



24AGS102

Avril 2024

Etudes hydrauliques

Risque inondation et gestion des eaux pluviales

Projet : Construction d'un équipement socio-culturel
et aménagement des espaces publics

Localisation : 83 240 Cavalaire-sur-Mer



TABLE DES MATIERES

| | |
|--|-----------|
| 1 CONTEXTE ADMINISTRATIF | 1 |
| 2 OBJECTIFS DE L'ÉTUDE, LOCALISATION ET DESCRIPTION DU PROJET | 2 |
| 2.1 Objectif de l'étude | 2 |
| 2.2 Description du site en situation existante | 3 |
| 2.3 Composition du projet | 4 |
| 2.4 Relief général de la zone d'étude | 6 |
| 3 CONTEXTE HYDROLOGIQUE | 8 |
| 3.1 Réseau hydrographique à proximité du projet..... | 8 |
| 3.2 Relief et bassin versant élargi | 9 |
| 4 DESCRIPTION DES RISQUES D'INONDATION AU DROIT DU PROJET | 10 |
| 4.1 Plan Local d'Urbanisme | 10 |
| 4.2 Exzeco | 11 |
| 4.3 Etudes SCE | 11 |
| 4.4 Risque de remontée de nappe..... | 13 |
| 4.5 Périmètre de captage d'eau potable | 15 |
| 5 IMPOSITIONS REGLEMENTAIRES EN MATIERE DE GESTION DES EAUX PLUVIALES ET DU RISQUE INONDATION | 16 |
| 5.1 Impositions règlementaires en matière de gestion des eaux pluviales..... | 16 |
| 5.2 Impositions règlementaires en matière de gestion du risque inondation | 19 |
| 6 MODELISATION HYDRAULIQUE DE LA ZONE D'ÉTUDE..... | 20 |
| 6.1 Méthodologie générale | 20 |
| 6.2 Pluviométrie statistique..... | 21 |
| 6.3 Construction du modèle | 24 |
| 6.4 Résultats de la modélisation de la crue de référence | 31 |
| 7 GESTION DES EAUX PLUVIALES | 42 |
| 7.1 Etude hydrologique | 42 |
| 7.2 Dimensionnement de l'ouvrage de rétention | 50 |
| 8 CONCLUSION | 58 |

LISTE DES ILLUSTRATIONS

| | |
|--|----|
| Illustration 1 : Localisation du projet sur la commune de Cavalaire-sur-Mer | 2 |
| Illustration 2 : Parcelles cadastrales (source : Géoportail, 2024) | 3 |
| Illustration 3 : Situation existante | 3 |
| Illustration 4 : Plan des aménagements (Source : Atelier du Pont, 2024) | 4 |
| Illustration 5 : Plan de masse (Source : Atelier du Pont, 04/2024) | 5 |
| Illustration 6 : Topographie et sens des écoulements à proximité du projet (Source : Scan 25, IGN) | 6 |
| Illustration 7 : Topographie en situation existante (Source : RGE Alti, 2024)..... | 7 |
| Illustration 8 : Réseau hydrographique au droit du site | 8 |
| Illustration 9 : Carte altimétrique et bassin versant élargi (Source : SCE, 2024) | 9 |
| Illustration 10 : Localisation du projet au PLU (Source : PLU, 2021)..... | 10 |
| Illustration 11 : Zonage EXZECO au droit du projet | 11 |
| Illustration 12 : Mise à jour de la définition du risque débordement de cours d'eau (Source : SCE, 2024) | 12 |
| Illustration 13 : Hauteurs d'eau et sens des ruissellements modélisés au droit du projet en situation existante (Source : SCE, 2024) | 12 |
| Illustration 14 : Cartographie de l'aléa pour une pluie centennale (Source : SCE, 2024)..... | 13 |
| Illustration 15 : Risque de remontée de nappe au droit du projet..... | 14 |
| Illustration 16 : Synthèse des relevés piézométriques réalisés dans le cadre du projet (Source : ABO-ERG Géotechnique, 12/2023) | 14 |
| Illustration 17 : Niveaux caractéristiques estimés (NF-P94-261 et NF P94-262) (Source : ABO-ERG Géotechnique, 12/2023) | 14 |
| Illustration 18 : Périmètre de protection des captages d'eau potable au droit du projet (Source : ARS PACA) | 15 |
| Illustration 19 : Localisation du projet au PLU | 16 |
| Illustration 20 : Représentation schématique des courbes IDF (Source : echo2.epf.ch)..... | 21 |
| Illustration 21 : HyétoGramme de la pluie d'occurrence 100 ans..... | 23 |
| Illustration 22 : Principales étapes liées à la construction d'un modèle hydraulique (Source : AquaGeoSphere) | 24 |
| Illustration 23 : Emprise du modèle..... | 25 |
| Illustration 24 : Données topographiques exploitées pour la modélisation hydraulique (Source : RGE Alti 1m, IGN) | 26 |

| | |
|--|----|
| Illustration 25 : Occupation du sol au niveau de l'emprise du modèle (Source : CorineLandCover) | 27 |
| Illustration 26 : Maillage utilisé pour la réalisation du modèle | 29 |
| Illustration 27 : Hauteur et sens des écoulements des eaux pluviales en situation existante pour un événement centennal | 31 |
| Illustration 28 : Vitesse et sens des écoulements des eaux pluviales en situation existante pour un événement centennal | 32 |
| Illustration 29 : Topographie en situation projetée | 33 |
| Illustration 30 : Coupe de l'entrée du parking (Source : Atelier du Pont, 2024)..... | 34 |
| Illustration 31 : Hauteur et sens des écoulements des eaux pluviales en situation projetée pour un événement centennal | 35 |
| Illustration 32 : Hauteur et sens des écoulements des eaux pluviales en situation projetée pour un événement centennal | 36 |
| Illustration 33 : Vitesse et sens des écoulements des eaux pluviales en situation projetée pour un événement centennal | 36 |
| Illustration 34 : Impacts du projet sur les hauteurs d'eau | 37 |
| Illustration 35 : Impacts du projet sur les vitesses..... | 38 |
| Illustration 36 : Points d'intérêt pour l'analyse de sensibilité de la hauteur d'eau..... | 39 |
| Illustration 37 : Taux de variation (%) des hauteurs d'eau modélisées en fonction du coefficient de rugosité | 40 |
| Illustration 38 : Taux de variation (%) des hauteurs d'eau modélisées en fonction du débit40 | |
| Illustration 39: Taux de variation (%) des vitesses maximales modélisées en fonction du coefficient de rugosité | 41 |
| Illustration 40: Taux de variation (%) des vitesses maximales modélisées en fonction du débit | 41 |
| Illustration 41 : Bassins versants étudiés dans le cadre du projet (Source : SCE, 2023)..... | 42 |
| Illustration 42 : Coefficients de ruissellement préconisés par la MISEN 83 | 44 |
| Illustration 43 : Pluies brutes d'occurrences centennale, d'une durée totale de 4h intégrant un pic d'intensité de 9 minutes ou de 10 minutes..... | 52 |
| Illustration 44 : Hydrogrammes générés pour une pluie d'occurrence centennale en situation projetée pour les parcelles de projet et le bassin versant amont | 53 |
| Illustration 45 : Courbe de remplissage des bassins de rétention des eaux pluviales en considérant les parcelles de projet et en considérant le bassin versant amont | 54 |
| Illustration 46 : Plan des réseaux humides | 57 |

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : Coefficients de Montana de la station météorologique de Bormes-les-Mimosas (Source : Météo-France, entre 1991 et 2021) | 23 |
| Tableau 2 : Coefficients de Manning associés à chaque occupation de sol (Source : SCE, 2023) | 27 |
| Tableau 3 : Curve Number pour les différentes affectations du sol (Source : SCE, 2023) | 28 |
| Tableau 4 : Hauteurs au droit des points d'analyse | 39 |
| Tableau 5 : Variation (m) des hauteurs d'eau modélisées | 40 |
| Tableau 6 : Variation (m) des vitesses d'eau modélisées | 41 |
| Tableau 7: Répartition des surfaces (en m ²) pour les différentes emprises étudiées | 43 |
| Tableau 8 : Coefficients de ruissellement utilisés dans le cadre de l'étude | 45 |
| Tableau 9 : Répartition des surfaces et coefficients de ruissellement associés aux parcelles de projet | 45 |
| Tableau 10 : Répartition des surfaces et coefficients de ruissellement associés au bassin amont drainé par le projet | 46 |
| Tableau 11 : Comparaison des méthodes de calcul du temps de concentration | 47 |
| Tableau 12 : Calcul des temps de concentration | 48 |
| Tableau 13 : Coefficients de Montana à la station de Toulon (Source : Météo-France, 2022) . | 49 |
| Tableau 14 : Intensités maximales et hauteurs d'eau précipitées pour des pluies d'occurrences 2 à 100 ans, de durée 9 et 10 min | 49 |
| Tableau 15 : Débits de pointe générés pour des événements pluvieux de périodes de retour de 2 à 100 ans, estimés en situations de référence et projetée | 50 |
| Tableau 16 : Répartition des surfaces en situations existante et projetée dans le cadre de la méthode de la « surface imperméabilisée » (MISEN 83) | 51 |
| Tableau 17 : Comparaison des volumes de rétention obtenus avec les différentes méthodes | 55 |
| Tableau 18 : Caractéristiques des ouvrages de rétention | 56 |

CONTEXTE ADMINISTRATIF

La présente étude hydraulique s'insère dans le cadre du projet d'aménagement d'équipements et d'espaces publics dénommé « Cœur de Ville » sur le territoire communal de Cavalaire-sur-Mer, dans le Var (83). Le projet consiste en l'aménagement de bureaux, de salles de spectacles, de commerces, d'une place de marché, de promenades paysagères et d'un parking souterrain.

| Commanditaire de l'étude | Rédacteur de l'étude |
|--|---|
| <p>COMMUNE DE CAVALAIRE-SUR-MER</p>  <p>109, Avenue Gabriel Peri 83 240 Cavalaire-sur-Mer</p> <p>Contact :</p> <p>Isabelle Avanozian Téléphone : 04 94 00 11 40 E-mail : isabelle.avanozian@cavalaire.fr</p> | <p>AQUAGEOSPHERE</p>  <p>13, Avenue des Maquisards 13 126 Vauvenargues</p> <p>Contact :</p> <p>Savannah Rogivue Téléphone : 04 42 57 69 28 E-mail : s.rogivue@aquageosphere.com</p> |

| Version | Date | Rédaction | Vérification |
|---------|------------|------------|--------------|
| V1 | 15/04/2024 | S. Rogivue | F. Luz |

OBJECTIFS DE L'ÉTUDE, LOCALISATION ET DESCRIPTION DU PROJET

2.1 Objectif de l'étude

Le projet se situe sur les parcelles cadastrées BV 177, 178, 179, 180, 181 et 183 représentant une surface foncière totale de 23 840 m², soit 2,4 ha. Il est délimité à l'ouest par l'avenue Pierre et Marie Curie et au sud par l'avenue Charles de Gaulle.

La présente notice hydraulique a pour objectif de :

- Quantifier les impacts du projet sur l'aléa inondation ;
- Dimensionner la structure de rétention nécessaire à la gestion des eaux pluviales après aménagement du site.

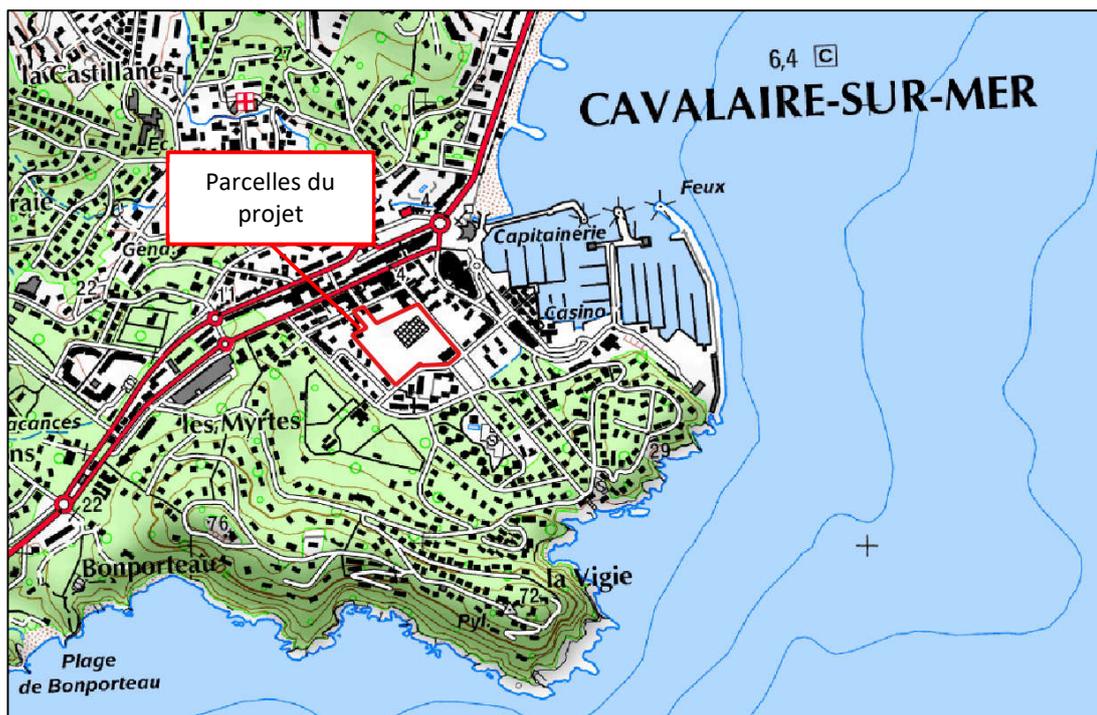


Illustration 1 : Localisation du projet sur la commune de Cavalaire-sur-Mer

2.2 Description du site en situation existante

Le projet d'aménagement du Cœur de Ville s'étend sur une surface de 23 840 m² au centre-est de la commune de Cavalaire-sur-Mer.

Il s'inscrit au droit du complexe sportif Henry Gros au croisement des avenues Charles de Gaulle et Pierre et Marie Curie. Partiellement en friche, le terrain est aujourd'hui occupé par une place de marché et un parking en plein air de 250 places, aménagés autour d'un gymnase ainsi qu'une salle des fêtes.

Le réseau pluvial de la commune a fait l'objet d'une mission de géodétection. Le diamètre de la conduite sous l'avenue Pierre et Marie Curie est de 800 mm.

