centennale avec risque d'embâcle en situation existante</i>
<b>Carte 3b</b>	<i>Vitesse max modélisée pour la crue centennale avec risque d'embâcle en situation existante</i>
<b>Carte 4a</b>	<i>Hauteur max modélisée pour la crue centennale en situation projetée</i>
<b>Carte 4b</b>	<i>Vitesse max modélisée pour la crue centennale en situation projetée</i>
<b>Carte 5a</b>	<i>Hauteur max modélisée pour la crue exceptionnelle en situation projetée</i>
<b>Carte 5b</b>	<i>Vitesse max modélisée pour la crue exceptionnelle en situation projetée</i>
<b>Carte 6a</b>	<i>Hauteur max modélisée pour la crue centennale avec risque d'embâcle en situation projetée</i>
<b>Carte 6b</b>	<i>Vitesse max modélisée pour la crue centennale avec risque d'embâcle en situation projetée</i>

Tableau 2 : Tableau récapitulatif des cartes en annexe

## 6.2 Détermination de la crue centennale

### 6.2.1 Modélisation réalisée dans le cadre de la présente étude

Cette phase de l'étude consiste à simuler le fonctionnement hydrologique du bassin versant à l'amont de la buse aménagée sous le parking de la zone de projet. **L'objectif est d'établir l'hydrogrammes de projet, et ce pour la pluie statistique d'occurrence 100 ans.** Comme le présente le diagramme précédent, la modélisation hydrologique est constituée des étapes suivantes :

- La délimitation du bassin versant et sa caractérisation (dimensions, pentes, nature du sol et du sous-sol, végétation, etc.) ;
- L'estimation du débit de pointe du-bassin versant à partir de la méthode rationnelle ;
- La construction de l'hydrogrammes à l'aide de la méthode du simple réservoir linéaire pour la crue d'occurrence 100 ans.

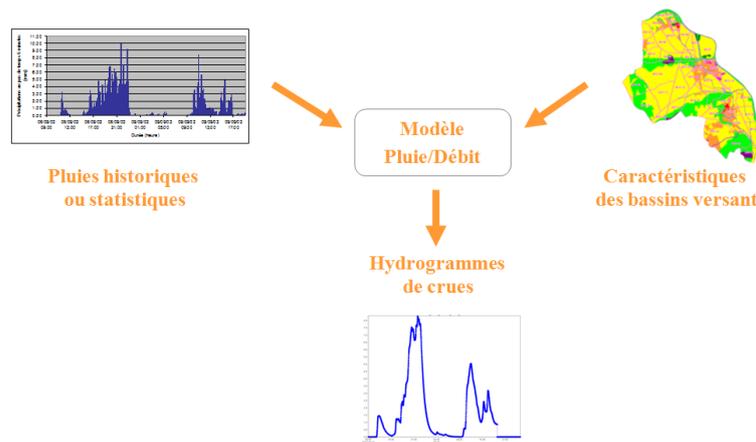


Illustration 12 : Principales étapes d'une étude hydrologique (Source : AquaGeoSphere)

## 6.2.2 Délimitation et caractéristiques du bassin versant

La zone d'étude intercepte un bassin versant de 160 ha. Le découpage présenté ci-dessous s'appuie sur l'étude des courbes de niveau de la carte IGN.

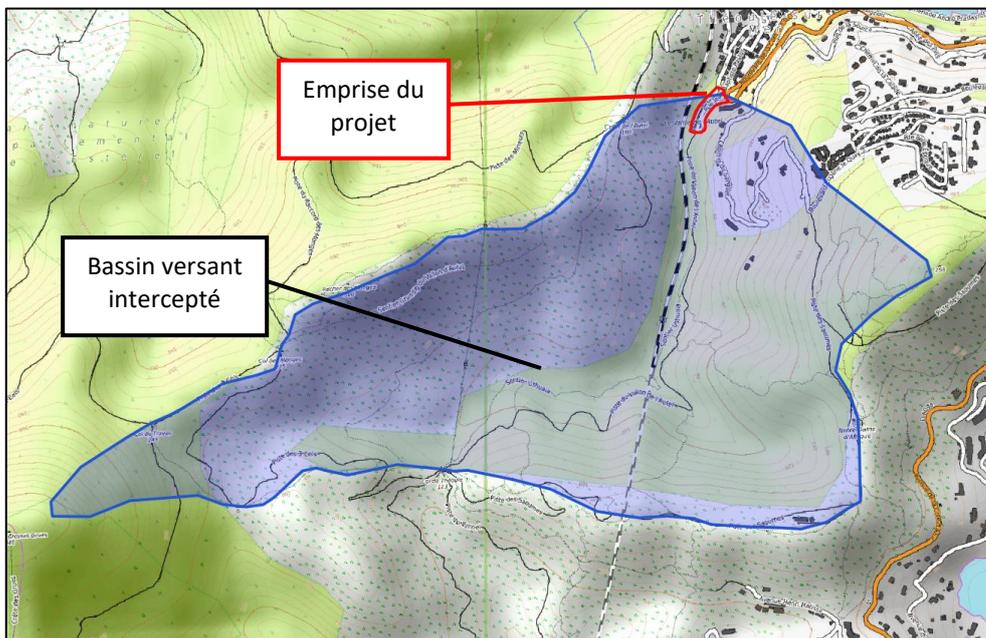


Illustration 13 : Délimitation du bassin versant intercepté par l'emprise du projet (Source : AquaGeoSphere)

Le temps de concentration correspond à la durée que met la goutte d'eau provenant de la partie du bassin la plus éloignée "hydrologiquement" de l'exutoire pour parvenir à celui-ci. La connaissance de ce temps est nécessaire pour estimer les débits de pointe.

Le temps de concentration est déterminé à partir des caractéristiques de la surface drainée et des méthodes présentées dans le tableau suivant.

Méthode	Formule	Variabes
Kirpich	$T_c = \frac{0,0195}{60} \cdot L^{0,77} P^{-0,385}$	Tc : temps de concentration en heures L : longueur du plus long cheminement hydraulique en m P : pente moyenne sur le plus long cheminement en m/m
Passini	$T_c = 0,108 \cdot \frac{\sqrt[3]{A \cdot L}}{\sqrt{P}}$	Tc : temps de concentration en heures A : surface du bassin versant en km <sup>2</sup> L : longueur du plus long cheminement hydraulique en km P : pente moyenne sur le plus long cheminement en m/m
Ventura	$T_c = 0,1272 \cdot \sqrt{\frac{A}{P}}$	Tc : temps de concentration en heures A : surface du bassin versant en km <sup>2</sup> P : pente moyenne sur le plus long cheminement en m/m
Bressand Golossov	$T_c = \frac{L}{\frac{V}{3600}}$  Si P < 1% : V = 1 m/s  Si 1% < P < 10%, V = 1 + (P-1)/9 m/s  Si P > 10% : V = 2 m/s	Tc : temps de concentration en heures L : longueur du plus long cheminement hydraulique en m V : vitesse moyenne des écoulements en m/s P : pente moyenne en m/m

Tableau 3 : Comparaison des méthodes de calcul du temps de concentration

Par définition, ces formules souffrent toutes d'un certain degré d'approximation étant donné le nombre réduit de bassins versants sur lesquels elles ont été calibrées. Par ailleurs, Bressand Golossov lui-même confirme que les valeurs de vitesses proposées représentent une simple appréciation à défaut de données suffisantes (définies notamment lorsque le bassin est jaugé).

Les caractéristiques du bassin versant sont introduites dans le tableau suivant. Le temps de concentration est calculé en moyennant les temps de concentration obtenus à l'aide des quatre méthodes présentées précédemment.

Caractéristiques du bassin	
Surface (ha)	160
Chemin hydraulique (m)	2 635
Pente (%)	15,2
<b>Temps de concentration moyen (min)</b>	<b>20</b>

Tableau 4 : Calcul du temps de concentration du-bassin de la zone d'étude

## 6.2.3 Estimation du débit de pointe par la méthode rationnelle

### 6.2.3.1 Méthodologie

La méthode rationnelle est adaptée aux bassins versants urbains ou ruraux dont la superficie est inférieure à 2 km<sup>2</sup>. Couramment utilisée, elle est notamment recommandée par le guide pour l'assainissement routier du SETRA (Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes, Ministère des Transports, de l'Équipement, du Tourisme et de la Mer) édité en 2006.

Cette méthode se base sur l'hypothèse d'une pluie uniforme et constante dans le temps et permet d'estimer un débit instantané maximal atteint lorsque l'ensemble du bassin versant contribue à ce débit. L'équation est décrite ci-après :

$$Q = Cr \times I \times A / 3,6$$

- Q (m<sup>3</sup>/s) :** Débit de pointe à l'exutoire du bassin versant atteint lorsque l'ensemble du bassin versant est actif ;
- Cr :** Coefficient de ruissellement du bassin versant, correspondant à la moyenne pondérée des coefficients de ruissellement des surfaces distinctes ;
- I (mm/h) :** Intensité de la pluie constante de durée égale au temps de concentration du bassin versant ;
- A (km<sup>2</sup>) :** Surface du bassin versant.

La simplicité de la méthode en fait une référence. Celle-ci est composée d'une fonction de production que l'on peut assimiler au paramètre « coefficient de ruissellement » (Cr).

### 6.2.3.2 Pluviométrie statistique

L'étude statistique des événements pluvieux s'étant produits en un lieu géographique particulier permet de définir des « pluies types » pour une certaine intensité, durée et fréquence de pluie au travers des coefficients de Montana régionaux.

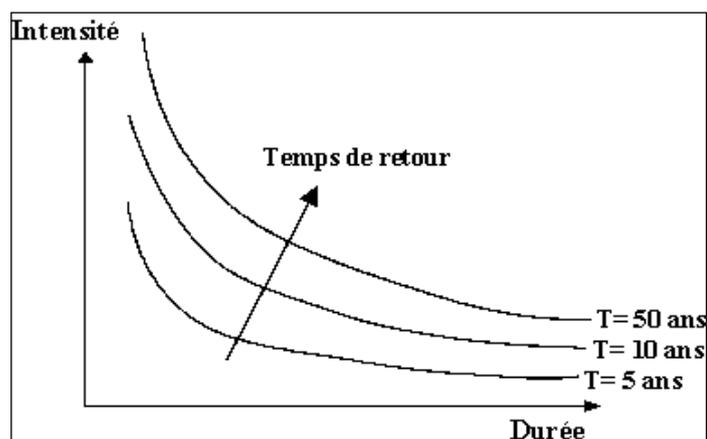


Illustration 14 : Représentation schématique des courbes IDF (Source : echo2.epf.ch)

Dans le cadre de la présente étude, les coefficients de Montana de la station de Cannes, située à 6 km à l'est de la zone d'étude, sont considérés pour caractériser la pluviométrie statistique pour la période de retour 100 ans.

L'intensité de la pluie est calculée à partir des formules suivantes :

$$H(T) = a * t^{1-b} \quad \text{et} \quad I(T) = H / t * 60$$

- H (mm) :** Hauteur de la pluie pendant une durée égale au temps de concentration du bassin versant pour une pluie d'occurrence donnée ;
- I (mm/h) :** Intensité de la pluie pendant une durée égale au temps de concentration du bassin versant pour une pluie d'occurrence donnée ;
- t (min) :** Durée de l'événement pluvieux intense correspondant au temps de concentration du bassin versant ;
- a et b :** Coefficients de Montana locaux ;
- T (années) :** Période de retour de l'événement considéré.

L'intensité pluviométrique est déterminée pour une pluie dont la durée équivaut au temps de concentration du bassin versant considéré. **Le temps de concentration moyen du bassin versant est 20 minutes.**

Les coefficients de Montana pour une pluie d'une durée comprise entre 6 min et 2 h sont utilisés. **L'intensité pluviométrique obtenue pour une pluie centennale de temps de concentration 20 minutes est de 124,9 mm/h.**

Période de retour (années)		100
Statistiques sur la période		1982-2016
Coefficients de Montana (6 min - 2h)	a	6,499
	b	0,38

Tableau 5 : Coefficients de Montana de la station météorologique de Cannes  
(Source : Météo-France, 2020)

### 6.2.3.3 Coefficients de ruissellement

Le Coefficient de ruissellement ( $C_r$ ) est le rapport entre la hauteur d'eau qui a ruisselé sur une surface donnée (qu'on nomme aussi « pluie nette ») et la hauteur d'eau précipitée (« pluie brute »). Ce coefficient varie entre 0 et 1, notamment selon la perméabilité de la surface. Ainsi, un sol très perméable aura un coefficient de ruissellement proche de 0 tandis qu'un sol imperméable aura un coefficient proche de 1.