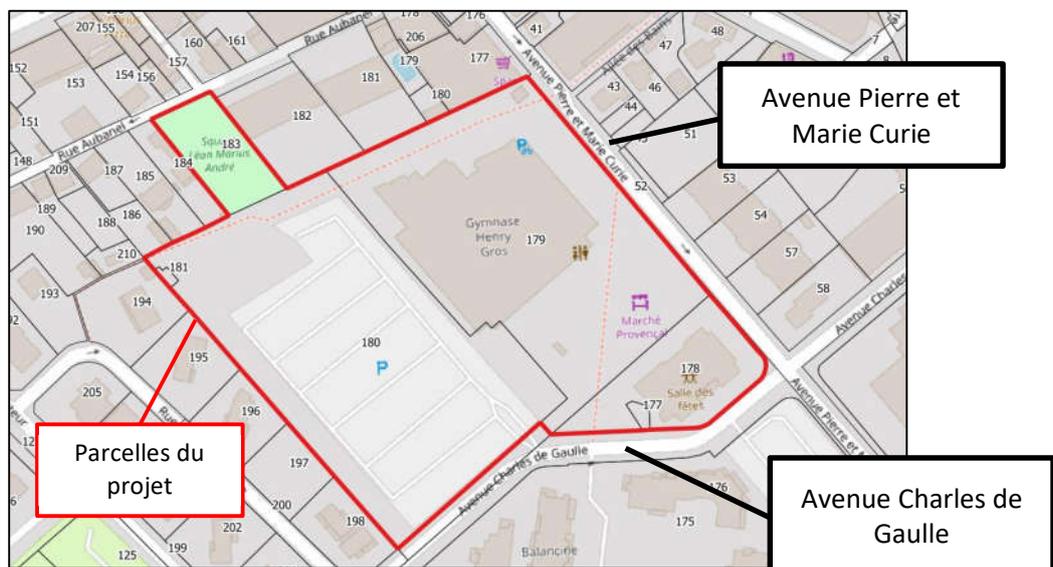


Illustration 2 : Parcelles cadastrales (source : Géoportail, 2024)

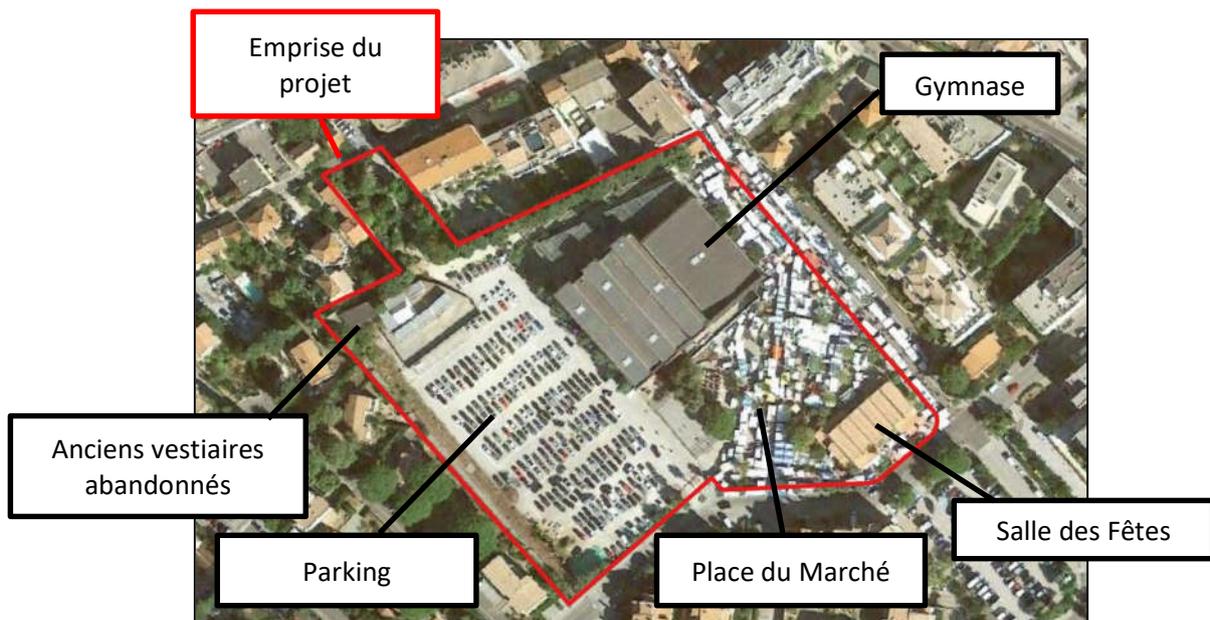


Illustration 3 : Situation existante

2.3 Composition du projet

Le Cœur de Ville vise la création d'un espace public de qualité pour les habitants et les visiteurs de la ville en y apportant des espaces culturels et économiques. Le projet consiste en l'aménagement du cours du marché, la création du jardin des cultures et de la maison des cultures et des arts vivants, l'aménagement d'une promenade du port mettant le projet en relation avec les aménagements du centre-ville, le casino de jeux et le port.

Le projet est à dominante piétonne et s'organise en cinq espaces : le Cœur de vie, le Cœur événementiel, le jardin des Cultures, le Cœur économique et la Promenade du Port.

Un parking sous-terrain de 300 places sur deux niveaux sera aménagé sous les bâtiments destinés au Cœur de vie et au Cœur événementiel. Le parking souterrain assurera le remplacement des 250 places disponibles en surface en situation existante.

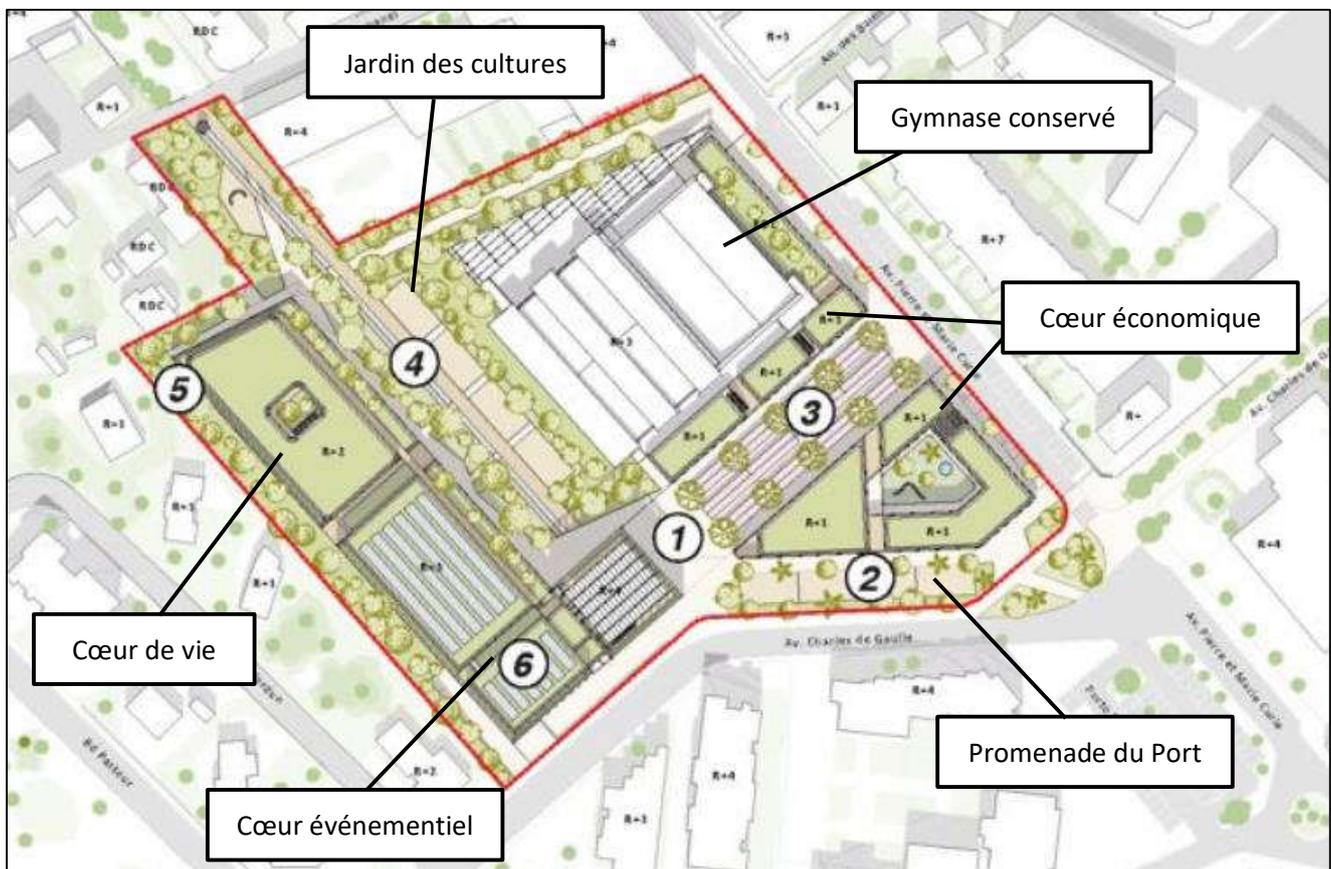


Illustration 4 : Plan des aménagements (Source : Atelier du Pont, 2024)

Projet d'aménagement du Cœur de Ville
83 240 Cavalaire-sur-Mer

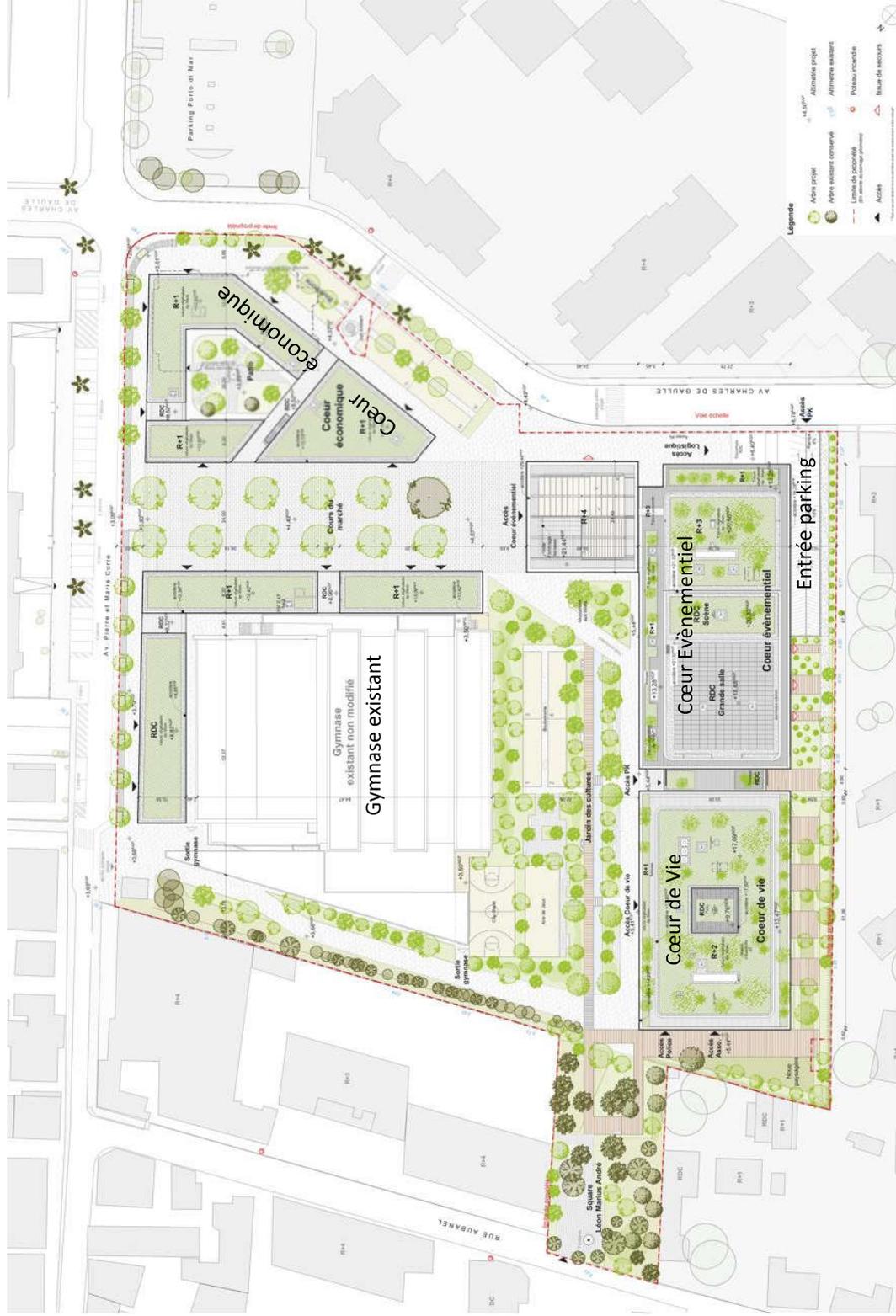


Illustration 5 : Plan de masse (Source : Atelier du Pont, 04/2024)



Les dispositions constructives particulières découlant du positionnement du projet en zone d'aléa ruissellement pluvial et des échanges avec la DDTM83 sont les suivantes :

- L'entrée du parking souterrain comportera un dos d'âne positionné 50 cm au-dessus de la PHE de l'avenue Charles de Gaulle, soit à la cote 7,43 mNGF ;
- Le premier plancher des bâtiments est situé 40 cm au-dessus de la cote des PHE : soit à la cote 4,44 mNGF au droit des bâtiments du Cœur économique et à la cote 5,40 mNGF au droit des bâtiments du Cœur de vie et du Cœur événementiel ;
- Une étude hydraulique est réalisée afin d'assurer la transparence hydraulique du projet, l'absence d'impact sur les voisins et l'intégration des ouvrages de réduction de la vulnérabilité des bâtiments du projet ;
- L'ERP de catégorie 2 est autorisée dans le cadre du projet sous réserve de s'inscrire dans le DICRIM de la commune et de comporter un plan de mise en sécurité.

2.4 Relief général de la zone d'étude

Le projet se situe dans le centre-ville de la commune à 180 m du littoral. L'axe d'écoulement principal provient du quartier Les Myrtes situé au sud-ouest et se dirige vers le port.

En situation existante, aucun ouvrage de rétention n'est présent sur le site. Les eaux ruisselant sur la parcelle rejoignent le réseau de collecte communal situé sous la voirie de l'avenue Pierre et Marie Curie.

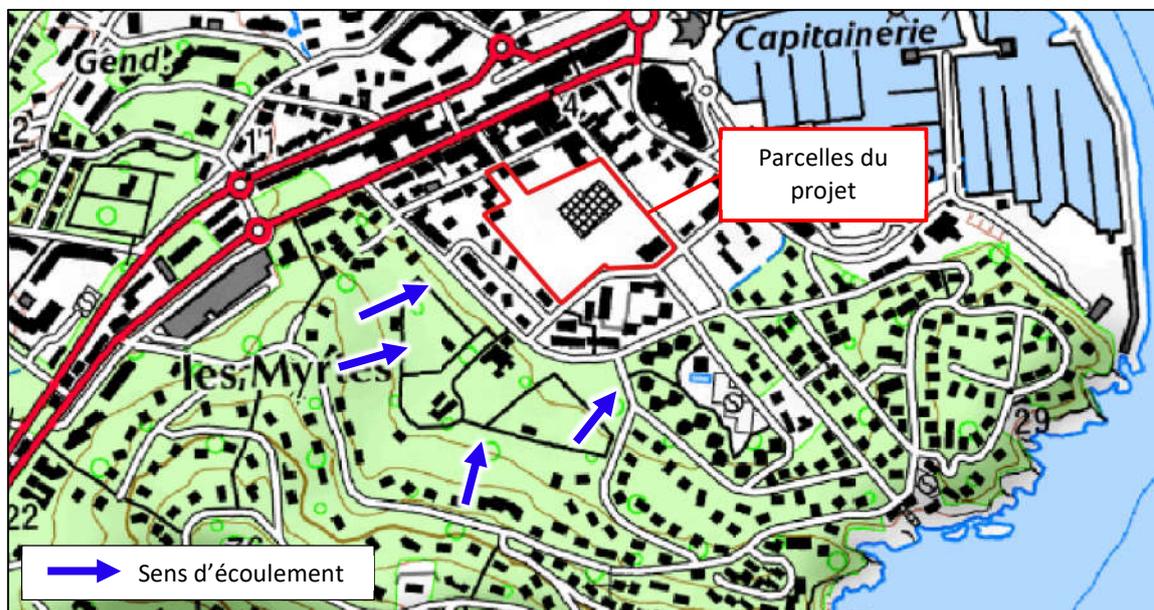


Illustration 6 : Topographie et sens des écoulements à proximité du projet
(Source : Scan 25, IGN)

Les sens d'écoulement au droit de la parcelle sont décrits dans la figure ci-dessous. Les données topographiques utilisées dans le cadre de cette étude correspondent au RGE ALTI 1m. Le sens des écoulements au droit de la parcelle s'opère de l'ouest vers l'est du site.

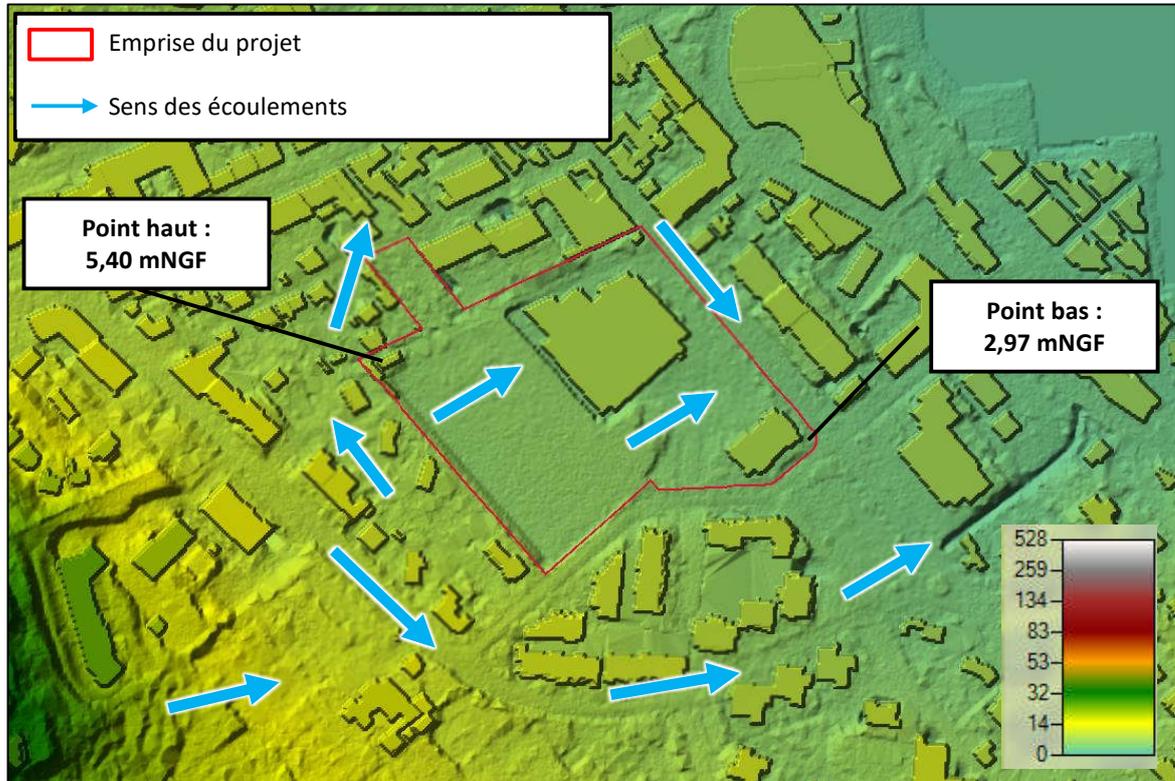


Illustration 7 : Topographie en situation existante (Source : RGE Alti, 2024)

CONTEXTE HYDROLOGIQUE

3.1 Réseau hydrographique à proximité du projet

La parcelle se situe à 260 m environ au sud du ruisseau de la Castellane. Ce cours d'eau se forme en grande partie par le ruissellement des eaux pluviales sur les formations schisteuses. Ce cours d'eau se rejette par la suite dans la mer située à 270 m à l'est de la zone d'étude.

Des cours d'eaux temporaires sont canalisés dans les environs de la zone d'étude.

La cartographie ci-dessous présente le contexte hydrologique au droit du site.

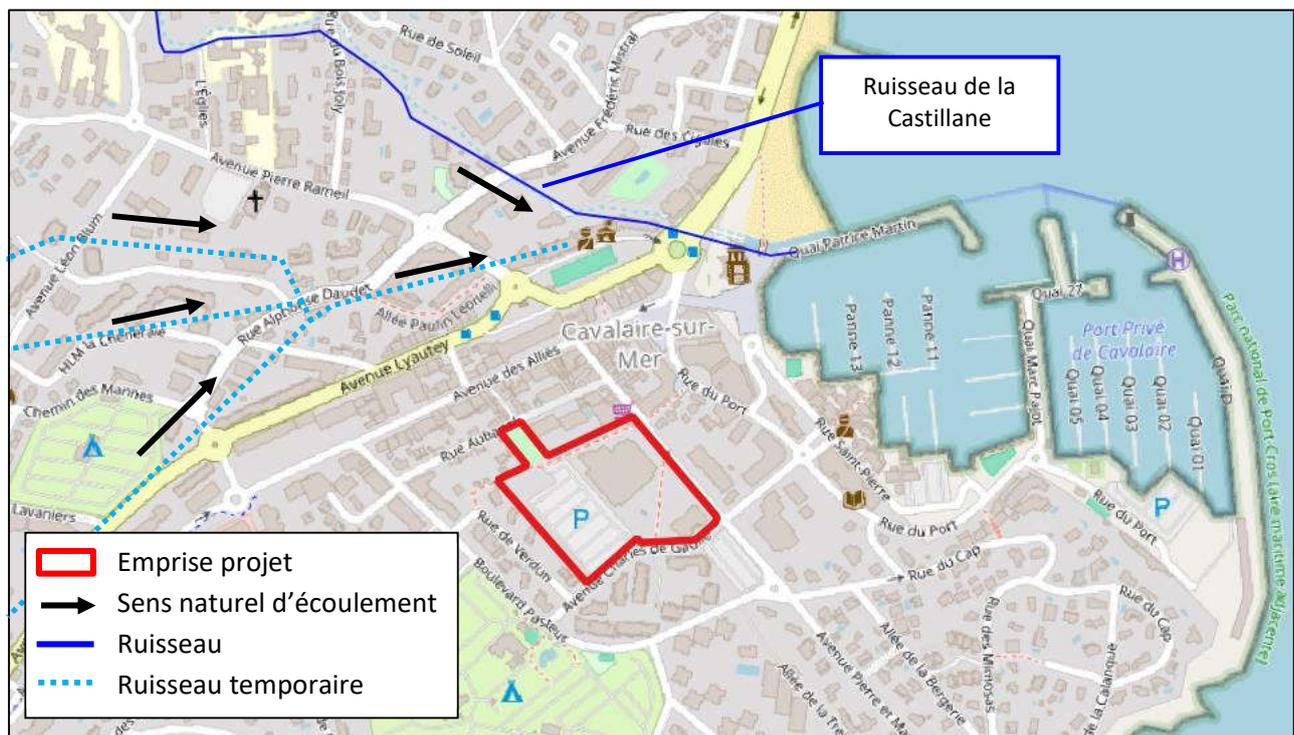


Illustration 8 : Réseau hydrographique au droit du site

3.2 Relief et bassin versant élargi

Le bassin versant élargi drainé par la zone de projet a fait l'objet d'un premier découpage par le bureau d'étude SCE tel que présenté ci-après. Celui-ci s'étend de la colline située au sud jusqu'au secteur d'étude. Le bassin versant élargi présente une aire de 15 ha.

La topographie aux alentours du projet se caractérise par de nombreuses zones de remblais/déblais creusées et érigées par les différentes voiries.

Pour cette raison, la délimitation exacte du bassin versant intercepté par le projet est définie à partir des résultats de la modélisation faisant l'objet d'un chapitre ultérieur.

Les résultats de la modélisation démontrent que le bassin intercepté par le projet transite sur la partie nord de la parcelle.

Voir chapitre 6.4.1 : Modélisation en situation existante

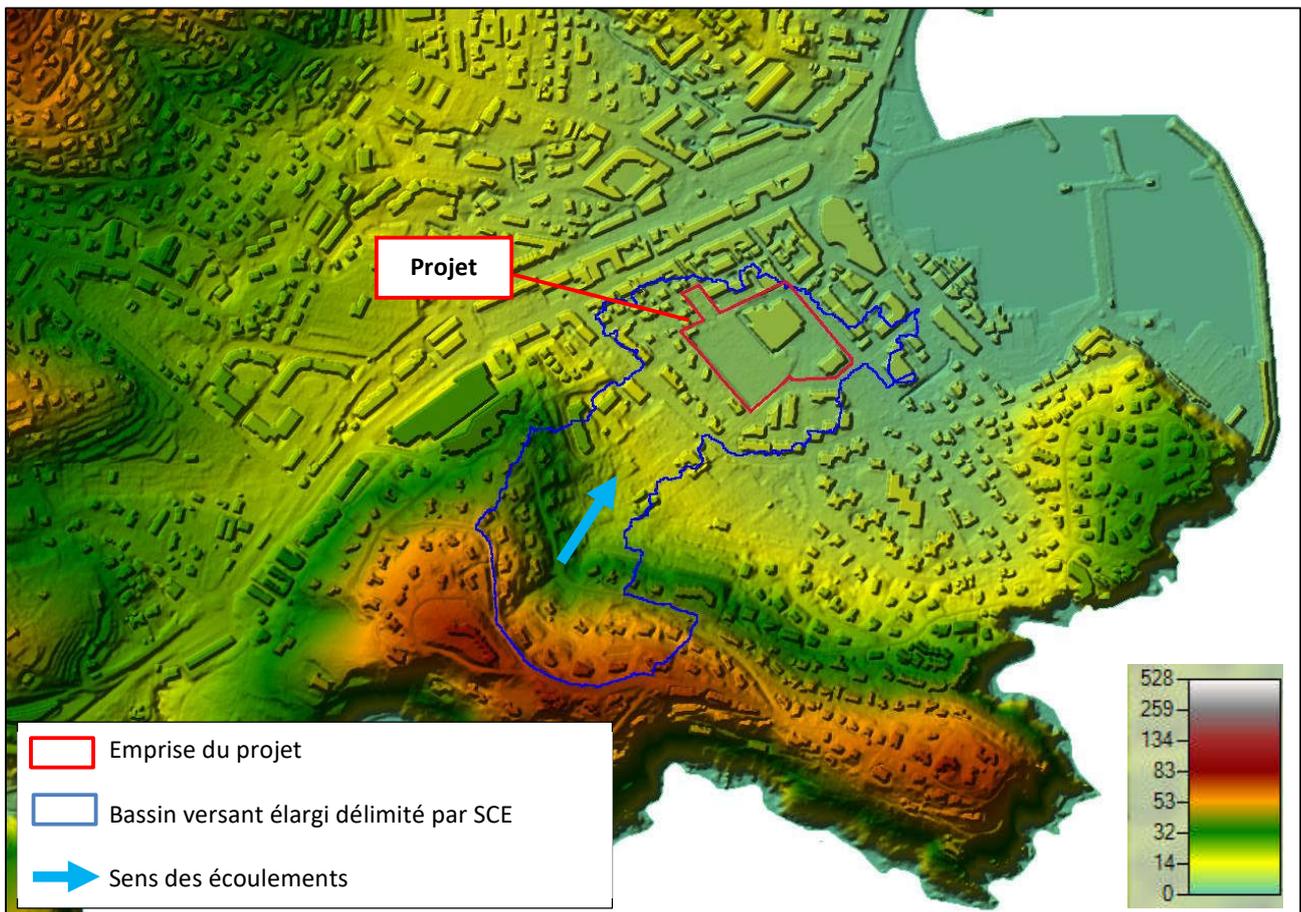


Illustration 9 : Carte altimétrique et bassin versant élargi (Source : SCE, 2024)

DESCRIPTION DES RISQUES D'INONDATION AU DROIT DU PROJET

4.1 Plan Local d'Urbanisme

Le risque inondation, en l'absence de Plan de Prévention des Risques, a fait l'objet d'une étude menée par la commune en 2010. Les risques définis par débordement de cours d'eau, submersion marine et ruissellement sont confondus.

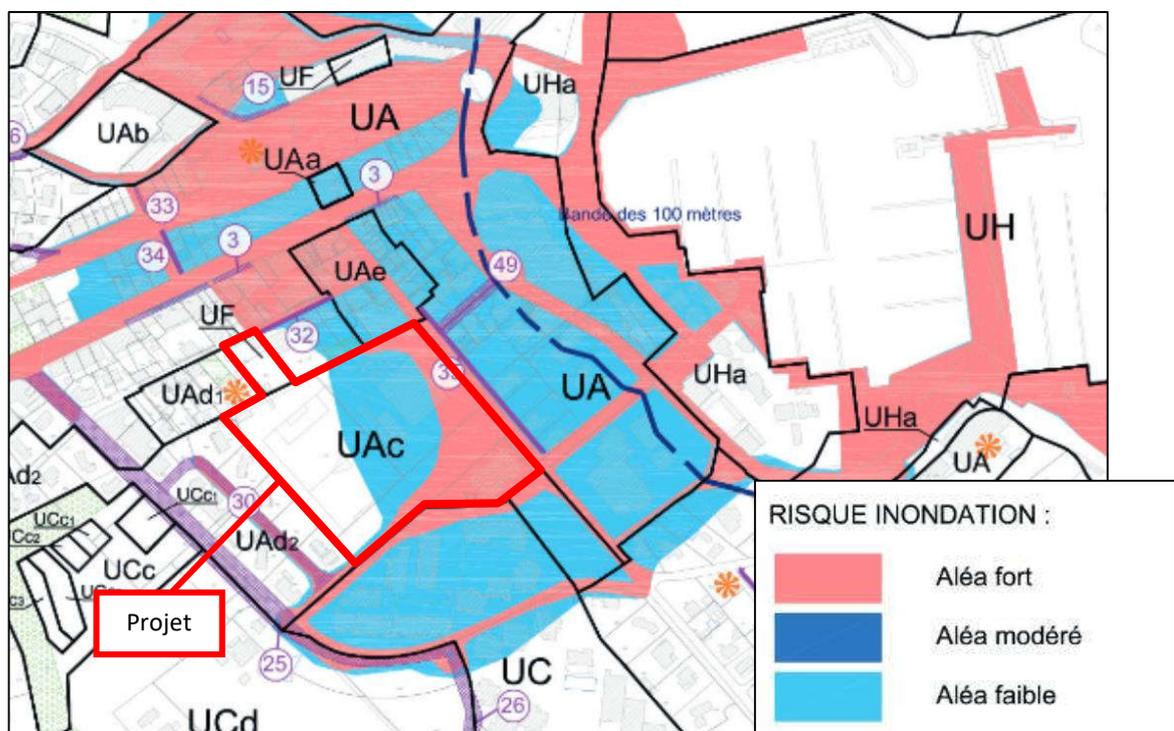


Illustration 10 : Localisation du projet au PLU (Source : PLU, 2021)

La crue de référence retenue pour déterminer les zones exposées au risque inondation est la crue centennale ou la plus forte crue connue. Trois niveaux d'aléas ont été arrêtés, à savoir : aléa fort, aléa modéré et aléa faible. Ces trois zones sont matérialisées dans les règlements graphiques avec :

- La zone rouge correspondant aux secteurs d'écoulement des crues soumis à un aléa fort dans les secteurs urbanisés ou naturels ;
- La zone bleu foncé correspondant aux secteurs d'écoulement des crues soumis à un aléa moyen dans les secteurs urbanisés ou naturels ;
- La zone bleu clair correspondant aux secteurs d'écoulement des crues soumis à un aléa faible dans les centres urbains, les secteurs urbanisés ou naturels.

La carte de zonage du PLU de Cavalaire-sur-Mer indique que la zone d'étude est concernée par un **aléa fort et un aléa faible**.

Dans chacune de ces zones, l'exercice d'activités, les projets de construction ou d'installation devront respecter des dispositions réglementaires spécifiques. Ces dispositions s'imposent à toute personne publique ou privée. Les prescriptions sont décrites ultérieurement.

4.2 Exzeco

Ce zonage, qui rend compte du risque de débordement et de ruissellement, se base sur une méthode automatisée et à grand rendement. Elle est essentiellement qualitative et ne fournit aucune information en matière d'occurrence du risque, ni de hauteur ou de vitesse des écoulements en crue.

D'après la carte ci-dessous, **le projet est repris en zone inondable selon le zonage Exzeco.**

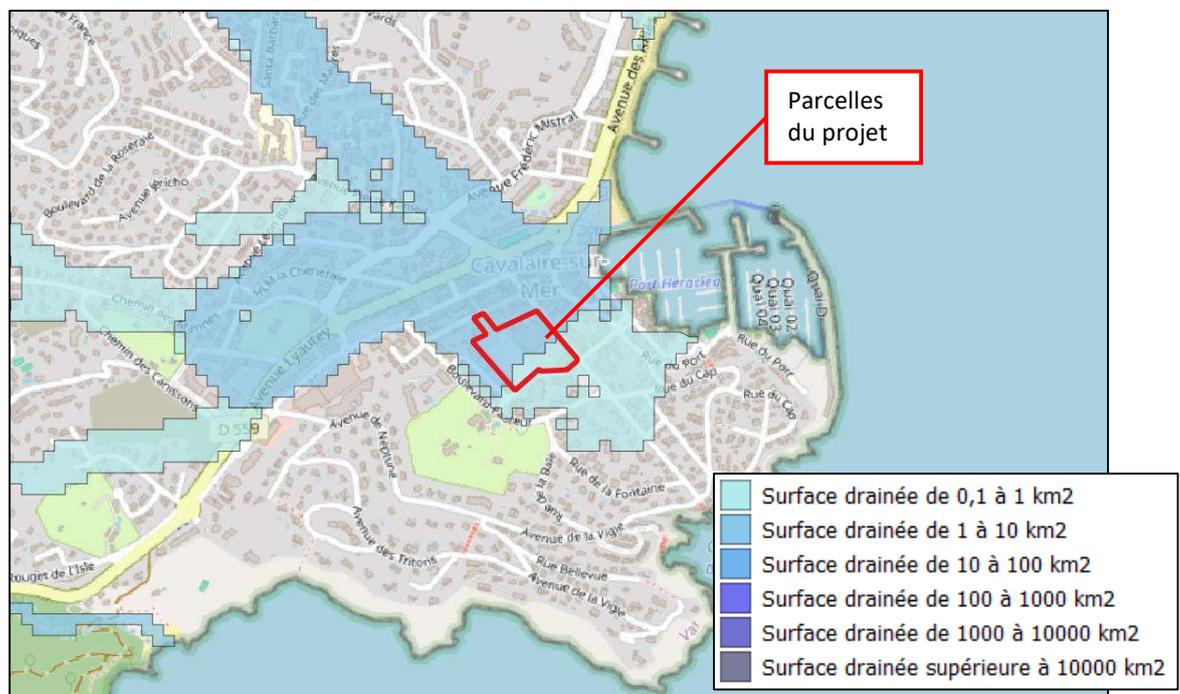


Illustration 11 : Zonage EXZECO au droit du projet

4.3 Etudes SCE

Le projet du Cœur de Ville étant situé en zone d'aléa au titre de la cartographie Exzeco et du PLU, la DDTM du Var a demandé à la Commune d'affiner le risque inondation sur ce secteur, cartographié en 2010. Le bureau d'étude SCE a pris en charge cette mission.