Le calcul des coefficients de ruissellement se fait en appliquant la moyenne pondérée des coefficients de ruissellement selon l'occupation du sol. L'affectation du sol se divise en 3 types distincts : **les forêts, les zones résidentielles (habitat dispersé) et le ballast (voie ferrée).**

Les coefficients de ruissellement pour des événements de période de retour supérieure à une occurrence décennale sont calculés à l'aide de la formule du GTAR définie par l'équation suivante :

$$C_{rT} = 0,8 * (1 - P_0 / P_T)$$

- T** (années) : Période de retour de l'évènement ;
- Cr<sub>T</sub>** : Coefficient de ruissellement pour la période de retour T ;
- P<sub>T</sub>** (mm) : Pluie journalière pour la station de Cannes, estimée à 203 mm.
- P0** (mm) : Rétention initiale d'une valeur de 90 pour les forêts et de 75 pour les cultures et prairie (ces données ont été récupérées d'études antérieures)

Les coefficients de ruissellement pour les trois affectations du sol et pour la période de retour de 100 ans sont répertoriés dans le tableau suivant.

Affectation du sol	Période de retour
	100 ans
Forêts	0,37
Zone Résidentielle (habitat dispersé)	0,64
Ballast	0,5

Tableau 6 : Coefficients de ruissellement pour les différentes affectations du sol

Le coefficient de ruissellement moyen du bassin versant du vallon de l'Autel est de 0,38 pour un évènement de temps de retour 100 ans.

#### 6.2.3.4 Débit de pointe

Le débit de pointe obtenu par la méthode rationnelle pour une crue d'occurrence centennale est estimé à 21,3 m<sup>3</sup>/s. Ce résultat est similaire à celui du graphique de capacité de l'Autel du PAPI CACPL (2019) qui est d'environ 20 m<sup>3</sup>/s.

*Voir chapitre 3 : Contexte hydrographique*

### 6.2.4 Détermination de la pluie de projet

L'étude statistique des pluies permet de connaître l'intensité de la pluie pour une occurrence donnée (période de retour).

*Voir chapitre 6.2.3.2 : Pluviométrie statistique*

Un hyétoگرامme synthétique est ensuite construit à l'aide de la méthode du double triangle en se basant sur ces pluies statistiques. L'emploi de cette méthode se justifie au regard de la forme que prennent généralement les épisodes pluvieux, caractérisés par une période de pluie relativement longue d'intensité soutenue, à l'intérieur de laquelle vient s'insérer un épisode plus court, caractérisé par une intensité très forte.

La pluie double triangle est ainsi définie par 5 paramètres :

- $t_1$  : la durée de la pluie intense ;
- $t_3$  : la durée totale de la pluie ;
- $t_2/t_3$  : le rapport correspondant au pic d'intensité ;
- $i_1$  : l'intensité atteinte au début de la période intense ;
- $i_2$  : l'intensité maximale atteinte durant la période intense.

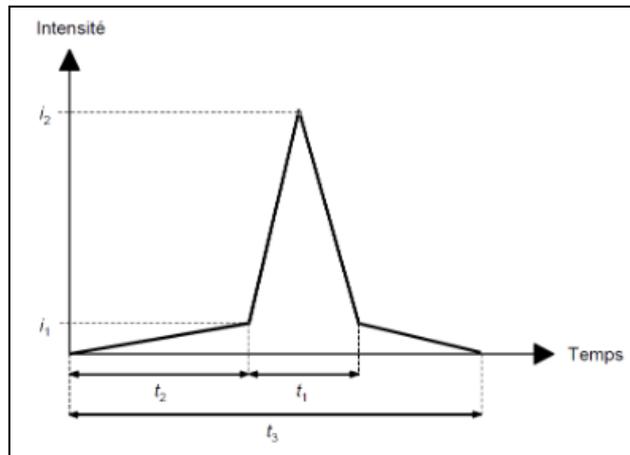


Illustration 15 : Représentation schématique d'une pluie double triangle

Dans le cadre de l'étude, la méthode du double triangle est appliquée pour des événements d'occurrence 100 ans. Chaque événement pluvieux est défini sur une durée totale de 4h tandis que la durée intense est de 20 min (correspondant au temps de concentration du bassin versant). On considère également que le pic d'intensité a lieu au bout de 2h, soit à la moitié de la durée totale du hyétogramme.

Le hyétogramme de la pluie d'occurrence 100 ans est illustré dans la figure suivante.

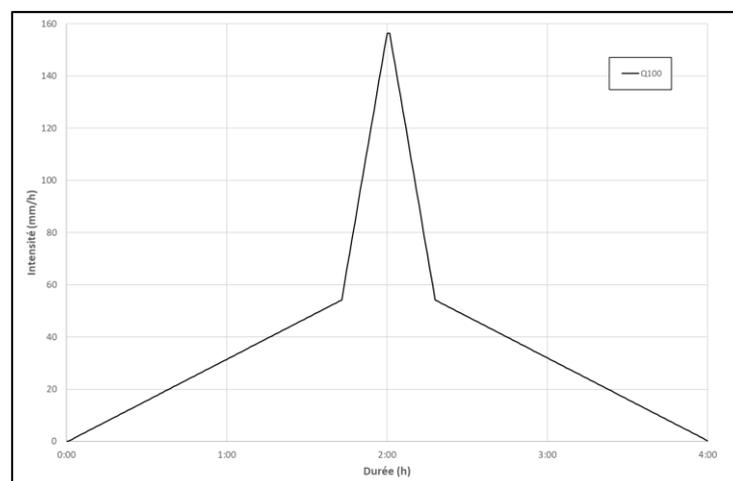


Illustration 16 : Hyétogramme de pluie d'occurrence 100 ans obtenu avec la méthode du double triangle

## 6.2.5 Construction de l'hydrogramme de la crue centennale

L'analyse du risque inondation nécessite un fonctionnement en régime transitoire afin de prendre en compte les phénomènes de stockage et de laminage des crues. De ce fait, des hydrogrammes doivent être générés afin d'être injectés dans le modèle hydraulique.

La construction de ces hydrogrammes passe par l'utilisation d'une fonction de transfert. Celle-ci permet de transformer un hyétogramme de pluie nette en hydrogramme à l'exutoire. En d'autres termes, c'est une fonction qui permet de représenter l'évolution du ruissellement lors de son passage sur le bassin versant.

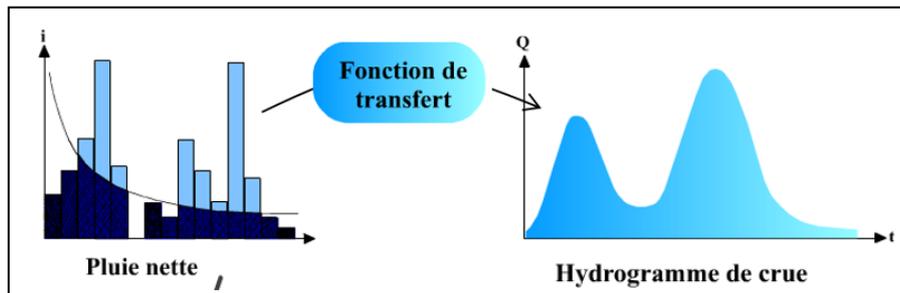


Illustration 17 : Schématisation de la fonction de transfert (source : echo2.epfl.ch)

Dans le cadre de l'étude, la méthode du réservoir linéaire est utilisée pour générer l'hydrogramme pour l'évènement d'occurrence 100 ans.

### 6.2.5.1 Méthodologie du réservoir linéaire

La méthode du simple réservoir linéaire est très largement utilisée en hydrologie et présente l'avantage d'être relativement simple à mettre en œuvre. Ceci revient à considérer le bassin versant comme un bassin de stockage dans lequel arrive la pluie et dont le débit de fuite représente le débit ruisselé à l'exutoire.

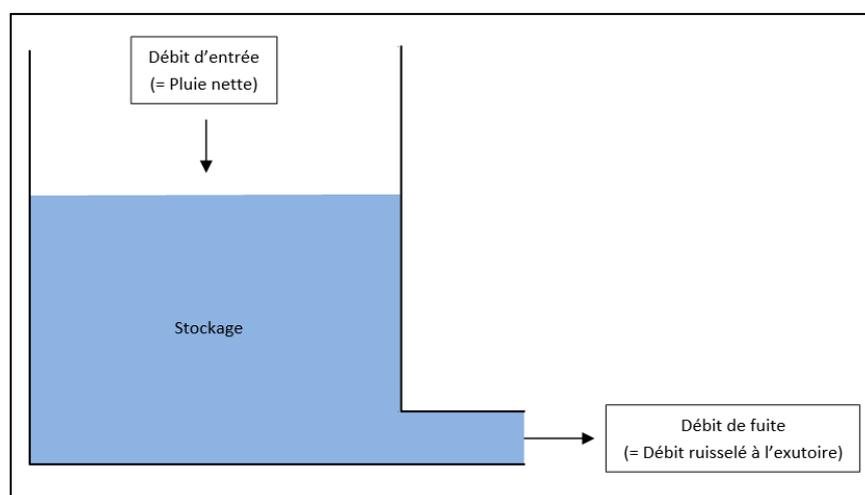


Illustration 18 : Schématisation de la méthode du réservoir linéaire

Le débit ruisselé à l'exutoire est calculé selon la formule suivante :

$$Q_{s(t)} = (Q_{e(t)} + Q_{e(t-1)}) * \frac{dt}{2K + dt} + Q_{s(t-1)} * \frac{2K - dt}{2K + dt}$$

- Qs (m³/s) :** Débit en sortie de bassin à l'instant t ;
- Qe (m³/s) :** Débit en entrée de bassin à l'instant t basé sur l'intensité de pluie en mm/h du hyétogramme ;
- dt (min) :** Pas de temps de calcul ;
- K (min) :** Temps de réponse du bassin versant lors d'un évènement pluvieux.

L'hydrogramme obtenu est représenté dans la figure suivante.

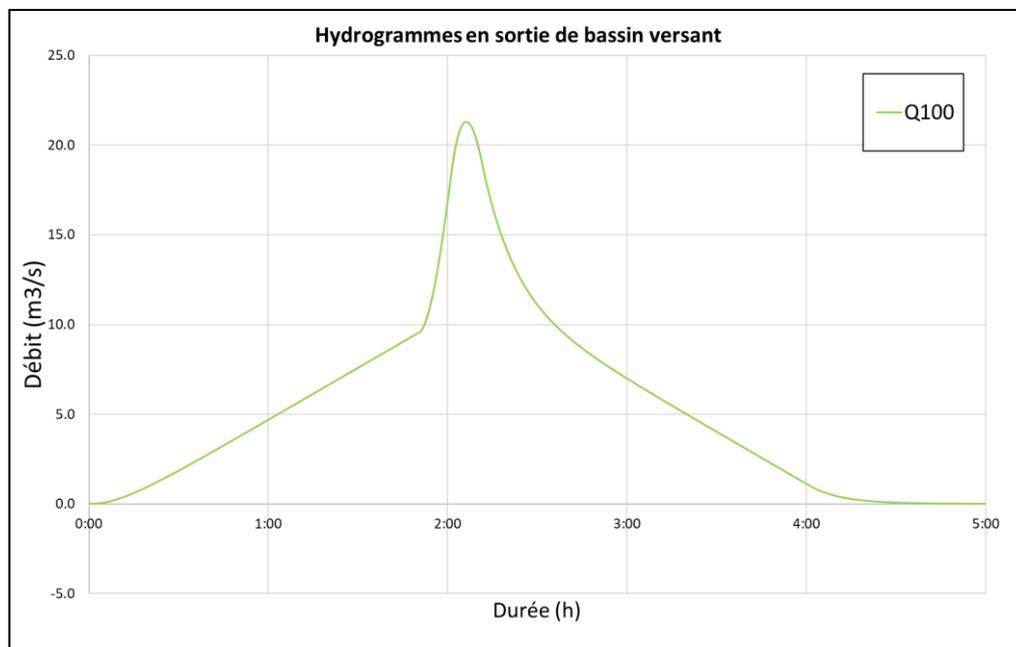
### 6.2.5.2 Hydrogramme de la crue centennale

Les caractéristiques de l'hydrogramme sont résumées dans le tableau suivant.