Selon les résultats de la modélisation, l'entièreté de la surface du projet est concernée par le risque inondation par ruissellement pluvial. Le projet n'est en revanche pas soumis au risque de débordement de cours d'eau.

 Aléa débordement



Illustration 12 : Mise à jour de la définition du risque débordement de cours d'eau
(Source : SCE, 2024)

L'illustration suivante présente les hauteurs et les sens des écoulements modélisés au droit du projet en situation existante tels que présentés par SCE.

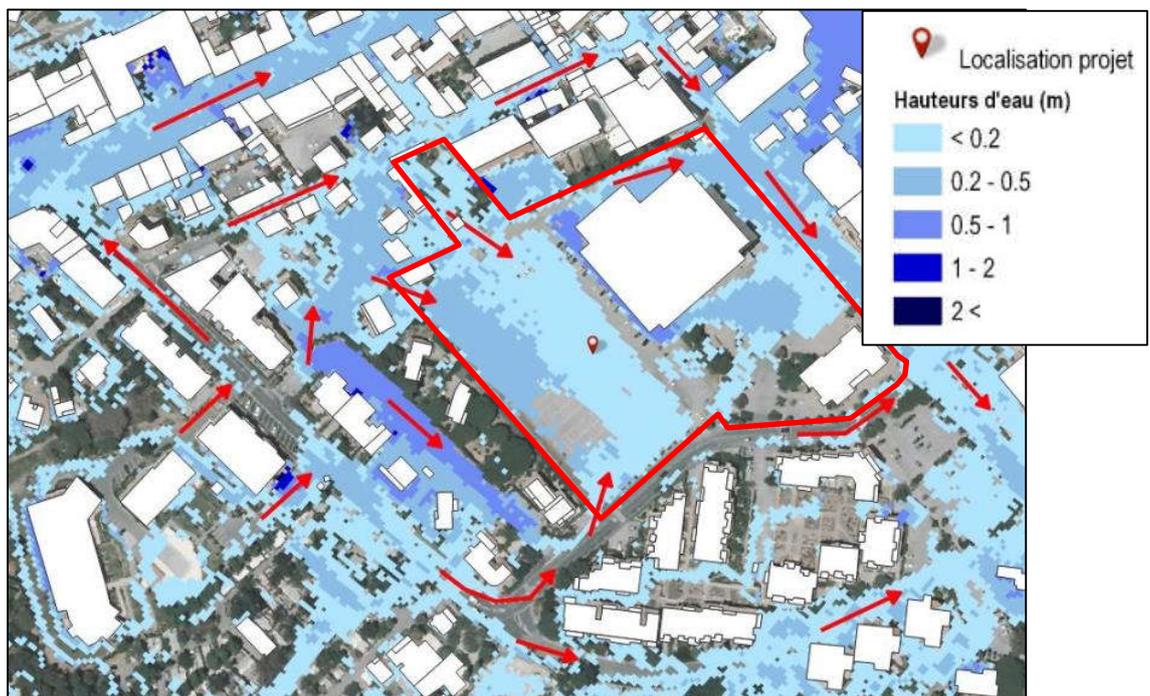


Illustration 13 : Hauteurs d'eau et sens des ruissellements modélisés au droit du projet en situation existante (Source : SCE, 2024)

Cette étude a permis de conclure que le projet du Cœur de Ville se situe en **zone d'aléa modéré d'inondation par ruissellement pluvial**.

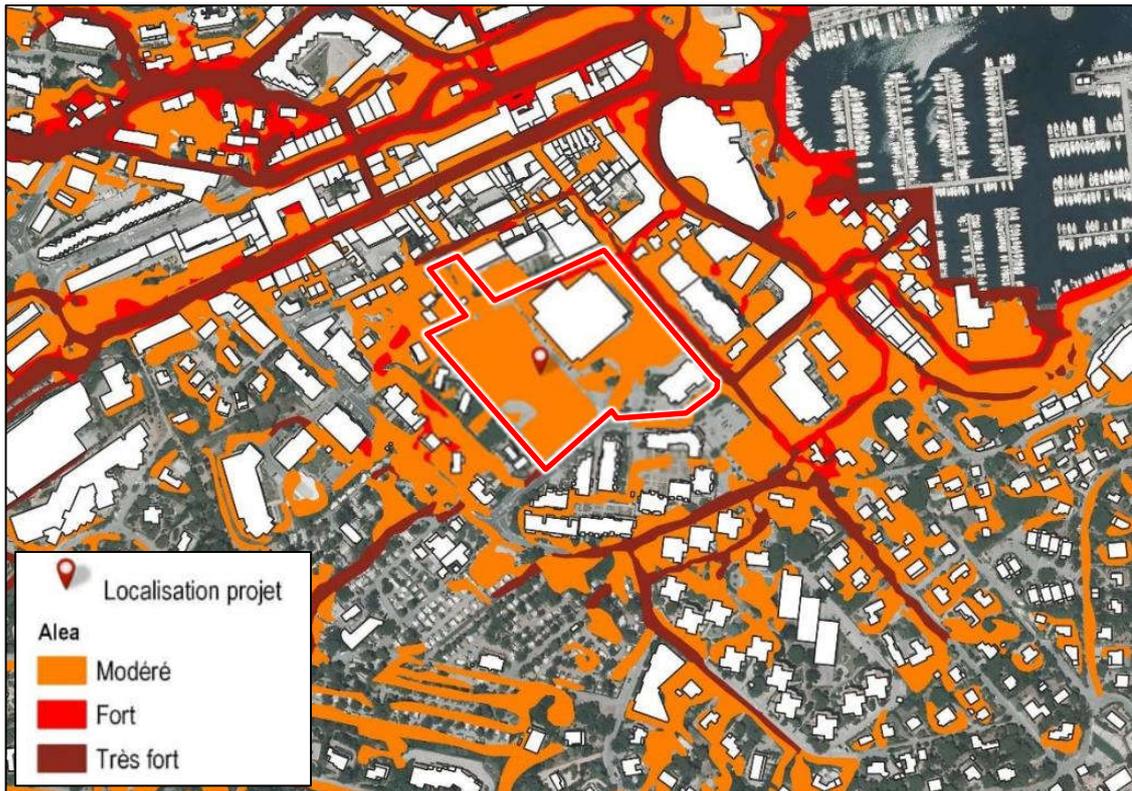


Illustration 14 : Cartographie de l'aléa pour une pluie centennale (Source : SCE, 2024)

4.4 Risque de remontée de nappe

La carte nationale de sensibilité de remontée de nappe a été élaborée en janvier 2018 sur la base de données piézométriques et altimétriques. L'interpolation spatiale des niveaux d'eau souterrains 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.

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. **Le projet se situe en zone à risque de remontée de nappe selon une fiabilité moyenne.**

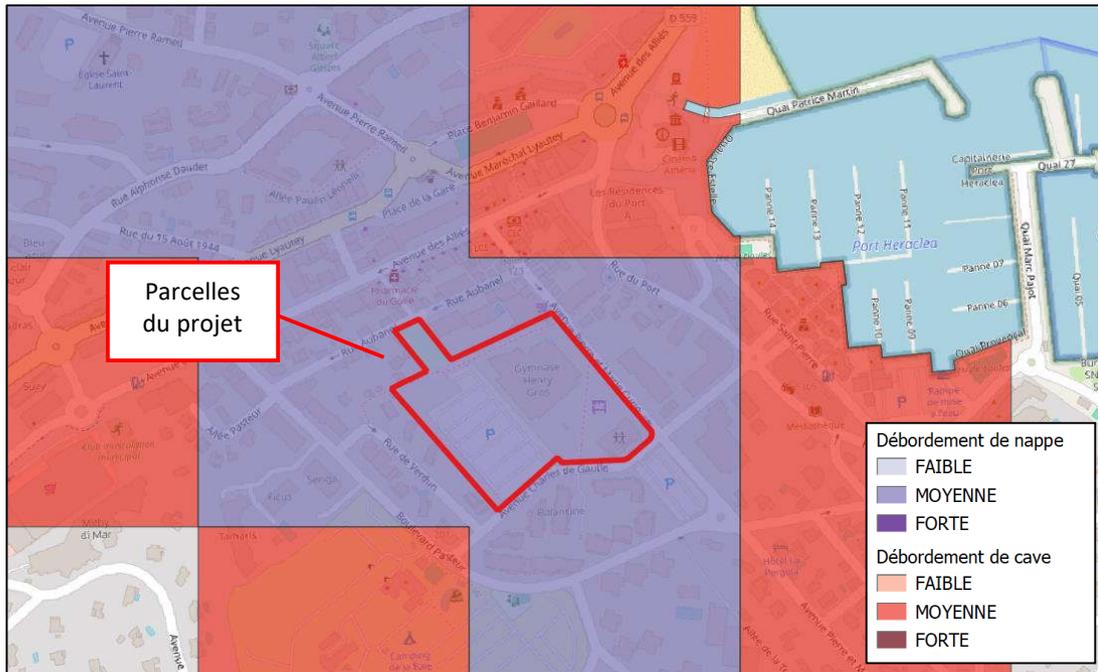


Illustration 15 : Risque de remontée de nappe au droit du projet

Dans le cadre de la présente étude, des relevés piézométriques ont été réalisés par la société ABO-ERG Géotechnique en juillet 2023. La valeur M/TA représente la profondeur de la nappe par rapport au terrain actuel, la seconde valeur étant la cote du niveau de la nappe observé.

| Date | SP1 (4,83 m NGF) | | SC1 (4,77 m NGF) | | SP2 (4,80 m NGF) | |
|------------|---------------------|-------|---------------------|-------|---------------------|-------|
| | m/TA | m NGF | m/TA | m NGF | m/TA | m NGF |
| 06/07/2023 | 5.37 | -0.54 | 5.40 | -0.63 | 5.40 | -0.6 |

Illustration 16 : Synthèse des relevés piézométriques réalisés dans le cadre du projet
(Source : ABO-ERG Géotechnique, 12/2023)

Dans le cadre de son étude, le bureau ERG a estimé que le niveau du toit de la nappe en période de hautes eaux pouvait atteindre les cotes suivantes :

| Ouvrage | SP3 ₂₀₀₅ (4.33 m NGF) | | SP6 ₂₀₀₅ (4.52 m NGF) | |
|---------------------|-------------------------------------|-------|-------------------------------------|-------|
| | m/TA | m NGF | m/TA | m NGF |
| Niveau EE théorique | 0.1 | 4.2 | 0.1 | 4.4 |
| Niveau EH théorique | 0.6 | 3.7 | 0.6 | 3.9 |
| Niveau EF théorique | 2.0 | 2.3 | 2.0 | 2.5 |
| Niveau EB théorique | 3.8 | 0.5 | 3.8 | 0.7 |

Illustration 17 : Niveaux caractéristiques estimés (NF-P94-261 et NF P94-262)
(Source : ABO-ERG Géotechnique, 12/2023)

En raison de la hauteur de nappe estimée, la réalisation d'un bassin d'infiltration ne peut être envisagée en tant que solution pour la gestion des eaux pluviales pour le projet.

4.5 Périmètre de captage d'eau potable

Selon la banque de données de l'Agence Régionale de Santé Provence Alpes Côte d'Azur, le périmètre de protection de captage d'eau potable le plus proche se situe à 6,9 km du projet.

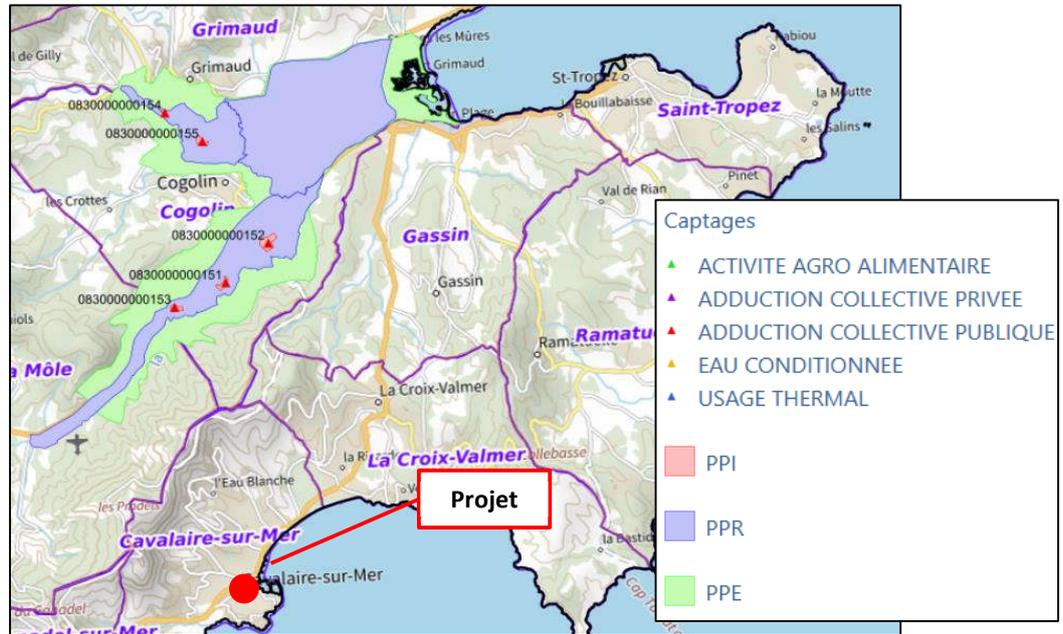


Illustration 18 : Périmètre de protection des captages d'eau potable au droit du projet
(Source : ARS PACA)

IMPOSITIONS REGLEMENTAIRES EN MATIERE DE GESTION DES EAUX PLUVIALES ET DU RISQUE INONDATION

5.1 Impositions règlementaires en matière de gestion des eaux pluviales

5.1.1 Au titre du Plan Local d'Urbanisme (PLU)

La quatrième modification du PLU de la commune de Cavalaire-sur-Mer a été approuvée le 23 septembre 2021. D'après ce document, **la majeure partie du projet est reprise dans la zone UA** tandis que **la partie nord-ouest du projet est reprise en zone UF**.

La zone UA est une zone urbaine à caractère central au sein de laquelle les modes d'occupation du sol sont diversifiés. Plus spécifiquement, la zone UA correspond à un espace compris entre l'Avenue Pierre et Marie Curie et l'Avenue Charles de Gaulle.

La zone UF recouvre des parcelles qui ont été référencées afin de permettre la réalisation de projets communaux (logements sociaux, accueil de jour pour les personnes atteintes par la maladie d'Alzheimer, etc.).