Occurrence	Débit de pointe (l/s)	Débit de pointe (m³/s)	Volume total ruisselé (m³)
100 ans	21 290	21,29	96 388

**Tableau 7 : Débit de pointe et volume ruisselé déterminés avec la méthode du réservoir linéaire pour des évènements pluvieux d'occurrence 100 ans**

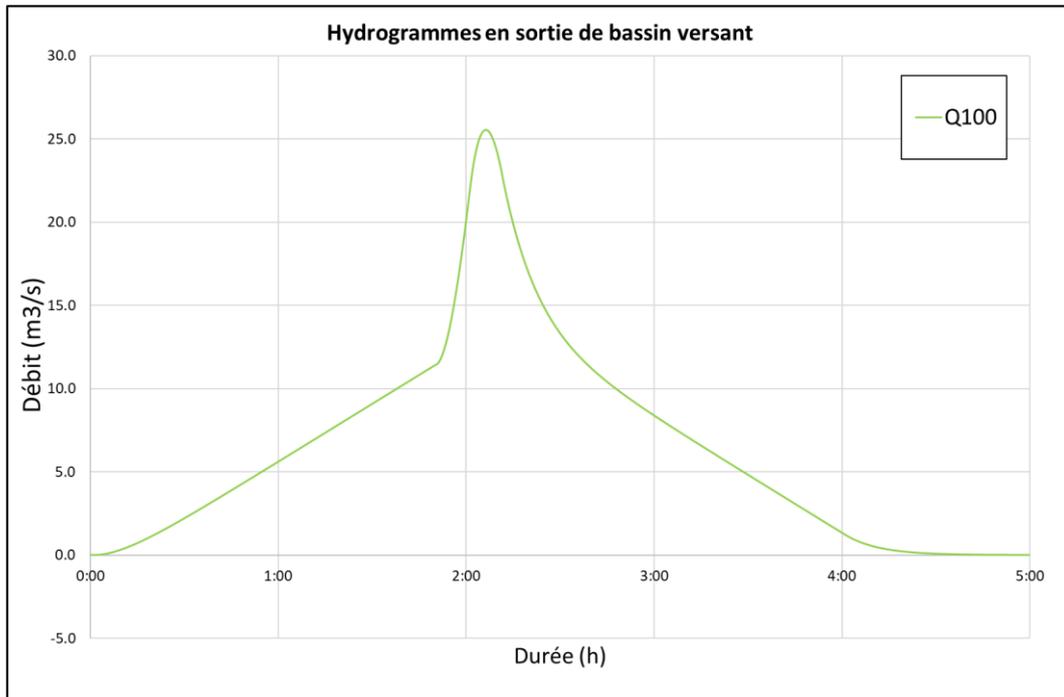
Le débit de pointe obtenu au travers de la méthode du réservoir linéaire est identique à celui obtenu via la méthode rationnelle. L'hydrogramme sera dès lors utilisé dans la suite de l'étude.



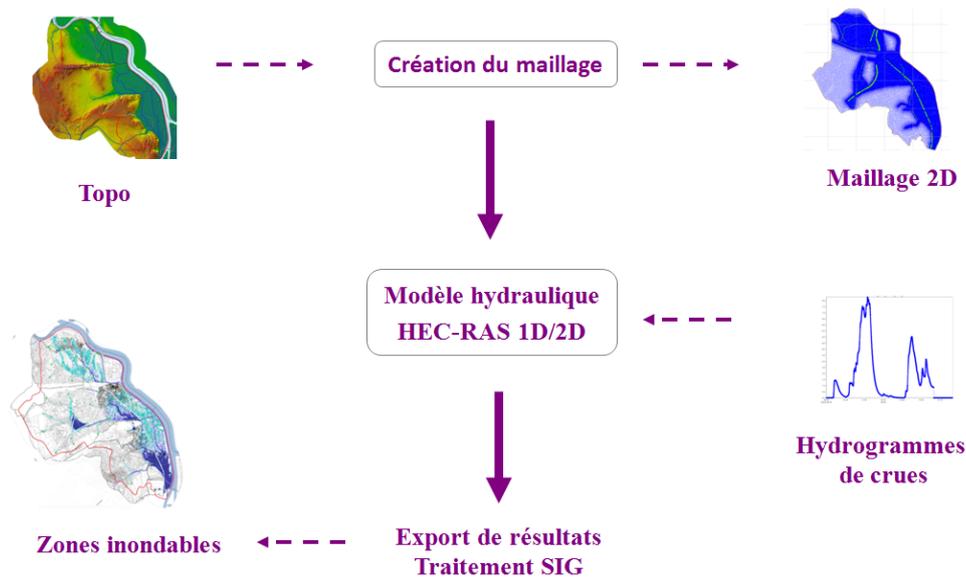
**Illustration 19 : Hydrogramme de la crue centennale****6.2.5.3 Hydrogramme de la crue de référence**

L'hydrogramme de la crue de référence est basée sur l'hydrogramme de la crue centennale mais les débits ont été augmentés de 20%. Le débit de pointe est ainsi de **25,55 m<sup>3</sup>/s** et le volume total ruisselé est de **115 700 m<sup>3</sup>**.

L'hydrogramme obtenu de la crue de référence est représenté dans la figure suivante.

**Illustration 20 : Hydrogramme de la crue exceptionnelle****6.3 Modélisation du risque inondation****6.3.1 Modèle utilisé**

Pour répondre aux impositions du SDAGE RM, l'absence d'impact du projet en crue de référence doit être vérifiée. Ce point est réalisé au sein d'un modèle hydraulique 2D sous le logiciel HEC-RAS. Ce modèle est en adéquation avec la configuration du secteur d'étude et les objectifs attendus. La modélisation 2D sous forme de maillage permet en effet d'intégrer finement l'emprise du projet au sein du modèle. Les impacts potentiels du projet peuvent ainsi être observés à l'échelle du bâtiment.



**Illustration 21 : Principales étapes liées à la construction d'un modèle hydraulique**  
(Source : AquaGeoSphere, 2019)

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

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

### 6.3.2 Emprise du modèle

L'emprise du modèle hydraulique représente une zone de près de 90 ha délimitée sur la figure de la page suivante.

L'emprise du modèle prend en compte le vallon de l'Autel car seul celui-ci est capté par la zone de projet.

*Voir chapitre 3 : Contexte hydrographique*

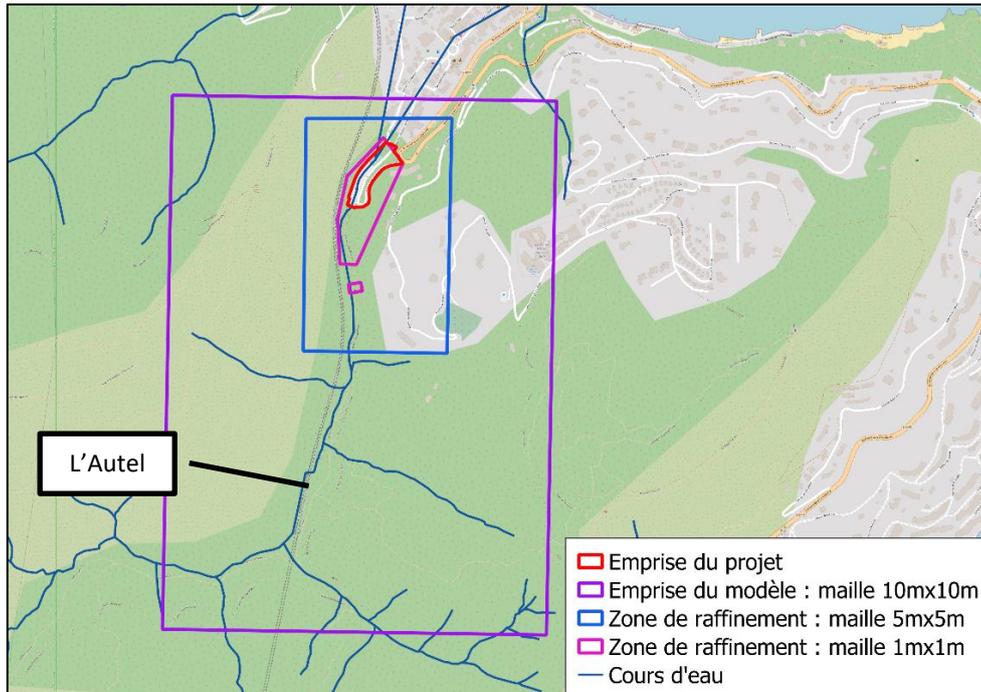


Illustration 22: Emprise du modèle et réseau hydrographique à proximité du projet

### 6.3.3 Données topographiques

Les données topographiques utilisées dans le cadre de cette étude correspondent au RGE ALTI 1m. Ce Modèle Numérique de Terrain (MNT) constitué par l'IGN a pour vocation la description du relief au pas de 1 m. La figure à la page suivante présente les données topographiques utilisées sur la zone d'étude.

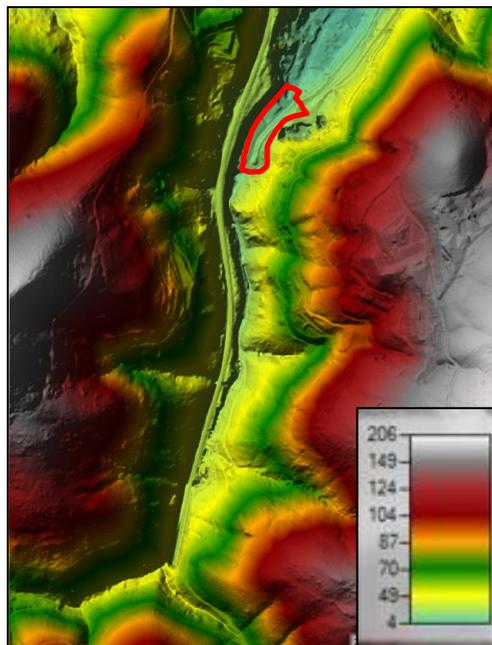


Illustration 23 : Données topographiques exploitées pour la modélisation hydraulique  
(Source : RGE Alti 1m, IGN)

### 6.3.4 Coefficients de rugosité

Le coefficient de rugosité ( $C_r$ ) 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 parallèlement 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.

Les coefficients de rugosité utilisés dans le cadre de la présente étude sont issus de la littérature et d'études hydrauliques similaires (voir tableau ci-après). La délimitation des zones considérées est basée sur la base de données CorineLandCover.

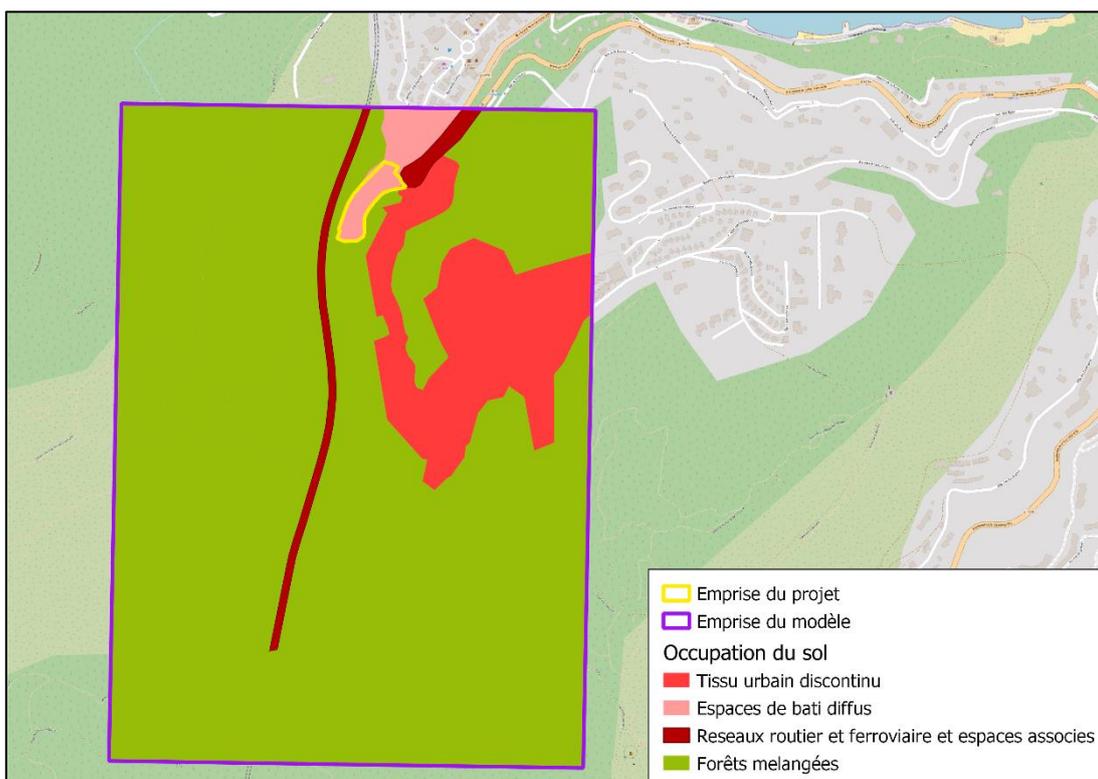


Illustration 24 : Occupation du sol au niveau de l'emprise du modèle (Source : CorineLandCover)

Occupation du sol	Coefficient de Manning
Tissu urbain discontinu	0,12
Espaces de bâti diffus	0,12
Réseaux ferroviaire et espaces associés	0,03
Forêts mélangées	0,16

Tableau 8 : Coefficients de Manning associés à chaque occupation de sol

### 6.3.5 Maillage du modèle

La construction d'un modèle hydraulique 2D passe par la discrétisation spatiale de l'emprise du modèle (création d'un maillage) et de la durée de la modélisation. Cette procédure permet de passer du domaine réel continu (analogique) au domaine numérique discret. Les équations du modèle peuvent ainsi être calculées en chaque nœud du maillage et à chaque pas de temps, ce qui permet de déterminer l'évolution des grandeurs physiques au cours du temps.

La discrétisation se fait par la génération d'un maillage recouvrant l'emprise du modèle (éléments finis). Le maillage peut avoir une résolution variable (par exemple, il est possible de densifier le maillage au droit d'ouvrage clefs). Les lignes de structure permettent de forcer le maillage à suivre les contours naturels du terrain (route, digue, etc.).

HEC-RAS enregistre l'information topographique des bords de chaque maille ainsi qu'une courbe de remplissage pour l'intérieur de celle-ci.