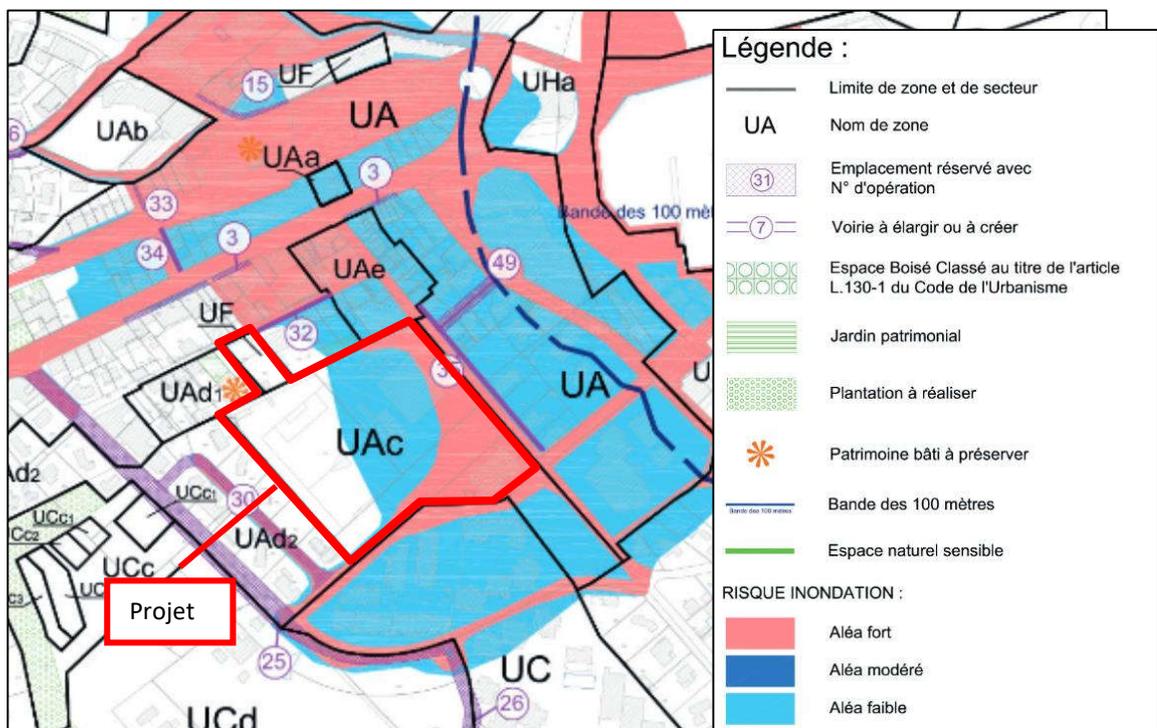


Illustration 19 : Localisation du projet au PLU

En matière de gestion des eaux pluviales, le PLU de Cavalaire-sur-Mer donne les **dispositions générales** suivantes :

- Le **rejet des eaux pluviales doit être régulé et adapté au milieu récepteur**. Si un collecteur d'eaux pluviales existe, le rejet régulé vers ce réseau peut être autorisé après consultation du gestionnaire de ce réseau.
- Toute surface imperméabilisée par l'aménagement et la construction (terrasse, toiture, voirie, etc.) doit être compensée par un système de gestion et de régulation des eaux de ruissellement sur le tènement de l'opération.
- Les eaux de ruissellement seront soit infiltrées sur le tènement foncier de l'opération, soit stockées dans des ouvrages de façon à ralentir le rejet, soit les deux. Les eaux polluées (zones d'activités, zones de circulation de poids lourds, etc.) ne sont pas admises dans les dispositifs d'infiltration.
- Il faut prendre toute mesure pour que **l'évacuation des eaux pluviales ne porte pas atteinte à la sécurité des usagers des voies**. Aussi, le rejet des eaux pluviales sur la voie publique (chaussée, trottoir, etc.) est interdit sauf pour des événements pluvieux intenses ou exceptionnels dépassant les capacités des réseaux enterrés traditionnels. **En revanche, les nouveaux projets intégreront dans leur conception de voirie, le cheminement des eaux pluviales lors d'épisodes pluvieux exceptionnels.**
- Les réserves de stockage d'eaux pluviales en vue de leur réutilisation future (arrosage par exemple) ne peuvent se substituer aux dispositifs destinés à la régulation et à la rétention des eaux avant rejet par infiltration ou dans le réseau public des eaux pluviales. Elles peuvent néanmoins être réalisées en amont de celles-ci.

Le Plan Local d'Urbanisme (PLU) ne contient pas de directives spécifiques concernant le dimensionnement des ouvrages de gestion des eaux pluviales.

5.1.2 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 du site sont définis dans la nomenclature issue de l'article R 214-1 du code de l'environnement.

Dès lors que le projet draine une surface supérieure à 1 ha et que le rejet des eaux pluviales s'effectue dans un réseau de collecte n'ayant pas fait l'objet d'une validation par la DDTM83, la rubrique 2.1.5.0 de la Loi sur l'Eau est concernée.

5.1.3 Au titre de la MISEN 83

5.1.3.1 Dimensionnement des ouvrages de rétention

La Mission Inter-Services de l'Eau et de la Nature (MISEN) a édité en avril 2022 des règles à prendre en compte dans la conception et la mise en œuvre des réseaux et ouvrages de rétention pour le département du Var.

Les **volumes de compensation** à l'imperméabilisation à prévoir sont calculés selon les trois méthodes décrites ci-dessous. Il convient de retenir la valeur la plus contraignante.

- Volume de rétention d'au minimum **100 l/m² imperméabilisé**, qui est également la méthode imposée par le PLU ;
- Calcul hydraulique sur base de la **pluie double triangle et de la méthode du réservoir linéaire**, pour une **pluie d'occurrence centennale**, avec un rejet correspondant au débit biennal avant aménagement ;
- **Préconisations locales** prévues par un plan local d'urbanisme, un schéma directeur de gestion des eaux pluviales, etc. (si elles existent).

Dans le cadre de la présente notice, une comparaison du volume de rétention calculé par la méthode du ratio surfacique et la méthode du réservoir linéaire sera faite dès lors que le PLU ne précise aucune imposition.

5.1.3.2 Dimensionnement des rejets

Les ouvrages de rétention seront équipés en sortie d'un dispositif permettant d'assurer un rejet ayant un **débit de fuite maximum** correspondant aux préconisations suivantes :

- Un débit biennal avant aménagement en cas d'exutoire identifié (cours d'eau, thalweg ou fossé récepteur) ;
- Un débit de 15 l/s/ha de surface imperméabilisée en cas d'absence d'exutoire clairement identifié ;
- Le rejet autorisé prescrit par le gestionnaire du réseau, s'il est plus contraignant ;
- La durée de vidange ne doit pas dépasser 24 heures pour les ouvrages aériens.

Si plusieurs bassins de rétention sont prévus pour un même bassin versant, le débit de fuite sera réparti entre eux au prorata de leur volume.

Dans le cadre du présent projet, la présence d'une nappe affleurante ne permet pas de rejeter les eaux par infiltration. Le débit de fuite du projet est contraint par la capacité du réseau de collecte communal. Afin de ne pas surcharger le réseau, le débit de rejet considéré est basé sur 15 l/s/ha de surface imperméabilisée.

5.2 Impositions réglementaires en matière de gestion du risque inondation

Le projet étant situé en zone de ruissellement selon la modélisation réalisée par le bureau SCE, il n'est pas soumis à la rubrique 3.2.2.0 au titre de la Loi sur l'eau traitant des remblais en zone de débordement de cours d'eau.

Le Plan Local d'Urbanisme de la commune est en cours de révision. Ainsi, les préconisations s'appliquant au projet découlent des échanges avec les services de la DDTM du Var.

Les dispositions constructives particulières découlant du positionnement du projet Cœur de Ville en zone d'aléa ruissellement pluvial et des échanges avec la DDTM83 sont les suivantes :

- L'entrée du parking souterrain comportera un dos d'âne positionné 50 cm au-dessus de la PHE de l'avenue Charles de Gaulle, soit à minima à la cote 7,43 mNGF ;
- Le premier plancher des bâtiments est situé 40 cm au-dessus de la cote des PHE : soit à la cote 4,44 mNGF au droit des bâtiments du Cœur économique et à la cote 5,40 mNGF au droit des bâtiments du Cœur de vie et du Cœur événementiel ;
- Une étude hydraulique a été réalisée afin d'assurer la transparence hydraulique du projet, l'absence d'impact sur les voisins et l'intégration des ouvrages de réduction de la vulnérabilité des bâtiments du projet ;
- L'ERP de catégorie 2 est autorisée dans le cadre du projet sous réserve de s'inscrire dans le DICRIM de la commune et de comporter un plan de mise en sécurité.

MODELISATION HYDRAULIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

6.1 Méthodologie générale

L'objectif de cette phase de l'étude consiste à caractériser le risque inondation par ruissellement au droit du projet et de quantifier les impacts du projet sur l'aléa inondation. A cet effet, le fonctionnement hydrologique des bassins versants contenus dans l'emprise du modèle hydraulique font l'objet d'une simulation. La modélisation a permis de déterminer le risque inondation par ruissellement au droit du projet et ce pour la pluie d'occurrence 100 ans.

Parmi les différents modèles de fonctionnement hydrologique de bassin versant disponibles, nous avons opté dans le cadre de la présente étude pour l'utilisation du logiciel HEC-RAS. La fonction de production du ruissellement est basée sur l'utilisation d'une pluie diffuse sur l'ensemble du modèle et de la méthode du SCS (Soil Conservation Service, U.S.A) et plus spécifiquement par le biais du Curve Number. Cette fonction traduit la transformation de la pluie en ruissellement à l'échelle de la maille 2D.

La **méthode du Curve Number (CN)** est une méthode empirique de calcul du ruissellement de surface développé par le Soil Conservation Service. Il s'agit d'un modèle réalisant la relation entre hauteur de ruissellement et hauteur de pluie dans des conditions de pente, d'occupation et d'humidité du sol basées sur l'équation suivante :

$$P_{nette} = \frac{(P_{brute} - 0,2 \cdot S)^2}{(P_{brute} + 0,8 \cdot S)}$$

avec **P_{nette}** : Hauteur de ruissellement (mm)

P_{brute} : Hauteur des précipitations (mm)

S : Capacité de rétention du sol (mm)

Le **paramètre de rétention (S)** est relié à un paramètre intermédiaire, le Curve Number (plus généralement connu sous son abréviation CN), selon l'équation suivante :

$$S = \frac{25400 - 254 \cdot CN}{CN}$$

Pour chaque type d'occupation du sol, différentes valeurs de CN sont définies selon les caractéristiques de perméabilité du sol en conditions saturées (NC, A, B, C et D).

Ces conditions prenant la forme d'une injection diffuse de la pluie dans HEC-RAS permettent d'avoir une meilleure représentation des ruissellements sur la zone d'étude par rapport à la construction d'hydrogrammes localisés.

La construction du modèle hydraulique, l'intégration des hyétogrammes générés et la présentation des résultats de la modélisation hydraulique sont traités dans la partie suivante du rapport.

6.2 Pluviométrie statistique

6.2.1 Généralités

L'un des moyens de représenter la pluviométrie locale est la pluie de projet. « La pluie de projet est un événement fictif. Elle représente l'ensemble des informations pluviométriques disponibles et est censée produire à l'exutoire du bassin le même effet que la pluie réelle à laquelle il est possible d'associer une période de retour » (Hemain, 1986).

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

Les données hydrologiques ont pour but la construction du hyétogramme d'entrée pour la modélisation hydraulique sous le logiciel HEC-RAS. Dans le cadre de cette étude, **la pluie de projet d'occurrence 100 ans est utilisée.**

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.

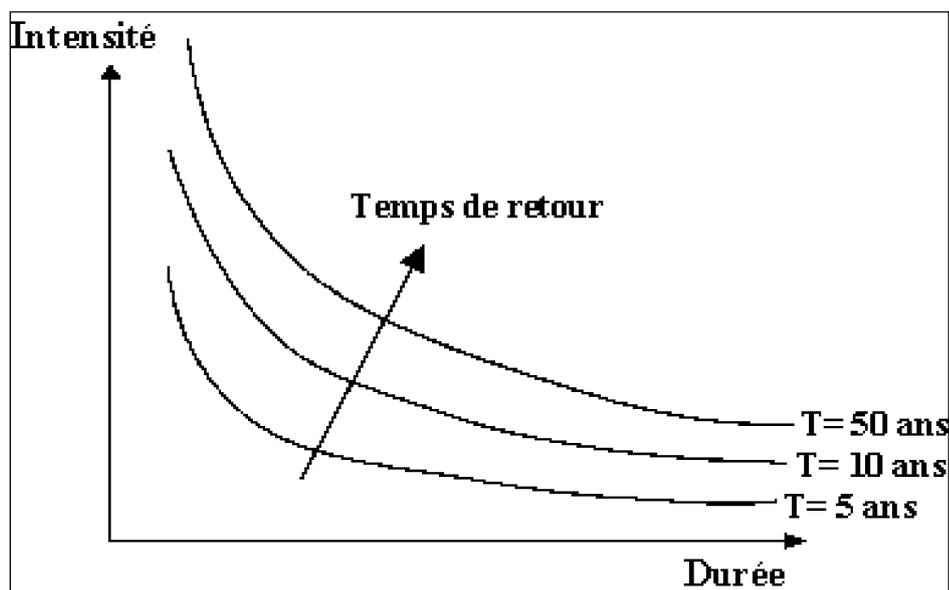


Illustration 20 : Représentation schématique des courbes IDF (Source : echo2.epf.ch)

Dans le cadre de la présente étude, les coefficients de Montana de la station de Bormes-les-Mimosas, située à 15 km à l'ouest de la zone d'étude, sont considérés pour caractériser la pluviométrie statistique pour la période de retour 100 ans. Cette station est la même que celle utilisée dans le cadre de l'étude SCE.

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 T_c correspond à la durée que met la goutte d'eau tombée au point le plus éloigné du bassin versant pour parvenir à l'exutoire du bassin étudié. La connaissance de ce temps de concentration est nécessaire à l'estimation des débits de pointe par les méthodes déterministes, du type méthode rationnelle et leurs déclinaisons régionales.

Le temps de concentration du bassin versant élargi amont est calculé selon plusieurs méthodes. La valeur retenue est la moyenne des différents résultats obtenus.

Rappel : L'urbanisation et l'étendue de la zone soumise au risque inondation par ruissellement ne font pas apparaître de bassin versant amont clair. Au vu de la difficulté de délimiter le bassin versant dans lequel se situe le projet, un bassin versant amont a été approximé. La modélisation permettra de délimiter plus précisément le bassin versant intercepté.

6.2.2 Temps de concentration

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.

Dans la présente étude, la pluie double triangle est constituée d'une durée intense de 7 minutes correspondant au temps de concentration moyen des sous-bassins versants définis dans l'étude SCE. L'intensité pluviométrique obtenue pour une pluie centennale de temps de concentration 7 minutes est de 203 mm/h.

6.2.3 Données météo utilisées

Les coefficients de Montana définis pour une pluie d'une durée comprise entre 6 min et 2 h sont utilisés. Les coefficients utilisés sont identiques à ceux utilisés dans la modélisation de l'aléa de l'étude SCE de 2023.

| Période de retour (années) | | 100 |
|--|---|-----------|
| Statistiques sur la période | | 1991-2021 |
| Coefficients de Montana (6 min - 48h) | a | 8,082 |
| | b | 0,448 |

Tableau 1 : Coefficients de Montana de la station météorologique de Bormes-les-Mimosas
(Source : Météo-France, entre 1991 et 2021)

6.2.4 Construction de la pluie d'occurrence centennale

La construction des hydrogrammes pour la modélisation hydraulique nécessite l'utilisation de hyétogrammes. Compte tenu de la prise en compte du bassin versant amont dans sa globalité, la méthode de Kieffer a été retenue pour la détermination des pluies de projet. Ce type de hyétogramme présente l'avantage d'intégrer en une seule pluie l'ensemble des durées et intensités de pluie permettant de garantir une réaction maximale des différents bassins situés dans l'emprise du modèle.

Cette méthode de construction de pluie de projet se justifie par ailleurs au regard de la forme que prennent généralement les épisodes pluvieux. Ils sont caractérisés par une période de pluie relativement longue et d'intensité soutenue à l'intérieur de laquelle viennent s'insérer des épisodes plus courts et d'intensités très fortes. Les périodes de retour des épisodes courts sont associées aux pluies de projet des sous-bassins de dimensions inférieures.

Par volonté de continuité, les caractéristiques de la pluie construite dans la présente étude sont identiques à celles de l'étude de l'aléa réalisée par SCE. A partir du temps de concentration estimé pour le bassin versant amont, des paliers à pas de temps de 7 minutes sont pris en compte pour la construction d'une pluie double triangle. La durée du hyétogramme de projet est de 1 heure. Cette construction permet **d'avoir une réponse optimale du bassin versant global et des différents sous-bassins sur la zone d'étude.**

Ces données ont été estimées à partir des coefficients de Montana présentés précédemment et ont permis d'établir la pluie de projet. Le hyétogramme ci-dessous présente les intensités statistiques pour la pluie d'occurrence centennale.

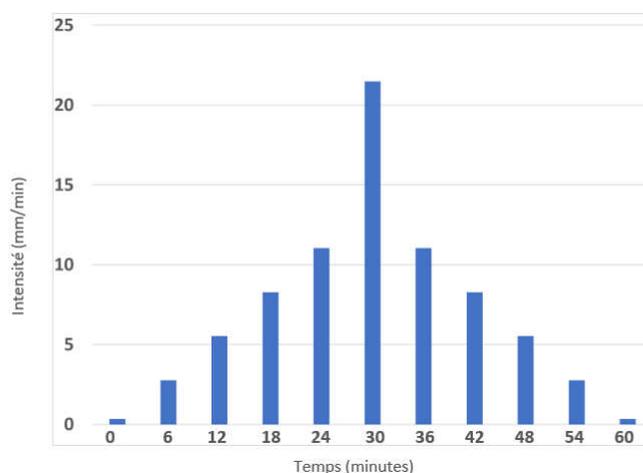


Illustration 21 : Hyétogramme de la pluie d'occurrence 100 ans

6.3 Construction du modèle

6.3.1 Présentation du modèle utilisé

Afin d'étudier finement la dynamique d'inondation par ruissellement pluvial au droit du projet, une modélisation 2D sous HEC-RAS a été réalisée dans le cadre de la présente étude. Ce modèle est en adéquation avec la configuration du secteur d'étude et les objectifs attendus.

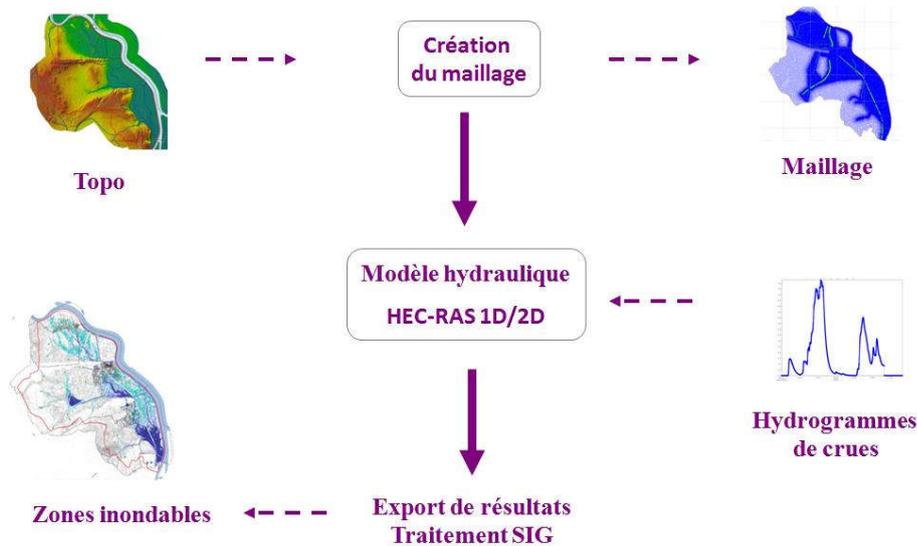


Illustration 22 : Principales étapes liées à la construction d'un modèle hydraulique
(Source : AquaGeoSphere)

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

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, rupture de barrage et de digue).

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

Les simulations permettent d'obtenir les hauteurs d'eau sur le secteur étudié pour les différents événements hydrologiques considérés.

6.3.2 Emprise du modèle utilisé

L'emprise du modèle élargi est présentée sur la figure ci-après. Sa superficie est de l'ordre de 315 ha.

Le modèle englobe les collines situées à l'ouest et au sud de Cavalaire jusqu'au bord de mer. De cette manière, les résultats de la modélisation tiendront compte de toutes les eaux susceptibles de ruisseler sur l'emprise du projet.

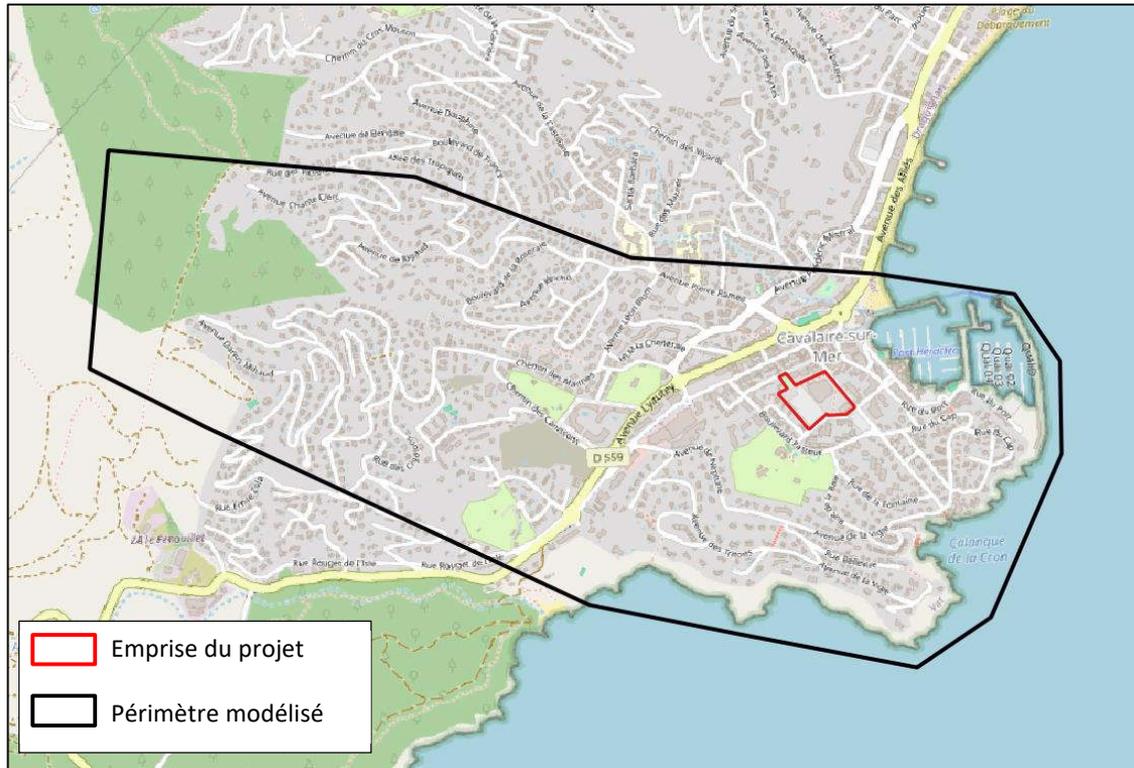


Illustration 23 : Emprise du modèle

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 en page suivante présente les données topographiques sur la zone modélisée.

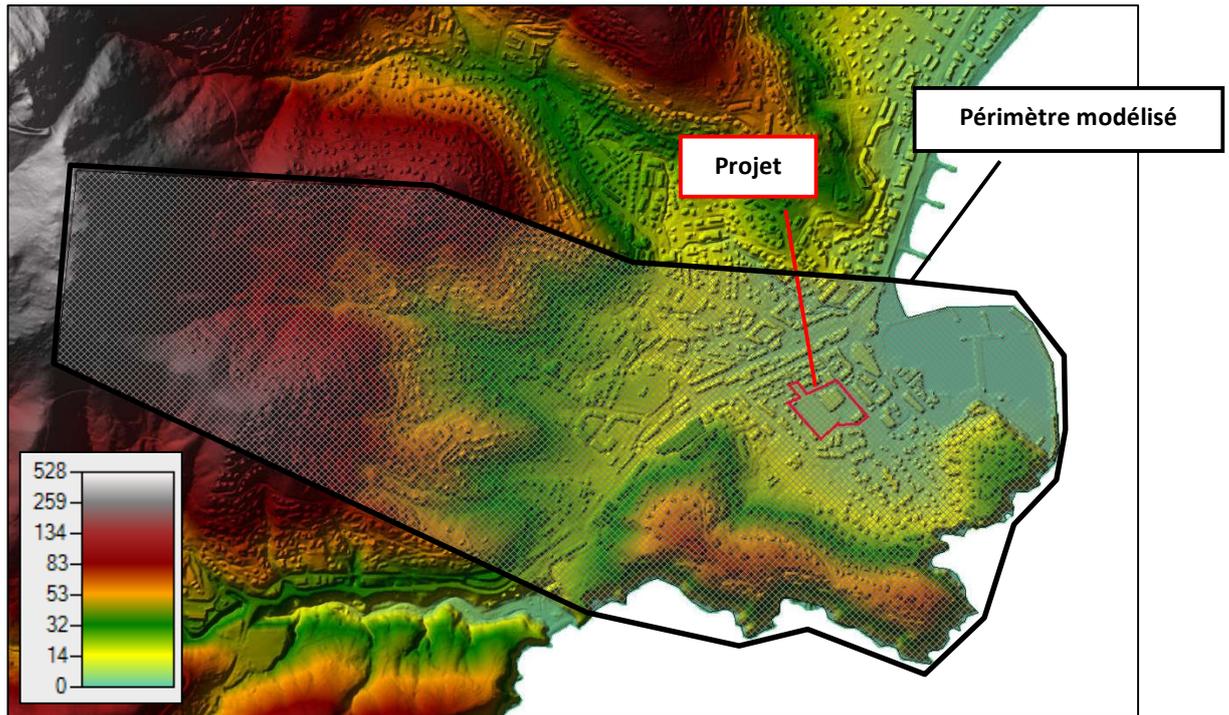


Illustration 24 : Données topographiques exploitées pour la modélisation hydraulique
(Source : RGE Alti 1m, IGN)

6.3.4 Occupation du sol

6.3.4.1 Coefficient 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.

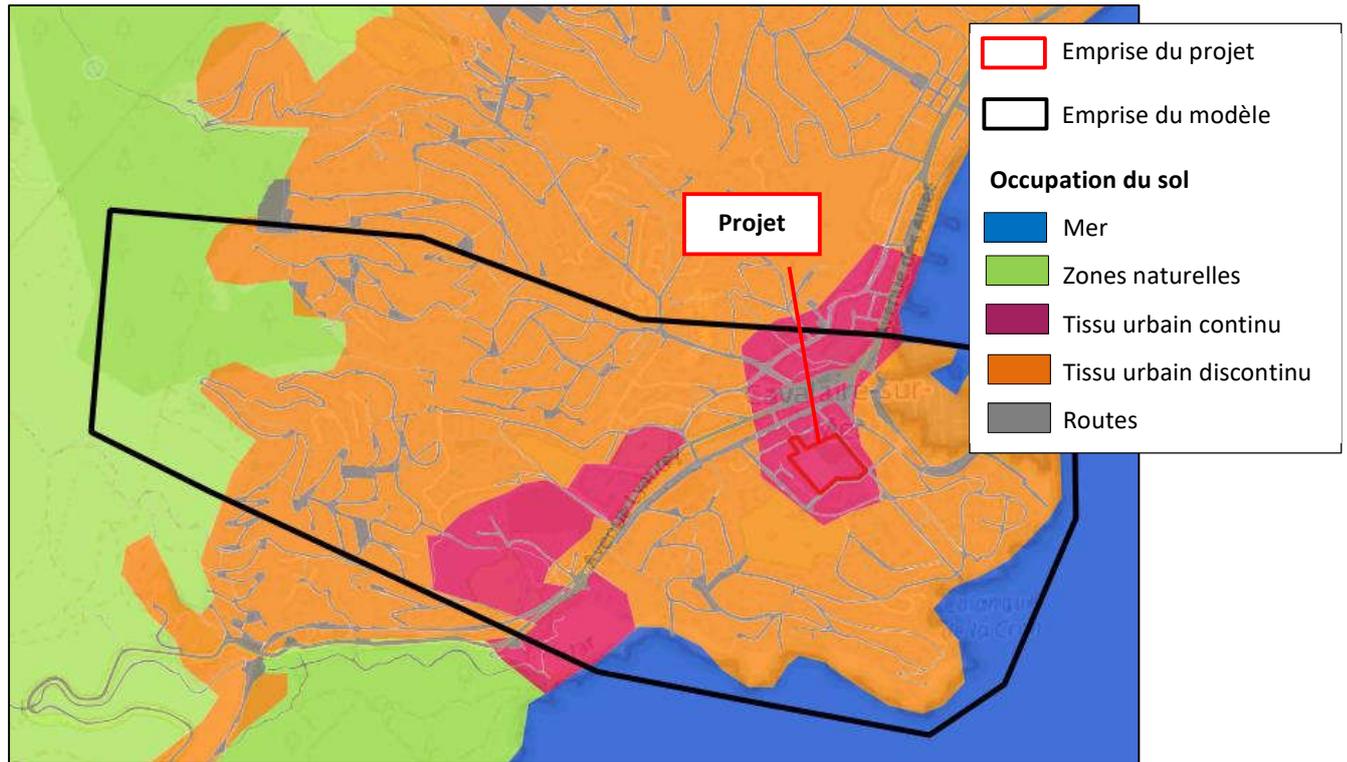


Illustration 25 : Occupation du sol au niveau de l'emprise du modèle
(Source : CorineLandCover)

Les coefficients de rugosité utilisés dans le cadre de la présente étude sont issus de l'étude SCE en cohérence avec les valeurs 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.

| Occupation du sol | Coefficient de Manning |
|-------------------------|------------------------|
| Zones naturelles | 0,2 |
| Tissu urbain continu | 0,16 |
| Tissu urbain discontinu | 0,08 |
| Routes | 0,013 |

Tableau 2 : Coefficients de Manning associés à chaque occupation de sol (Source : SCE, 2023)

6.3.4.2 Curve Number

Le Curve Number est un paramètre utilisé pour transformer la pluie brute tombant sur le sol en ruissellement. Il permet de caractériser la perméabilité et la rétention des sols. Il est ainsi dépendant du type de sol et de sa capacité d'infiltration. Le Curve Number est une méthode empirique d'estimation du ruissellement de surface développé par le Natural Resources Conservation Service (NRCS). Le Curve Number varie entre 30 pour les surfaces perméables avec une vitesse d'infiltration très rapide et 100 pour les surfaces imperméables et les surfaces en eau.

Les couches SIG des Curve Number sont construites à partir du croisement entre l'occupation du sol et le groupe d'infiltrabilité. Les CN utilisés dans la présente étude sont identiques à ceux utilisés par SCE.

Les valeurs de Curve Number utilisées pour caractériser les surfaces du modèle sont présentées dans le tableau suivant :

| Affectation du sol | Curve Number |
|-------------------------|--------------|
| Zones naturelles | 55 |
| Tissu urbain continu | 90 |
| Tissu urbain discontinu | 80 |
| Routes | 95 |

Tableau 3 : Curve Number pour les différentes affectations du sol (Source : SCE, 2023)

6.3.5 Conditions aux limites

6.3.5.1 Conditions limites amont

La condition limite amont est constituée par le hyétogramme (précipitations) construit à l'aide de la méthode de Kieffer pour un évènement pluvieux d'occurrence 100 ans. Cette condition prenant la forme d'une **injection diffuse** dans HEC-RAS permet d'avoir une meilleure représentation des ruissellements sur la zone d'étude par rapport à la construction d'hydrogrammes localisés. L'infiltration est par ailleurs intégrée à la modélisation à l'aide des Curve Number déterminés précédemment.

6.3.5.2 Conditions limites aval

Les conditions limites aval du modèle sont définies par la cote de houle issue de l'étude SCE, calée à 1,4 m NGF. 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.