Un coefficient de rugosité moyen est ensuite associé à chaque maille.

Les tailles de mailles retenues dans le cadre de la présente modélisation sont les suivantes :

- Un premier maillage avec des mailles de 10 m de côté qui recouvre l'emprise du modèle ;
- Un maillage plus fin avec des mailles de 5 m de côté dans un rayon d'environ 300 à 400 m autour de la zone de projet ;
- Un maillage très fin avec des mailles de 1 m de côté au bord des lignes de structures, sur l'emprise du projet et au niveau de l'entrée des buses.

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.

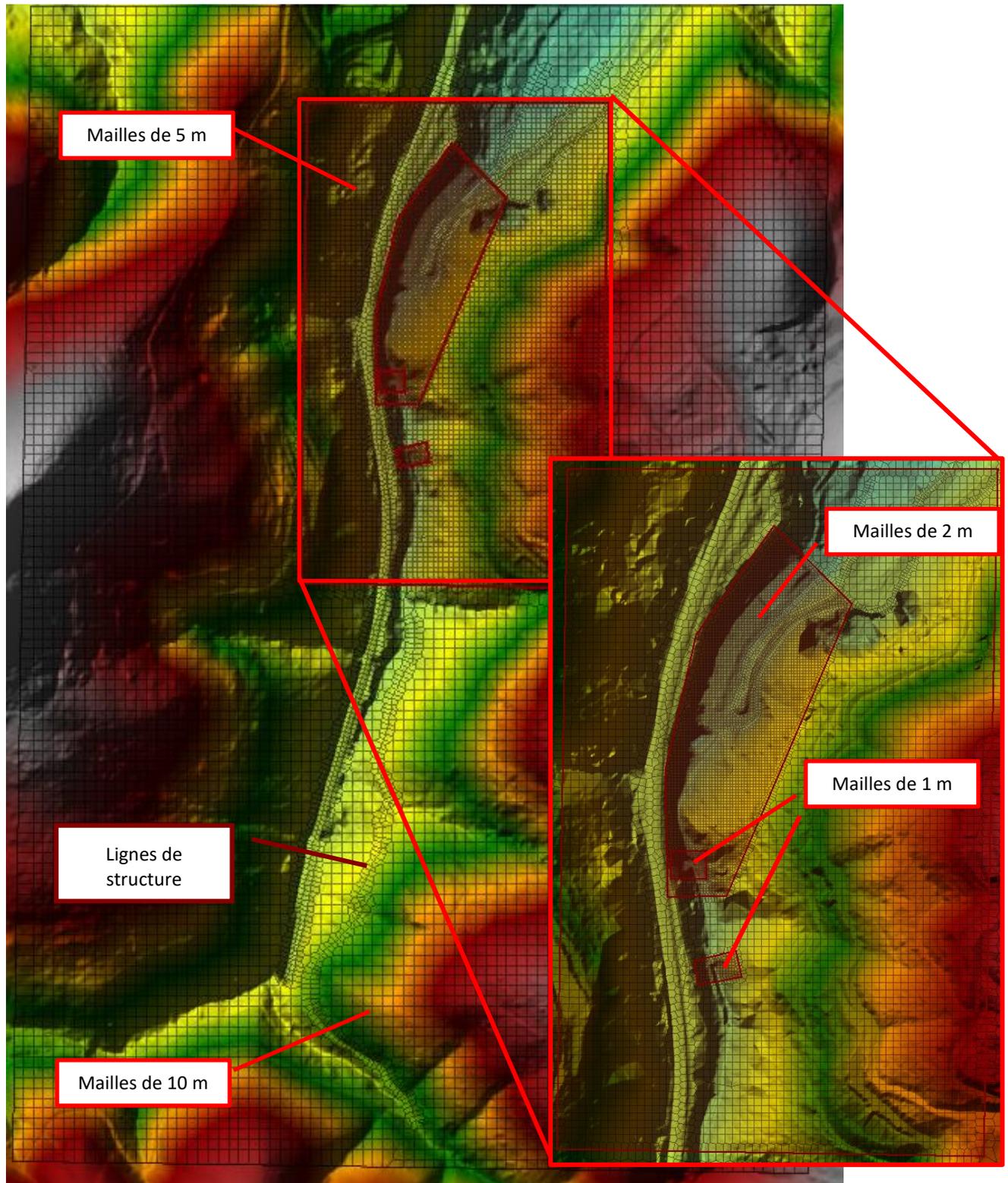


Illustration 25 : Maillages et lignes de structure au niveau de l'emprise du modèle

### 6.3.6 Conditions aux limites

La condition limite amont est constituée par un hydrogramme de crue injecté dans le modèle. Il n'existe pas d'hydrogramme mesuré pour le vallon de l'Autel. L'hydrogramme de la crue de référence, la crue centennale, a été recréé à partir des données de pluies de la station météorologique la plus proche et comparé au débit de pic relevé dans le graphe de capacité de l'Autel du PAPI (2019).

*Voir chapitre 6.2 : Détermination de la crue centennale*

En l'absence de contraintes particulières, les conditions limites aval du modèle sont définies par la topographie observée à l'aval de la zone modélisée (pente moyenne). La limite aval a été placée à distance suffisante de la zone d'étude afin d'éviter qu'un effet de bord ne vienne perturber les résultats au niveau du projet.

L'injection dans le modèle se présente sous la forme d'une injection diffuse localisée sur la figure ci-après

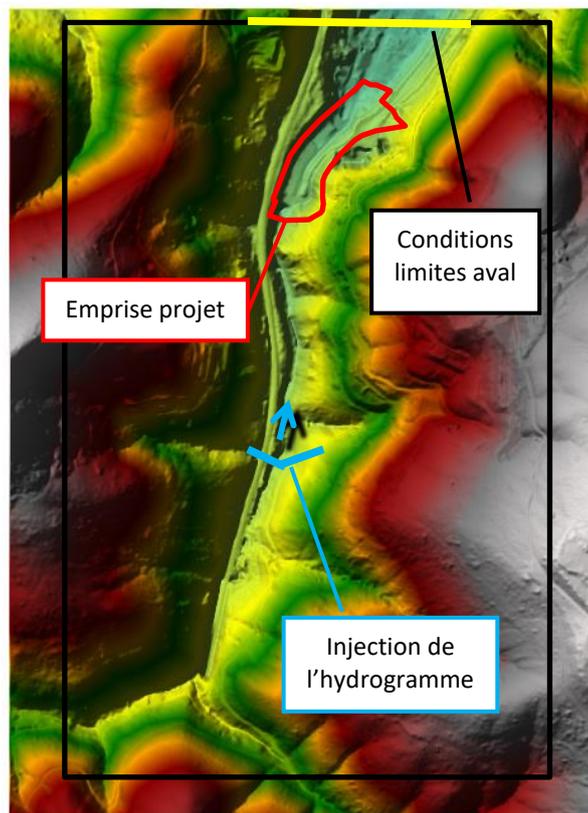


Illustration 26 : Contraintes amont et aval du modèle

### 6.3.7 Conduites en amont du parking

Quatre ouvrages sont situés entre le point d'injection et l'emprise du projet. Leurs positions et leurs caractéristiques sont détaillées dans la figure et le tableau ci-dessous :

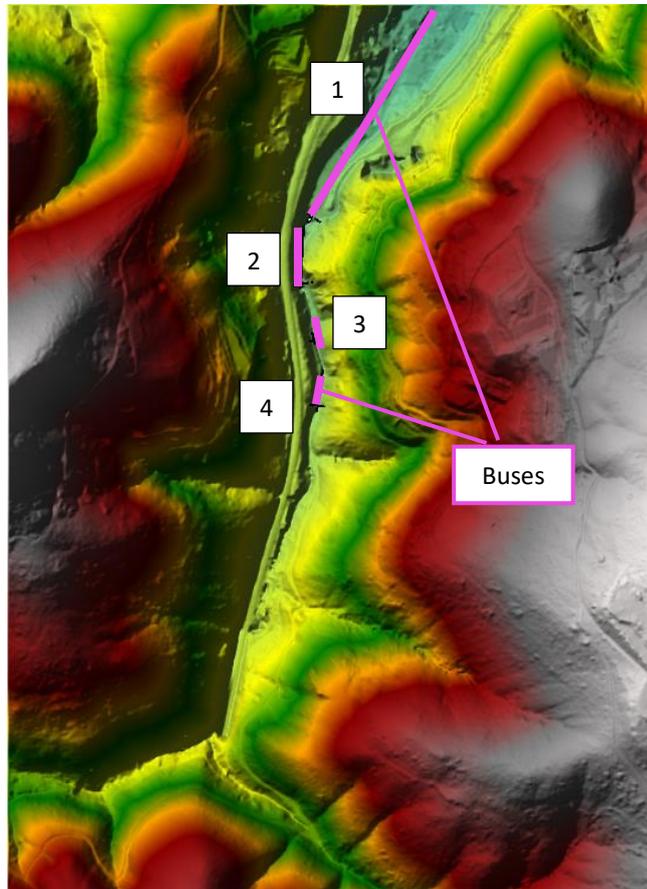


Illustration 27 : Position des conduites en amont du parking

Conduite	Section	Diamètre (m)	Longueur (m)	Coefficient de rugosité (n)
1	Circulaire	2.02	100	0.013
2	Arche	2m de haut pour 1.5m de large	80	0.013
3	Circulaire	1.6	10	0.013
4	Circulaire	1.6	20	0.013

Tableau 9 : Caractéristiques des conduites en situation existante

La conduite située sous le parking existant comporte de nombreux changements de section allant de 2,02 m à 2,15 m selon le plan des ouvrages hydrauliques souterrains réalisé par l'Atelier de Topométrie & Métrologie en février 2021. **La section la plus contraignante a été choisie pour la modélisation.**

En situation projetée, la buse (1) est remplacée avec les caractéristiques de la buse du projet de dévoiement. Ses caractéristiques sont détaillées dans le tableau suivant :

Conduite	Section	Diamètre (m)	Longueur (m)	Coefficient de rugosité (n)
Projet	Circulaire	2.0	100	0.013*

Tableau 10 : Caractéristiques de la buse déviée en situation projetée

### 6.3.8 Topographie en situation projetée

La figure suivante présente le schéma topographique du projet après aménagement. L'emprise au sol correspond à un remblai pour la construction de la nouvelle route au nord-ouest, le déblai du rez-de-chaussée et les murs de l'enceinte du parking. Le plancher du rez-de-chaussée est en pente. L'élévation du rez-de-chaussée se situe entre 9,74 m NGF au nord et 10,49 m NGF au sud du bâtiment.

Un dos d'âne situé à l'intérieur du bâtiment au niveau R+1 permet aux écoulements de suivre uniquement l'axe préférentiel de la route Jean-Baptiste Pastor et ainsi d'étanchéifier le niveau. La hauteur du dos d'âne est déterminée par les hauteurs d'eau simulées au droit du point d'engouffrement. Dans la modélisation, l'enceinte du parking est supposée fermée au niveau de la sortie des véhicules au niveau R+1.

*Voir chapitre 6.3.10.3 : Points d'engouffrement potentiel*

L'emprise de projet se trouve dans le lit mineur de l'Autel, la buse déviée est dimensionnée pour une crue centennale.

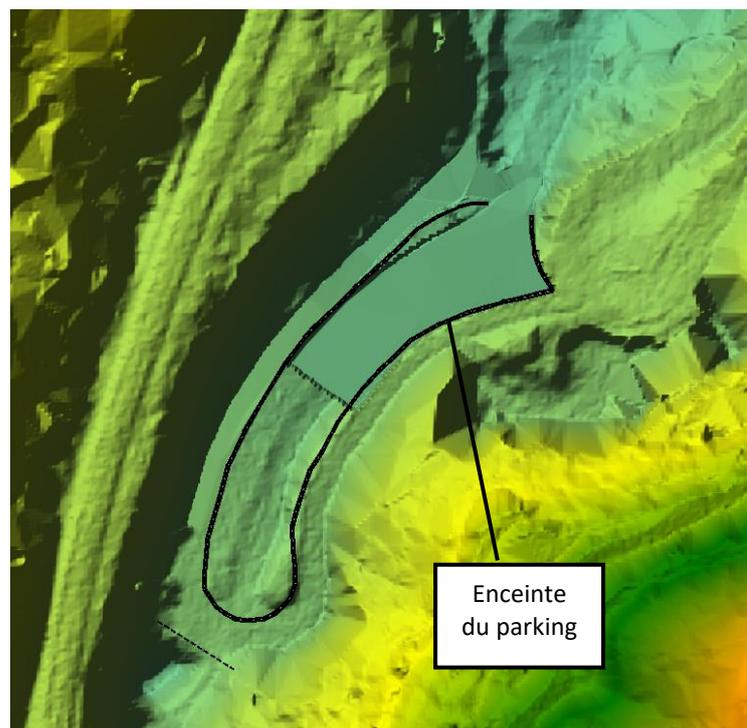


Illustration 28 : Topographie au droit du projet en situation projetée

## 6.3.9 Modélisation de la crue centennale

### 6.3.9.1 Situation existante

La modélisation se porte sur l'évènement centennal. Dans ce cas, **la zone d'étude n'est pas inondée par l'Autel**. La buse (2) déborde mais la buse (1) située sous le parking est capable de contenir la totalité des écoulements. Les illustrations suivantes indiquent les hauteurs d'eau pour un évènement centennal au droit du projet.