6.3.6 Maillage du modèle

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

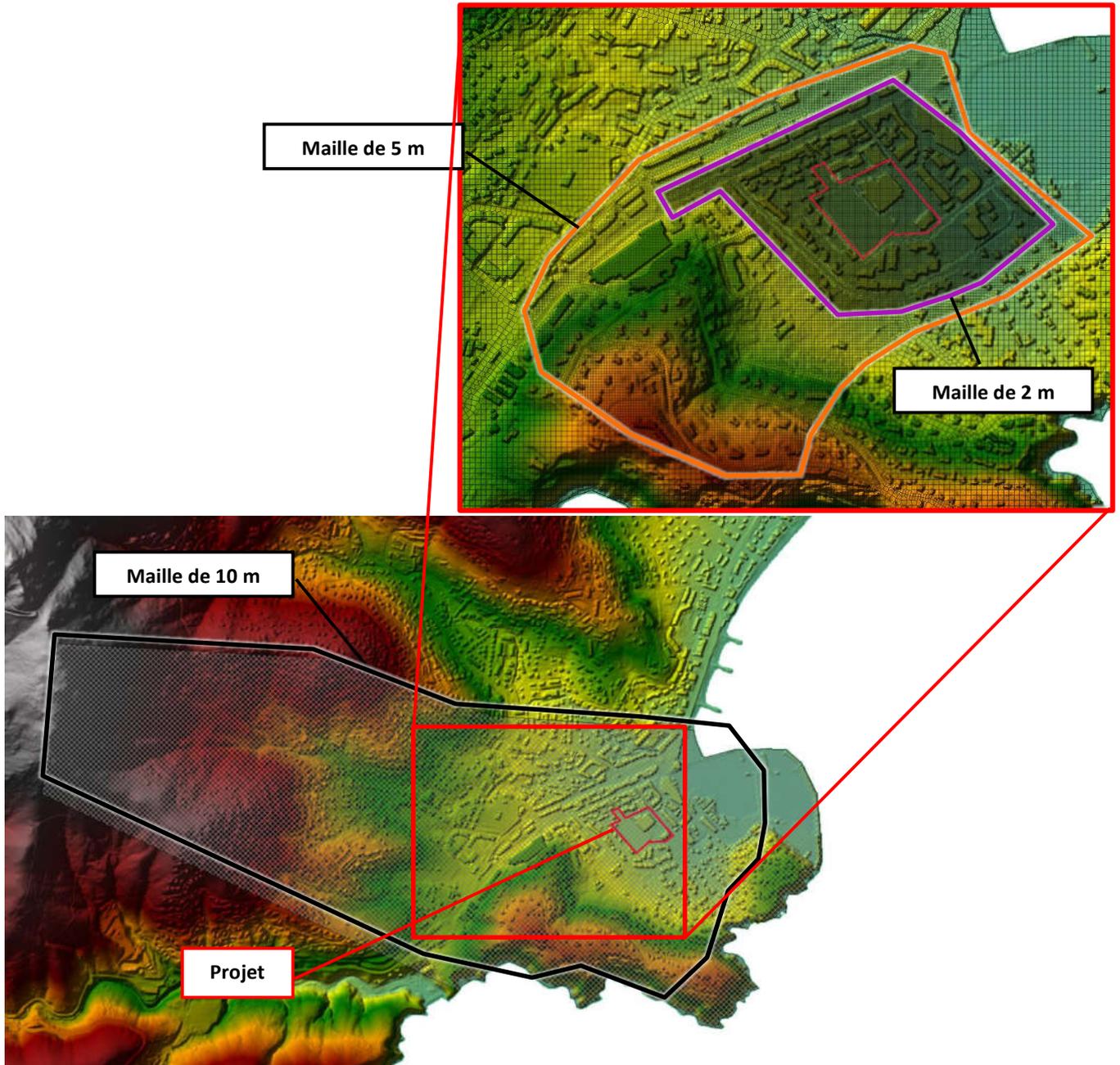


Illustration 26 : Maillage utilisé pour la réalisation du modèle

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

- un maillage fin de 2 m afin de modéliser avec précision les zones à enjeux, soit la zone concernant l'emprise du projet et ses alentours ;
- un maillage fin de 5 m afin de modéliser avec précision les zones en amont de l'emprise du projet ;
- un maillage plus grossier de 10 m afin de modéliser les zones sans enjeux majeurs sans alourdir le modèle.

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.

Le maillage utilisé pour la réalisation du modèle est illustré sur la figure en page précédente.

6.4 Résultats de la modélisation de la crue de référence

6.4.1 Modélisation en situation existante

La modélisation de la situation existante indique que le chemin préférentiel des écoulements provient du sud-ouest de la zone de projet. Les eaux contournent le site par de sud en suivant l'avenue Charles de Gaulles et par le nord du site du fait de la présence d'un mur de soutènement le long de sa bordure ouest. Le site se divise en deux zones planes avec un décalage d'altitude. La partie ouest est surélevée de 1,5 m par rapport à la partie est.

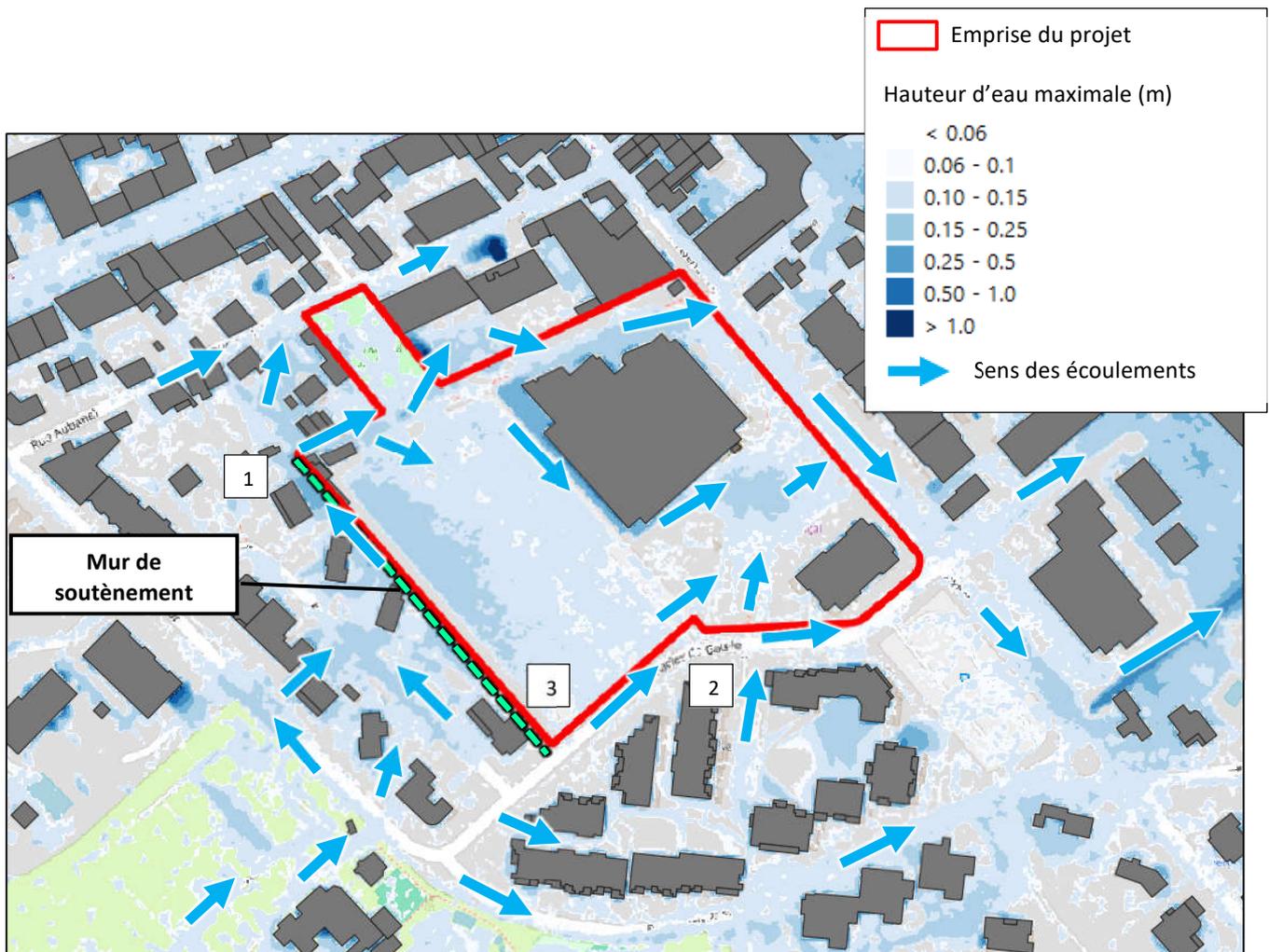


Illustration 27 : Hauteur et sens des écoulements des eaux pluviales en situation existante pour un événement centennal

Les précipitations tombant en amont du projet transitent sur le nord de la parcelle d'ouest en est. Au cours de la simulation réalisée, 1 800 m³ traversent la parcelle de projet depuis le nord-ouest [1] du parking existant.

Un autre apport d'environ 740 m³ s'effectue en provenance de l'avenue Charles de Gaulles [2]. A l'ouest de l'avenue, au droit de l'entrée du parking projeté, les eaux suivent de manière

préférentielle la voirie. Seulement 22 m³ se déversent sur la parcelle située en contrebas de la route en ce point [3].

En situation existante, le site présente une zone d'accumulation des eaux en contre bas de la moitié ouest du site. Les hauteurs d'eau y atteignent 95 cm. Les hauteurs d'eau au droit des zones ouest et est atteignent respectivement 40 cm et 35 cm.

Les écoulements se concentrent en chemins préférentiels au droit des voiries, notamment l'avenue Charles de Gaulle, l'avenue Pierre et Marie Curie et la rue Aubanel. Les vitesses maximales atteignent régulièrement 1,5 m/s.

Dans l'emprise du projet, les vitesses sont globalement faibles. Les plus importantes vitesses observées se situent au nord-ouest de la parcelle. La plus forte vitesse atteinte est de 0,77 m/s. Les deux autres zones comportant des axes d'écoulements rapides (de l'ordre de 0,4 m/s) se situent au nord et au sud du bâtiment du gymnase. De manière générale, les vitesses observées au sein du site sont faibles et demeurent inférieures à 0,15 m/s.

Les illustrations suivantes représentent les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulement maximales modélisées au droit et à proximité du projet.

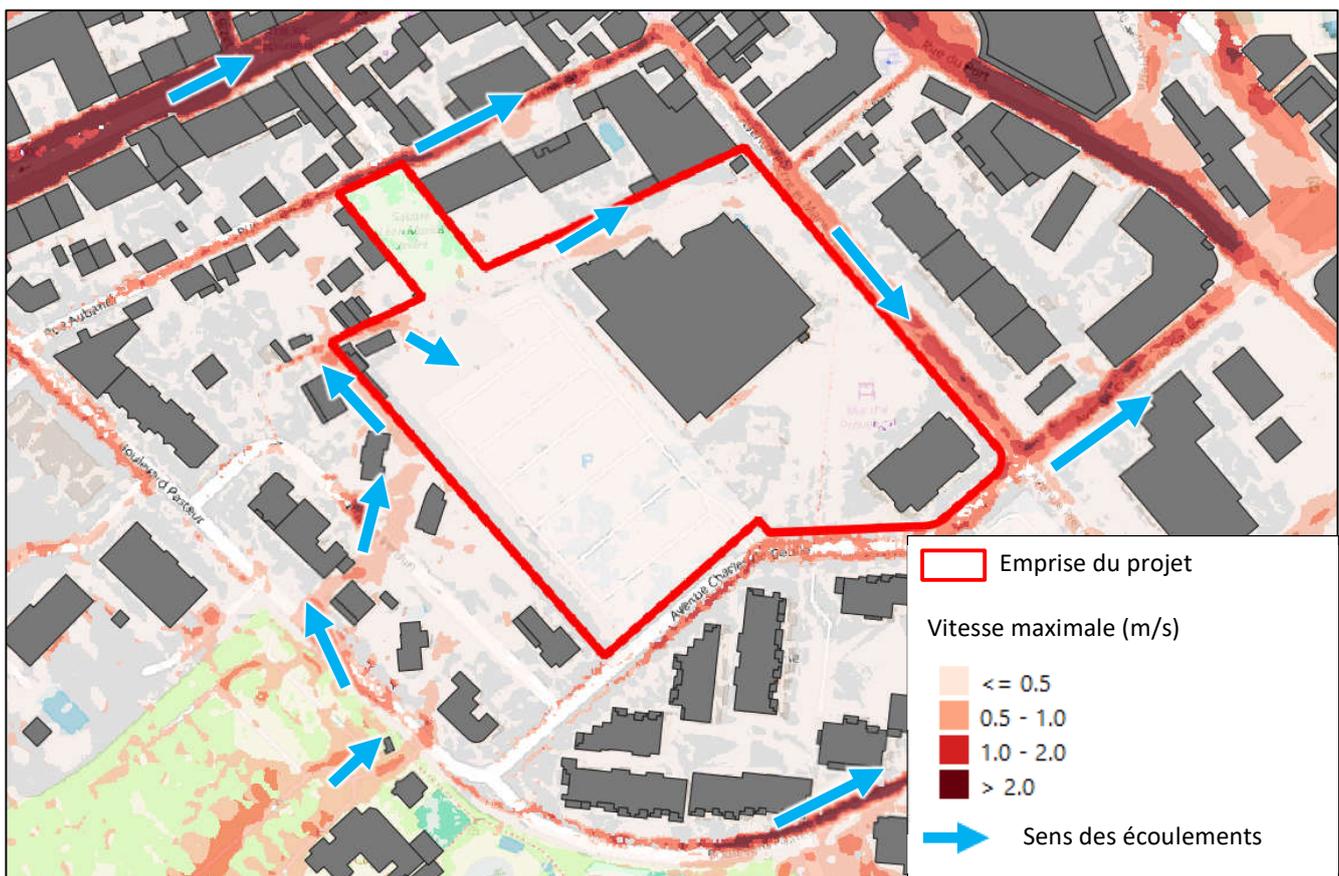


Illustration 28 : Vitesse et sens des écoulements des eaux pluviales en situation existante pour un événement centennal

6.4.2 Modélisation de la situation projetée

6.4.2.1 Topographie en situation projetée

La topographie en situation projetée comporte les éléments suivants :

- Les bâtiments du projet ;
- Les remblais des espaces extérieurs qui connectent les entrées des bâtiments aux espaces publics alentours ;
- L'accès au parking souterrain comportant un dos d'âne situé à la cote 7,43 mNGF ;
- Une noue de 1,4 m de profondeur et de 580 m² d'emprise au sol à l'ouest des bâtiments du Cœur de Vie et du Cœur événementiel, de décaissés au droit des espaces verts et du terrain de sport.

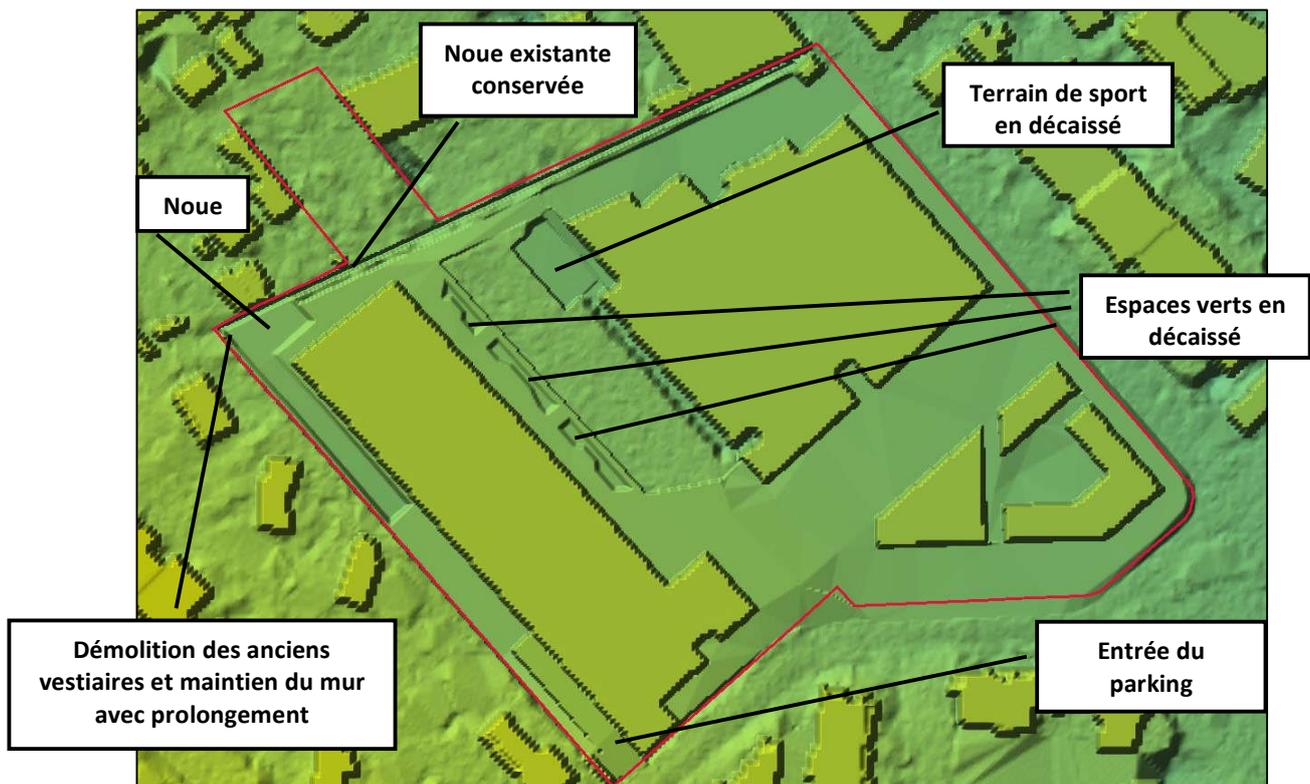


Illustration 29 : Topographie en situation projetée

La coupe de l'entrée du parking souterrain est illustrée en page suivante.