Illustration 29 : Hauteurs d'eau maximales et sens des écoulements pour l'évènement centennal en situation existante au droit du projet

Le ruissellement des eaux du vallon de l'Autel arrive en provenance du sud de la zone d'étude. Les hauteurs d'eau dans le vallon sont élevées et dépassent 1 m. Lors du débordement de la buse (2), le niveau maximal d'eau observé dans la zone de surverse est de 0,4 m.

La zone inondée en amont présente peu de risques car seul un chemin d'accès au parc de l'Esterel borde le vallon.

La vitesse des écoulements dans le vallon de l'Autel est globalement inférieure à 1 m/s, mis à part au centre du vallon et à l'entrée des buses où les vitesses peuvent augmenter jusqu'à 3 m/s.



Illustration 30 : Vitesses des écoulements pour l'évènement centennal au droit du projet en situation existante

Les différentes illustrations des hauteurs d'eau et des vitesses des écoulements sont visualisables sur des cartes en annexe.

*Voir annexe 1 – Cartes 1a et 1b*

### 6.3.9.2 Situation projetée

Les lignes d'eau et les vitesses en situation projetée au droit du secteur d'étude sont illustrées sur les figures suivantes.

*Voir annexe 1 – Cartes 4a et 4b*

**Il ressort de la modélisation que le projet ne modifie pas le sens des écoulements, ni les hauteurs d'eau lors de la crue centennale par rapport à l'état existant. Elle n'engendre pas de modification de l'emprise de la zone inondable. Le remblai causé par la route et le bâtiment du parking se situent en dehors de la zone inondable.**

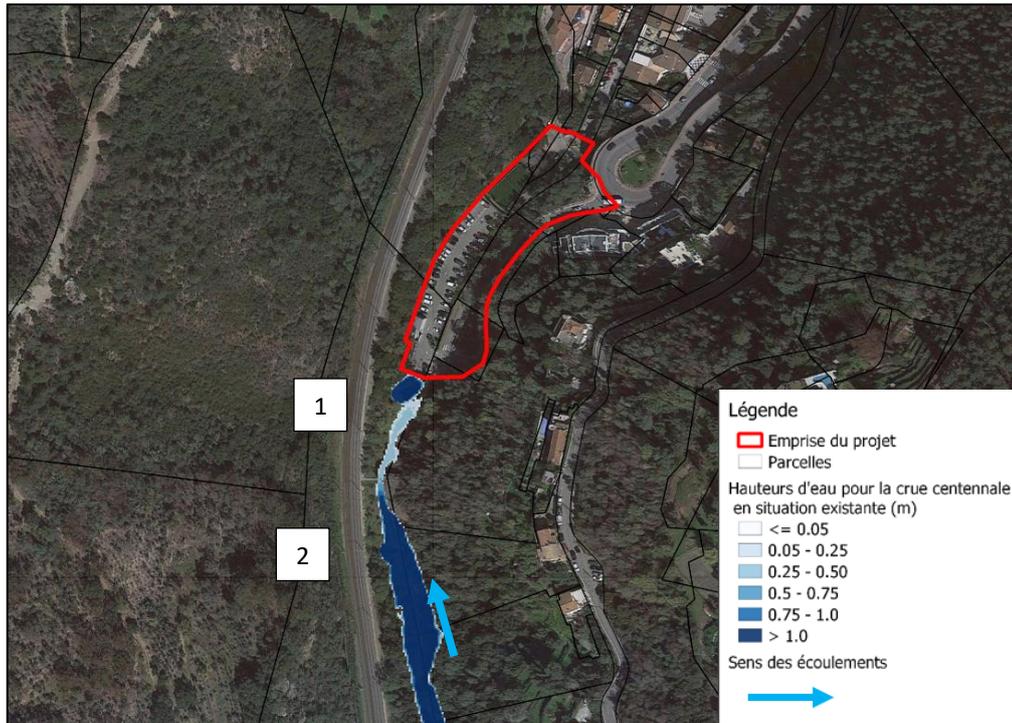


Illustration 31 : Hauteurs d'eau maximales modélisées pour une crue centennale en situation projetée

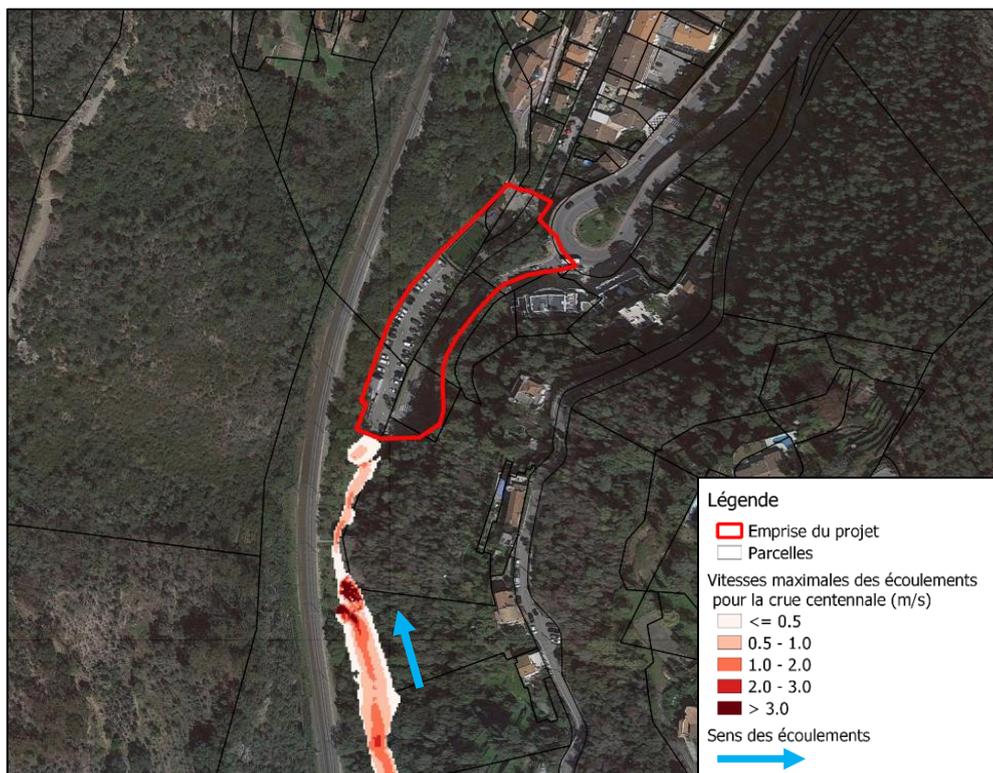


Illustration 32 : Vitesses des écoulements modélisées pour une crue centennale en situation projetée

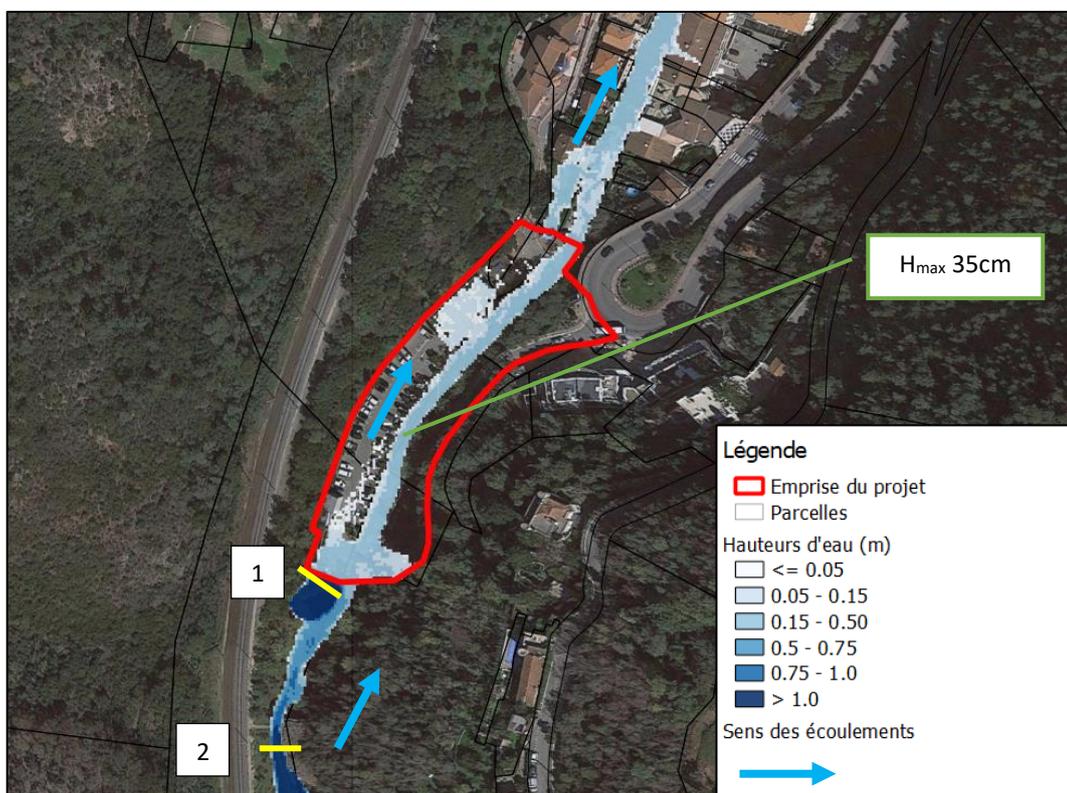
### 6.3.10 Modélisation de la crue de référence

Les événements pluvieux d'intensité forte sont de plus en plus fréquents. Ainsi, afin d'évaluer la vulnérabilité du lieu, une crue de plus grande intensité que la centennale a été analysée. Une modélisation avec un débit de crue centennale augmenté de 20% a été réalisée pour la caractérisation du risque d'inondation au droit du projet. Le débit de pic de cette crue est de 25,6 m<sup>3</sup>/s. Cette crue est retenue comme crue de référence suite aux échanges avec la DDTM 06.

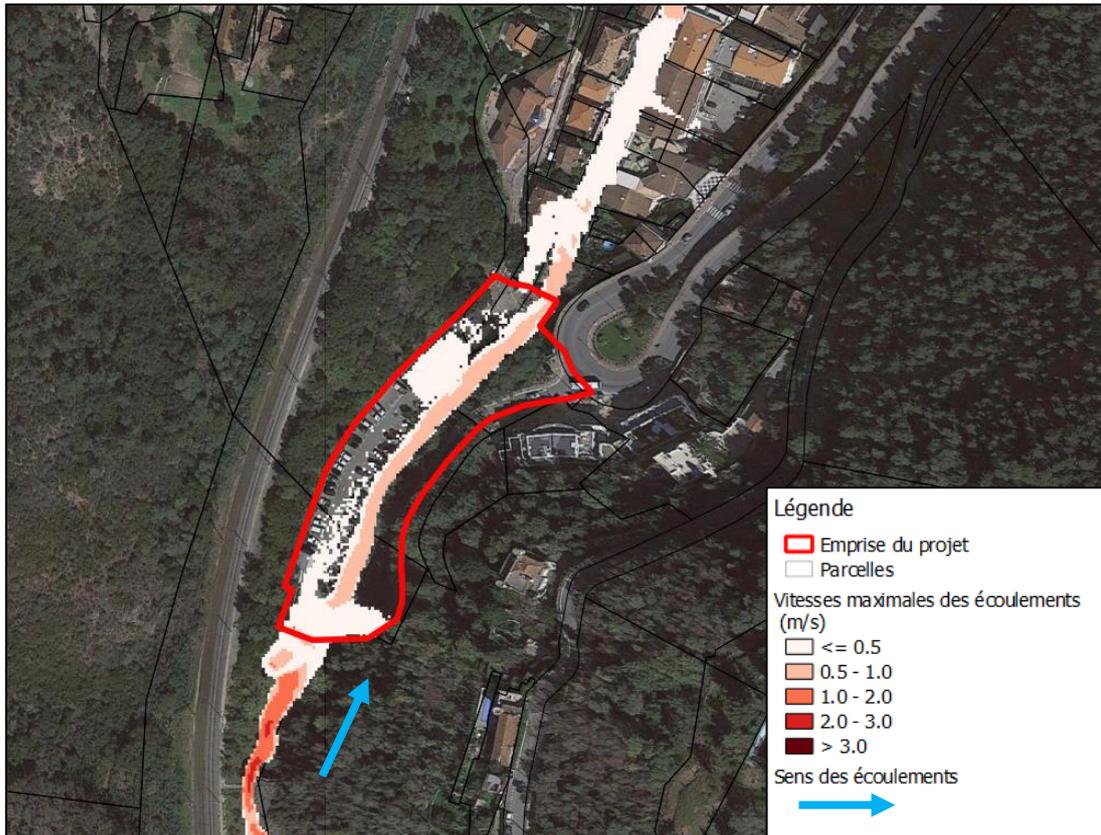
#### 6.3.10.1 Situation existante

La zone en amont du parking est inondée de la même manière. L'emprise du projet se trouve en partie inondée car la buse (1) surverse. Les écoulements suivent le chemin préférentiel et empruntent la rue Jean-Baptiste Pastor. Le terrain de football se retrouve aussi inondé. La hauteur d'eau maximale observée au droit de l'emprise de projet est de l'ordre de 35 cm.

Les vitesses sont de l'ordre de 1 m/s lors de la descente de la portion de rue en bordure du parking. Dans la partie plus basse de la rue, au sud du parking et au droit du terrain de sport, les vitesses sont plus faibles.



**Illustration 33 : Hauteurs d'eau maximales modélisées pour une crue centennale augmentée de 20% en situation existante**



**Illustration 34 : Vitesses d'écoulement maximales modélisées pour une crue centennale augmentée de 20% en situation existante.**

*Voir annexe 1 – Cartes 2a et 2b*

### 6.3.10.2 Situation projetée

En situation projetée, la nouvelle buse déborde lorsqu'elle est soumise à un débit plus grand que celui de la crue centennale. La route Jean-Baptiste Pastor à l'ouest de l'emprise du projet se retrouve inondée pareillement à la situation existante. La hauteur d'eau maximale atteinte est de l'ordre de 15 cm. Au niveau de la zone d'étude, la portion de route sur laquelle les hauteurs d'eau les plus importantes sont observées se situe dans le virage sud avec au maximum 50 cm. La zone évacue rapidement l'eau dès que les débits diminuent. Grâce à la forte pente de la route, il n'y a pas de stagnation. Le bâtiment projeté n'est pas inondé puisque l'entrée du rez-de-chaussée ne se situe pas dans l'axe des écoulements et le plancher est en pente. Les vitesses maximales des écoulements sont diminuées sur l'emprise du projet et le long de la rue Jean-Baptiste Pastor. Les écoulements empruntent le nouveau chemin préférentiel, à savoir la nouvelle route construite pour le projet à l'ouest du bâtiment. C'est à cet endroit que les vitesses maximales sont observées au droit du projet. Elles ne dépassent pas 0,9 m/s.

Les figures en situation projetée se trouvent sur la page suivante et en annexe de ce rapport.

*Voir annexe – Cartes 5a et 5b*

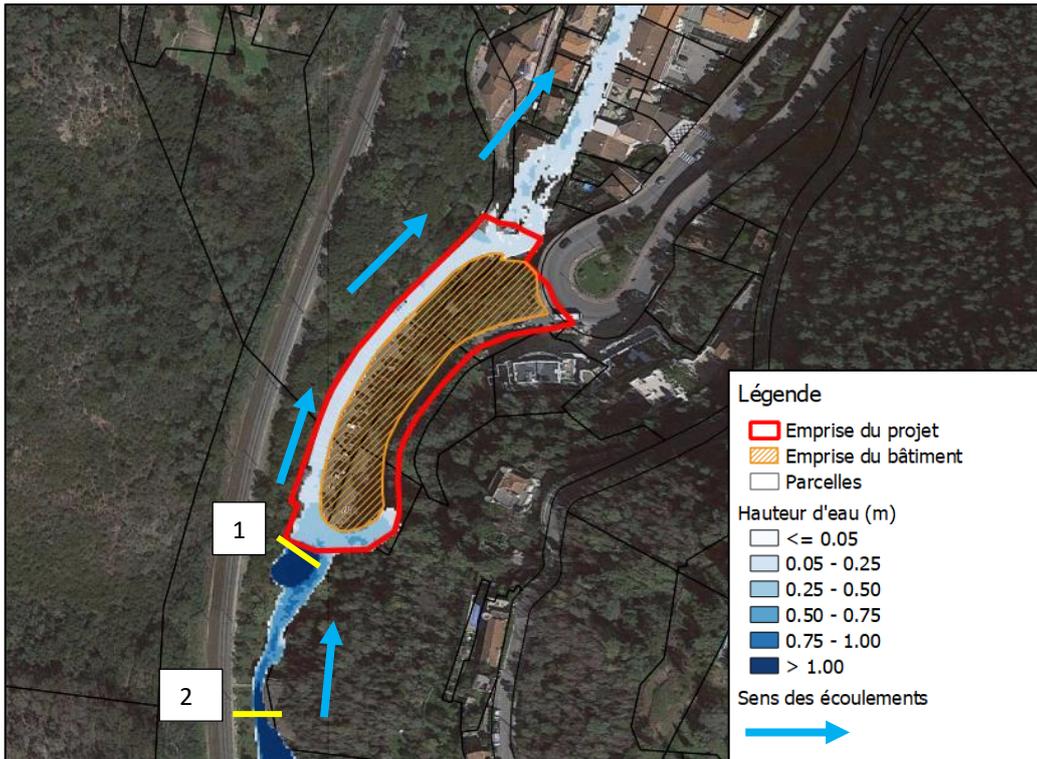


Illustration 35 : Hauteurs d'eau maximales modélisées pour une crue centennale augmentée de 20% en situation projetée

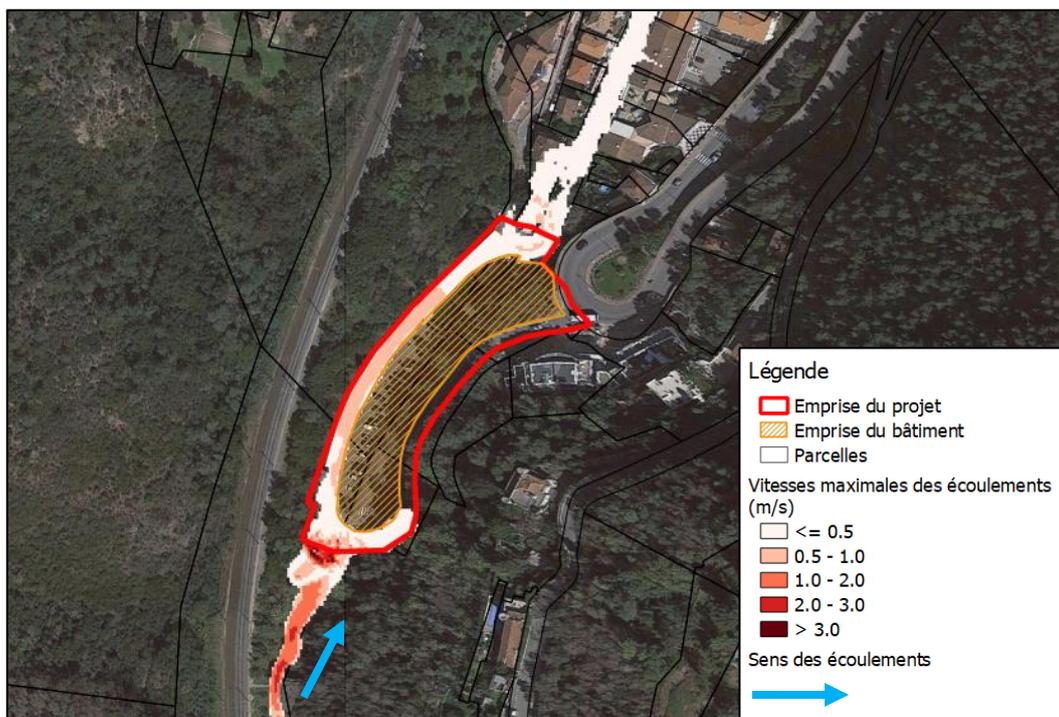


Illustration 36 : Vitesses d'écoulement maximales modélisées pour une crue centennale augmentée de 20% en situation projetée

Le régime d'écoulement à travers la buse située sous l'emprise du projet et connectée au réseau aval du centre-ville a été analysé au travers du logiciel d'analyse de conduites hydrauliques HY8. Pour des débits allant  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  à  $21 \text{ m}^3/\text{s}$ , la hauteur critique est plus grande que la hauteur normale, le régime est supercritique et donc contrôlé par l'amont. **Une saturation du réseau en aval du projet n'a, à priori, pas d'impact sur la capacité de la buse du vallon de l'Autel.**

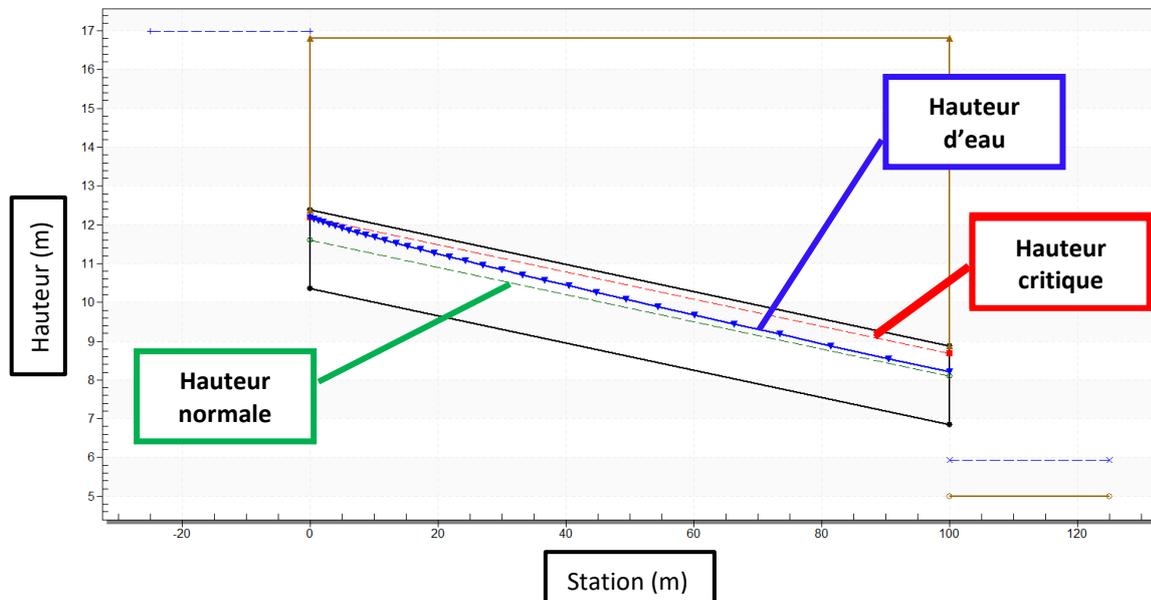


Illustration 37 : Régime d'écoulement dans la buse du vallon de l'Autel

### 6.3.10.3 Points d'engouffrement potentiel

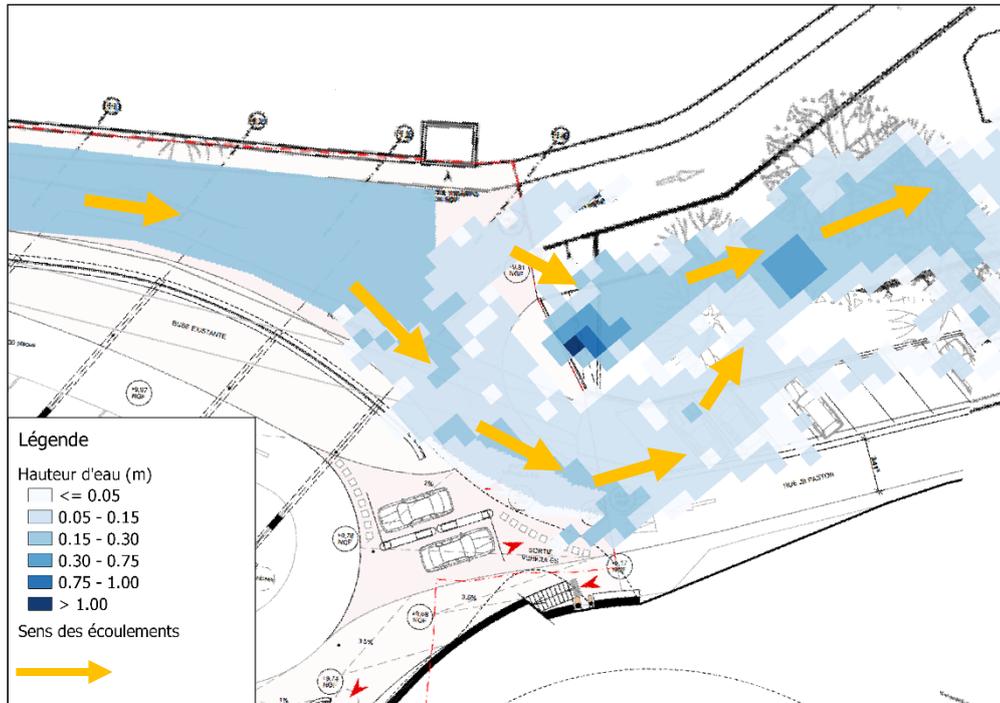
Deux points d'engouffrement potentiel existent au droit du projet. Le premier se situe au niveau de l'entrée des véhicules du rez-de-chaussée et le second au niveau de la sortie des véhicules du niveau R+1.

Au niveau du rez-de-chaussée, les écoulements contournent le bâtiment sans s'y infiltrer. L'entrée du rez-de-chaussée est située hors de l'axe préférentiel des écoulements. L'altimétrie au droit de l'entrée ainsi que la pente douce du plancher du rez-de-chaussée maintiennent le bâtiment hors d'eau pour la crue exceptionnelle modélisée.

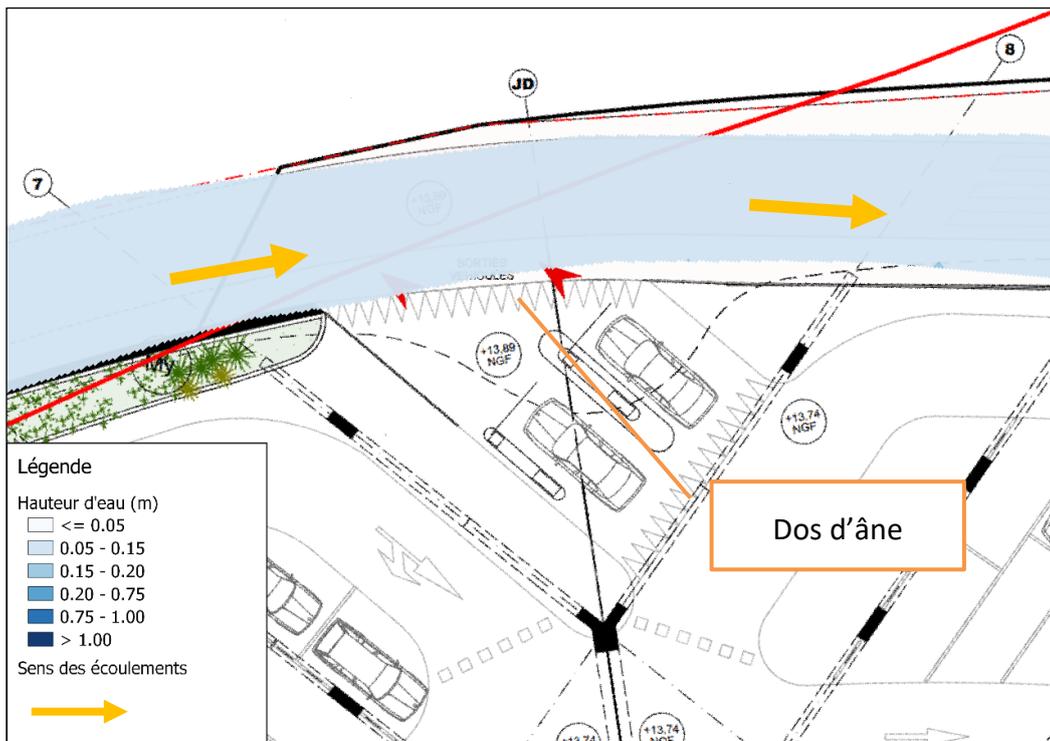
La hauteur d'eau atteint 25 cm au bas de la voirie contournant le bâtiment. Devant l'entrée du rez-de-chaussée, les hauteurs varient entre 0 et 20 cm.

Au droit de la sortie des véhicules au niveau R+1, les résultats de la modélisation montrent que la hauteur d'eau maximale ne dépasse pas **20 cm** sur la voirie. L'installation d'une différence de hauteur de 30 cm entre la voirie et la sortie du R+1 permet de maintenir le niveau à sec. L'ajout de 10 cm à la hauteur d'eau maximale permet de sécuriser le maintien à sec du niveau R+1. Cette différence de hauteur sera intégrée au bâtiment via l'ajout d'un dos d'âne et l'abaissement altimétrique de la voirie.

Les hauteurs d'eau modélisées pour la crue de référence sont illustrées dans les figures suivantes.



**Illustration 38 : Hauteurs d'eau maximales modélisées pour une crue exceptionnelle au droit de l'entrée du rez-de-chaussée**



**Illustration 39 : Hauteurs d'eau maximales modélisées pour une crue exceptionnelle au droit de la sortie des véhicules au niveau R+1**

### 6.3.11 Analyse du risque d'embâcle

La buse (2) en amont du parking comporte un piège à embâcles à son entrée. Le but de cette modélisation est d'analyser les risques auxquels le projet s'expose si le piège à embâcles n'est pas correctement entretenu lors de la survenue d'une crue d'occurrence centennale.

Le risque d'embâcles a été modélisé pour le scénario où le piège à embâcles de la buse en arche (2) qui se trouve en amont de la buse (1) du parking se trouverait bouché. Ceci représente le scénario le plus probable au vu des installations en place.

En situation existante dans le cas où la buse en amont du parking est bouchée, la buse sous le parking atteint la limite de ses capacités. Les écoulements sont capables de saturer la buse (1) et d'inonder partiellement le parking et la rue Jean Baptiste Pastor. Les hauteurs et les vitesses d'écoulement sont néanmoins très faibles.

En amont, la zone reprise entre les deux buses est fortement inondée avec des hauteurs et des vitesses élevées.

Voir annexe 1 – Cartes 3a et 3b

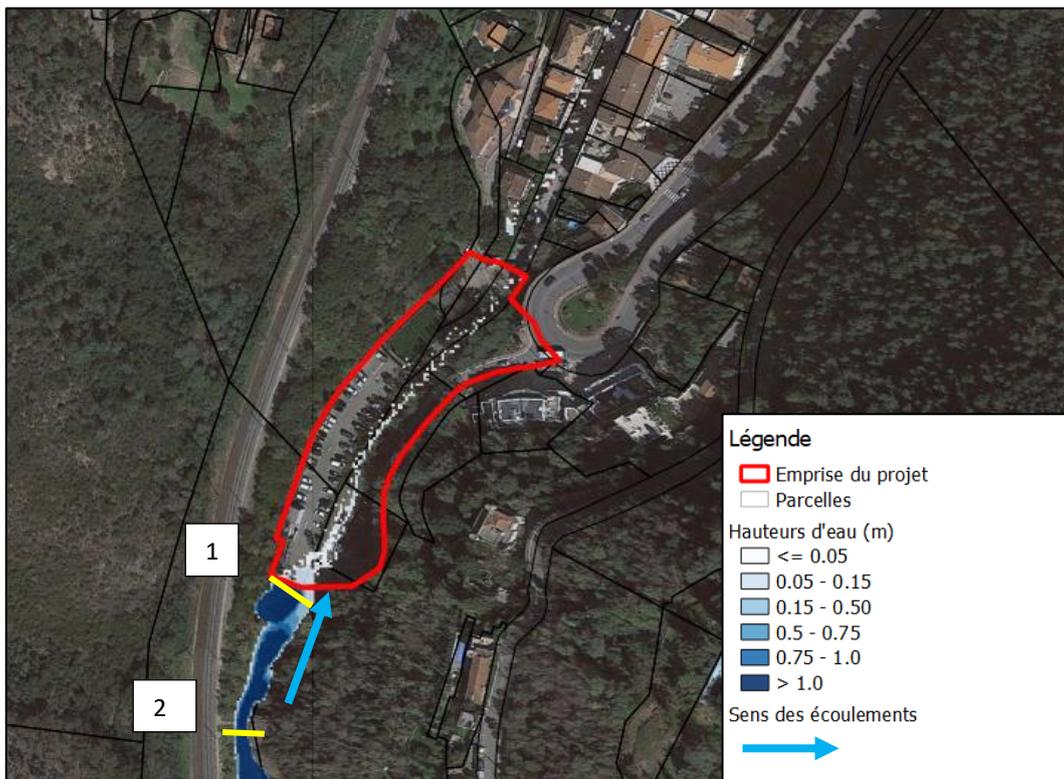
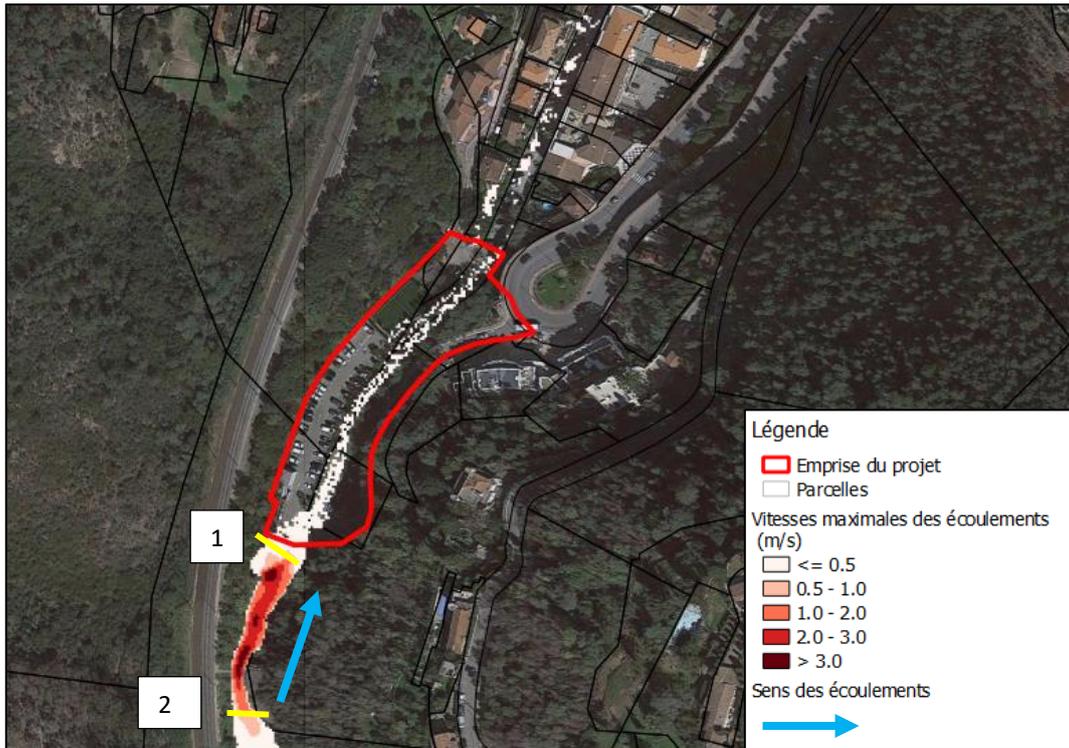


Illustration 40 : Hauteurs d'eau maximales modélisées pour une crue centennale avec la buse en amont bouchée en situation existante



**Illustration 41 : Vitesses d'écoulement maximales modélisées pour une crue centennale avec la buse en amont bouchée en situation existante**

En situation projetée, le comportement des écoulements en amont de l'emprise du projet est identique à la situation existante. Au droit du projet, le bâtiment bloque l'eau dans le virage sud de la rue Jean Baptiste Pastor. Les hauteurs d'eau atteignent au maximum 15 cm et la vitesse des écoulements reste inférieure à 0,3 m/s.

Les figures représentant les écoulements en situation projetée sont visibles sur la page suivante.

*Voir annexe 1 – Cartes 6a et 6b*



Illustration 42 : Hauteurs d'eau maximales modélisées pour une crue centennale avec la buse en amont bouchée en situation projetée

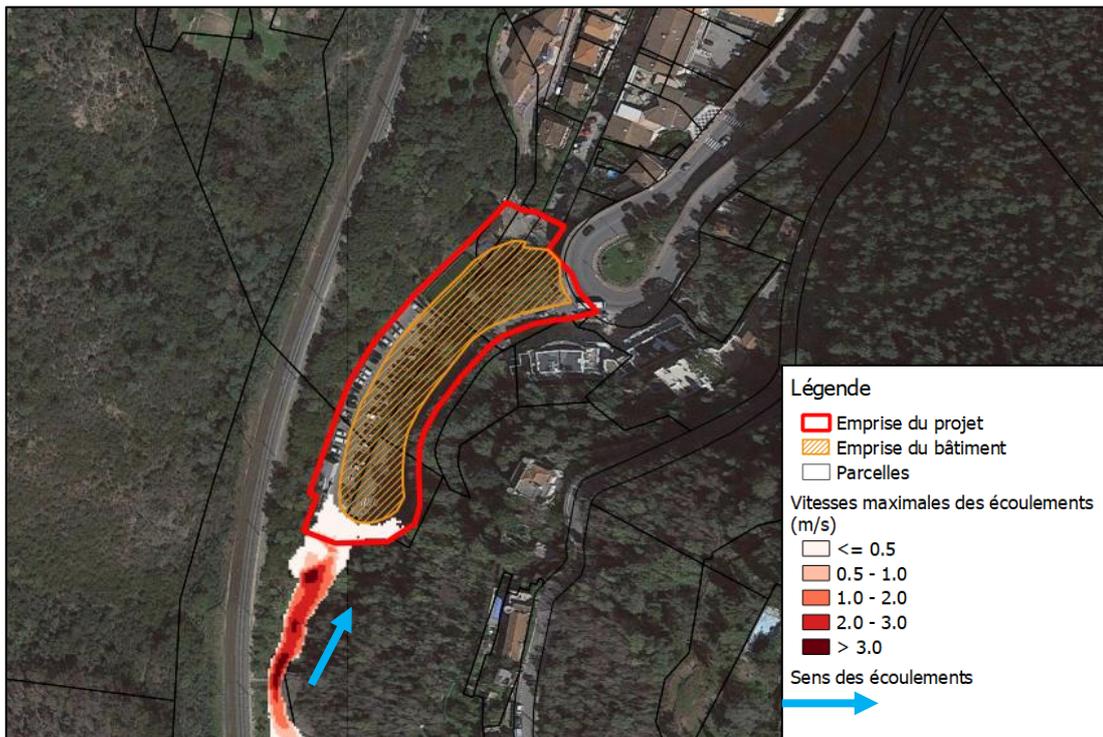


Illustration 43 : Vitesses d'écoulement maximales modélisées pour une crue centennale avec la buse en amont bouchée en situation projetée

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 ce modèle, l'analyse a pour but de quantifier l'influence du débit de la crue centennale et des coefficients de rugosité du sol sur les hauteurs d'eau maximales simulées au droit de la zone d'étude.

L'étude de sensibilité a été établie pour 3 valeurs : la première étant la valeur de référence calculée, les 2 autres constituant les marges de sensibilité allant de - 20% à +20%.

Le taux de variation ( $T_s$ ) est alors calculé en pourcentage :

$$T_s = ((V_E - V_{E_{réf}}) / V_{E_{réf}}) \times 100$$

Où :  $V_{E_{réf}}$  : Valeur de référence de la variable analysée ;

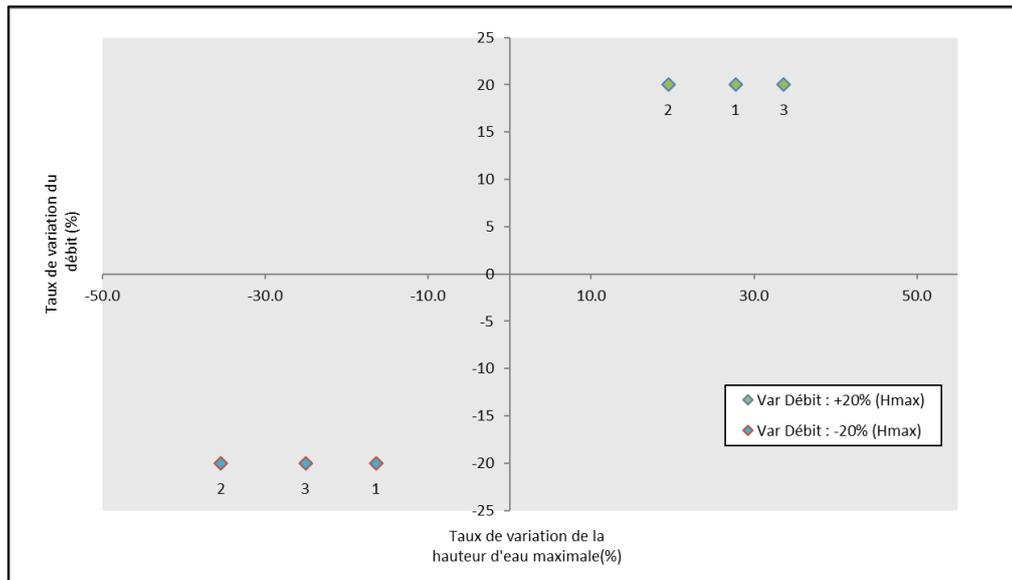
$V_E$  : Valeur correspondant à une variation donnée de la variable analysée.

Le test de sensibilité est réalisé dans le cadre de la modélisation de la crue centennale. L'analyse est réalisée en 3 points dans le vallon de l'Autel en amont des buses tels que localisés sur la carte suivante.

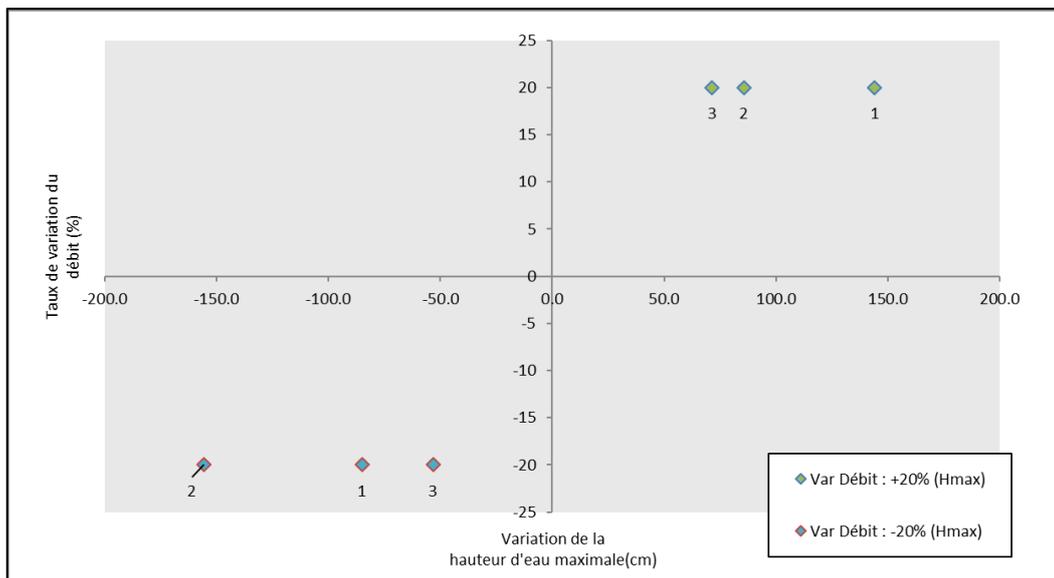


Illustration 44 : Localisation des trois points où est réalisée l'analyse de sensibilité

Les résultats présentés sur les figures en page suivante montrent qu'une **augmentation ou une diminution de 20 % du débit de crue sur la zone d'étude induisent des variations de hauteurs d'eau maximales de 145 cm.**



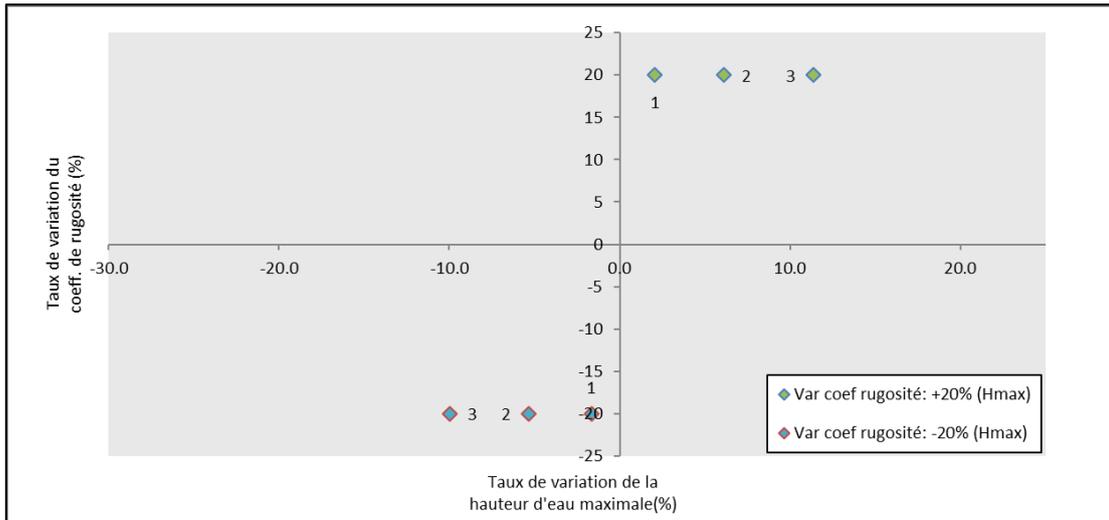
**Illustration 45 : Taux de variation de la hauteur d'eau modélisée en fonction de la variation des débits du modèle (pourcentage)**



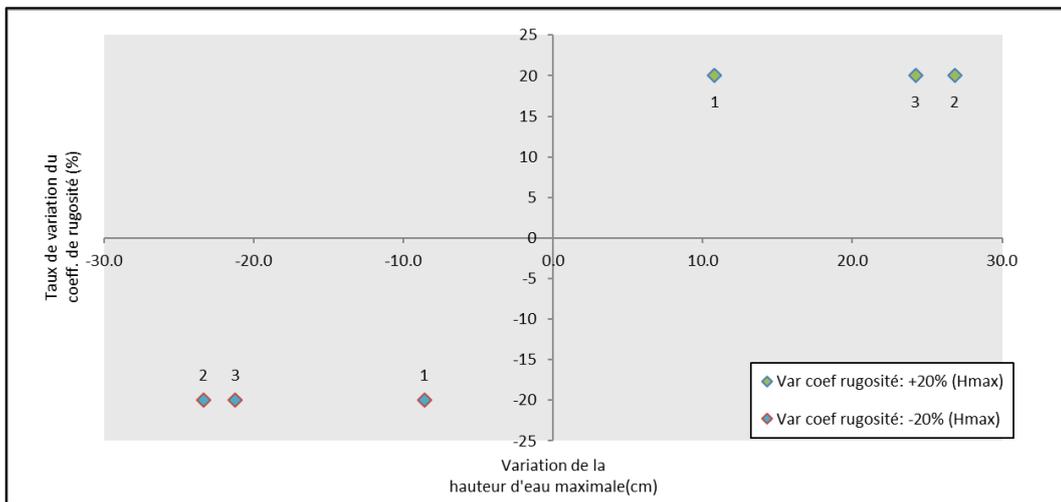
**Illustration 46 : Variation de la hauteur d'eau maximale modélisée en fonction de la variation des débits du modèle (centimètres)**

Avec une diminution de 20% du débit, les deux buses fonctionnent normalement. Avec le débit de la crue centennale, la buse (2) surverse et avec une augmentation de 20% les buses (1) et (2) surversent. Ces phénomènes sont à l'origine des grandes variations des hauteurs d'eau maximales. Le modèle est très sensible aux changements de débits.

Les résultats présentés sur les figures suivantes montrent qu'une **augmentation ou une diminution de 20 % des coefficients de rugosité sur la zone d'étude induisent des variations de hauteurs d'eau maximales de 27 cm.**



**Illustration 47 : Taux de variation de la hauteur d’eau modélisée en fonction de la variation des coefficients de rugosité du modèle (pourcentage)**



**Illustration 48 : Variation de la hauteur d’eau maximale modélisée en fonction de la variation des coefficients de rugosité du modèle (centimètres)**

Comme énoncé précédemment, les coefficients de rugosité utilisés sont issus de la littérature et d'études hydrauliques similaires. La variation de la hauteur d'eau maximale modélisée induite par le test de sensibilité valide les coefficients choisis initialement mais démontre que **le modèle est sensible**. Ils sont conservés dans le cadre de la présente étude.

**7****CONCLUSION**

La ville de Théoule-sur-Mer souhaite réaménager le parking de la rue Jean-Baptiste Pastor dans le but de désengorger la circulation dans le centre-ville et de proposer de nouveaux lieux pour services municipaux. Le projet prévoit la construction d'un parc de stationnement, la Maison de l'Esterel et un accès piéton au parc de l'Esterel. L'emprise au sol totale du projet est d'environ 5 202 m<sup>2</sup>.

Le projet est soumis à un dossier d'Autorisation pour les rubriques 2.1.5.0 et 3.1.2.0 de la Loi sur l'Eau, et à déclaration pour la rubrique 3.2.2.0.

L'objet de la présente notice est d'étudier l'impact du projet sur le risque inondation. En situation projetée, la future topographie a été modélisée selon un schéma d'implantation incluant le dévoiement de la buse contenant l'Autel sous le parking, la future route, le niveau du rez-de-chaussée, les murs de l'enceinte du bâtiment et son entrée au rez-de-chaussée.

Dans l'ensemble, cette construction ne va pas représenter de gêne dans l'écoulement des eaux en situation de crue centennale car le vallon de l'Autel est entièrement busé à partir du sud de l'emprise du projet jusqu'à son rejet dans la mer. La nouvelle buse dévoyée est, pareillement à la buse actuelle, dimensionnée pour la crue centennale.

L'étude hydraulique s'est portée sur l'analyse de trois situations : la crue centennale, la crue centennale augmentée de 20% et la situation où les embâcles obstruent la buse en amont du parking. Dans le cas de la crue centennale augmentée de 20%, la conduite sous le parking est saturée et les écoulements se déversent dans l'emprise du projet. Dans le cas de la buse amont bouchée par les embâcles, les écoulements sont déviés et impactent l'emprise du projet.

La crue de référence est la crue d'occurrence 100 ans augmentée de 20%. En situation existante, les écoulements suivent principalement un axe préférentiel : la voirie de la rue Jean-Baptiste Pastor. En situation projetée, les aménagements ne modifient pas le chemin préférentiel des écoulements le long de la rue Jean-Baptiste Pastor. Les caractéristiques du bâtiment (rez-de-chaussée en pente, entrée des véhicules située hors de l'axe des écoulements) et les mesures de mise en sécurité (dos d'âne au niveau de la sortie des véhicules du niveau R+1) maintiennent le bâtiment à sec pour la crue d'occurrence exceptionnelle.