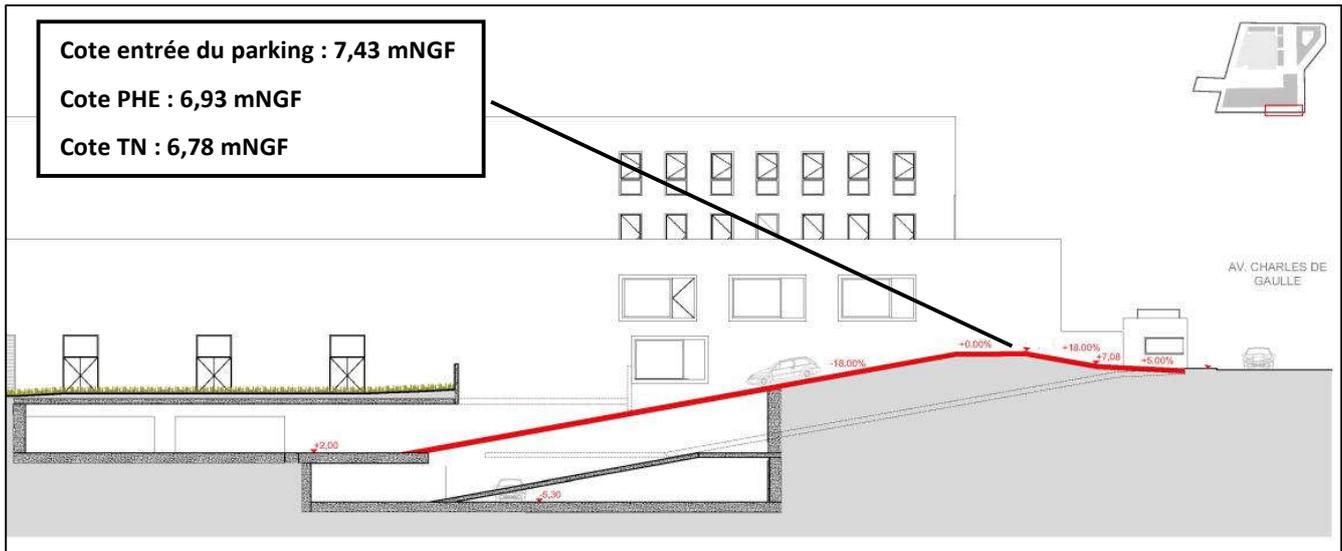


Illustration 30 : Coupe de l'entrée du parking (Source : Atelier du Pont, 2024)

6.4.2.2 Résultats en situation projetée

En situation projetée, les sens d'écoulements en amont et en aval du projet demeurent presque identiques à ceux de la situation existante.

Les principales différences se situent au nord-ouest [1], à l'ouest du gymnase existant [2] et au sud du Cœur économique [3].

Au droit de la zone [1] les écoulements se divisent comme suit :

- D'une part, vers l'est en suivant la topographie et la noue pareillement à l'existant ;
- D'autre part vers la noue nouvellement créée à l'ouest du bâtiment servant de zone tampon pour les eaux.

Au droit de la zone [2], les bâtiments créés sur la façade sud du gymnase empêchent les écoulements de le contourner par le sud avant de rejoindre l'avenue Pierre et Marie Curie. Au droit de la zone [3], les hauteurs d'eau sont comprises entre 25 et 40 cm.

Au centre de l'îlot du Cœur économique [4], les eaux seront collectées au sein d'un décaissé. Les hauteurs d'eau pouvant être atteintes sont de l'ordre de 40 cm et proviennent du ruissellement au droit de la parcelle.

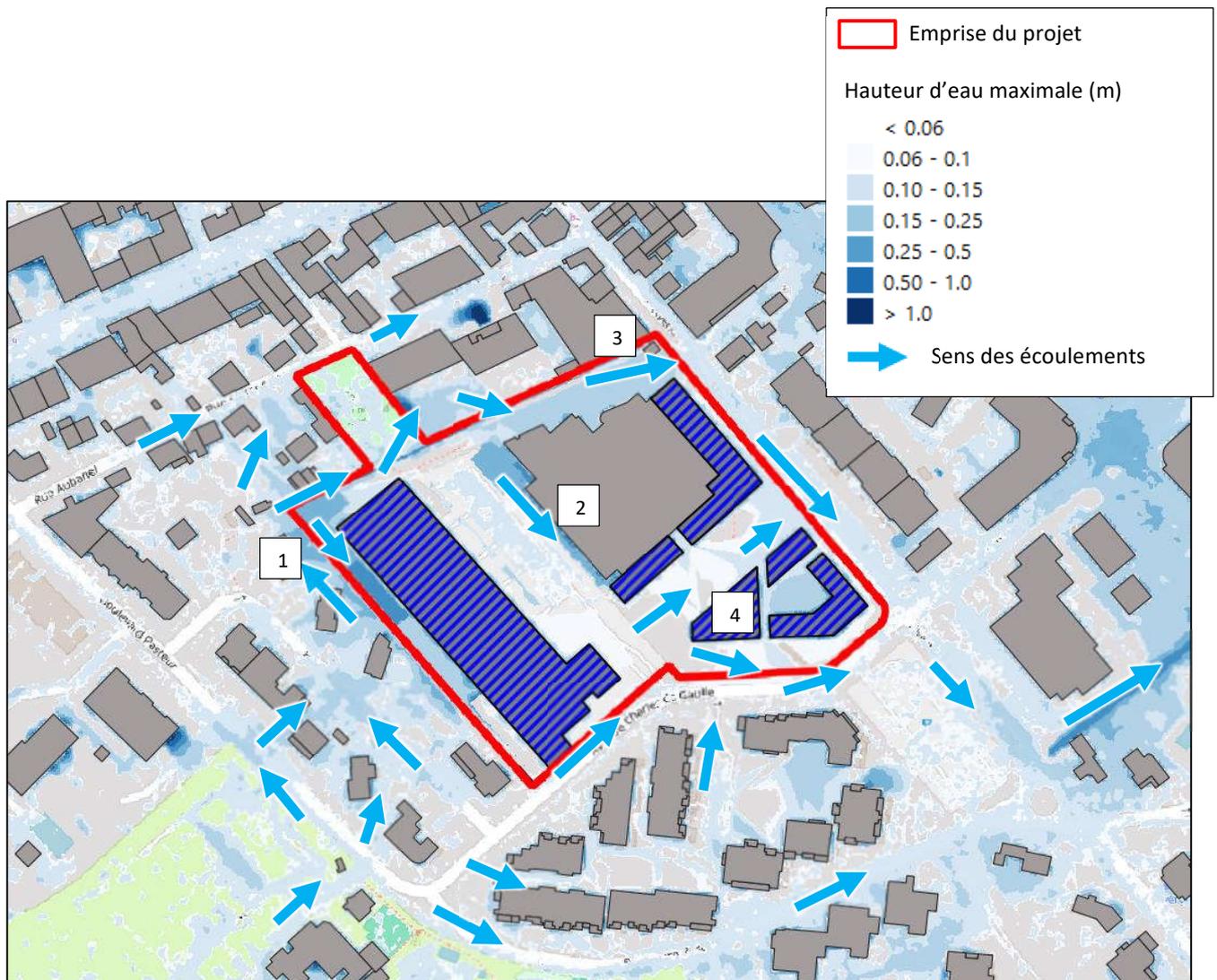


Illustration 31 : Hauteur et sens des écoulements des eaux pluviales en situation projetée pour un événement centennal

Les eaux en provenance de l'ouest de la parcelle ne transitent que via la partie nord de la parcelle pareillement à l'existant. La figure page suivante délimite la surface de projet qui n'intercepte que les eaux s'écoulant au droit la parcelle de projet et où seront implantés les ouvrages de gestion des eaux pluviales.

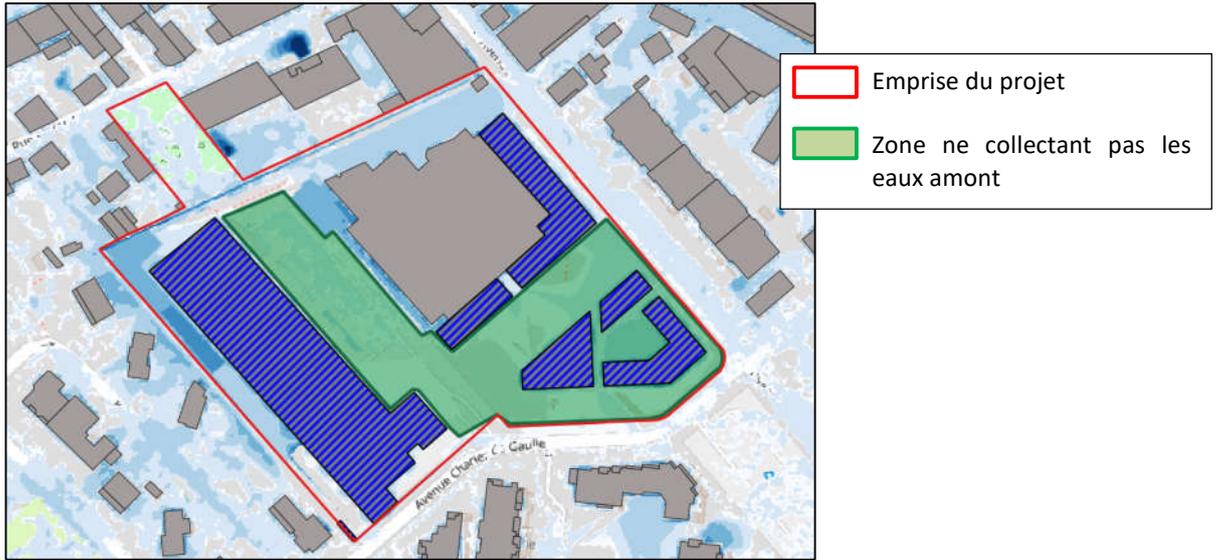


Illustration 32 : Hauteur et sens des écoulements des eaux pluviales en situation projetée pour un événement centennial

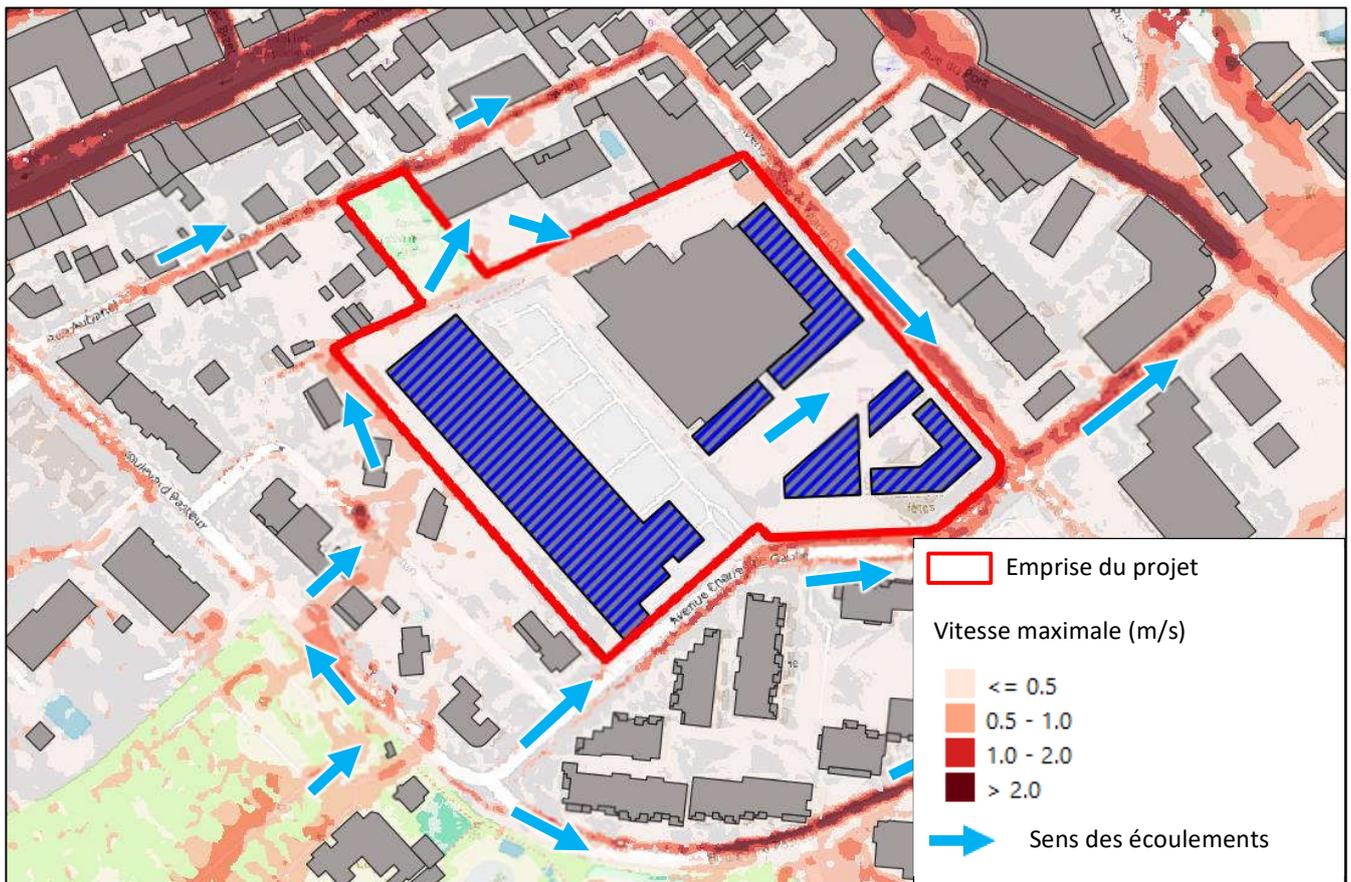


Illustration 33 : Vitesse et sens des écoulements des eaux pluviales en situation projetée pour un événement centennial

6.4.3 Impacts du projet sur les écoulements

Le projet impacte les hauteurs d'eau au nord de son emprise au droit des jardins de la résidence Héracléa à hauteur d'une hausse de 7 cm au maximum et de 4 cm en moyenne. Le jardin de la résidence est par ailleurs déjà situé en zone inondable en situation existante du fait qu'il représente une zone topographique basse. Au droit de l'Avenue Pierre et Marie Curie, une augmentation de 4 cm au maximum et de 2 cm en moyenne est observée au droit de l'Allée des Bains. Les parcelles voisines sont très peu impactées par le projet, au droit de la Rue Aubanel une diminution des hauteurs d'eau allant de 5 à 15 cm est observée.

Les augmentations des hauteurs d'eau modélisées les plus importantes prennent place au sein de l'emprise du projet. Au droit de la noue [1] à l'arrière du bâtiment et prévue pour accueillir les eaux, les hauteurs d'eau sont augmentées de 35 cm à 1,4 m. Les hauteurs sont également augmentées au droit des décaissés des espaces verts [2] et du terrain de sport [3]. Les hauteurs d'eau au droit de l'accès pompier sont augmentées de 15 cm en moyenne et comportent un pic à 35 cm. A noter que l'accès pompier est également possible depuis l'avenue Charles de Gaulle.

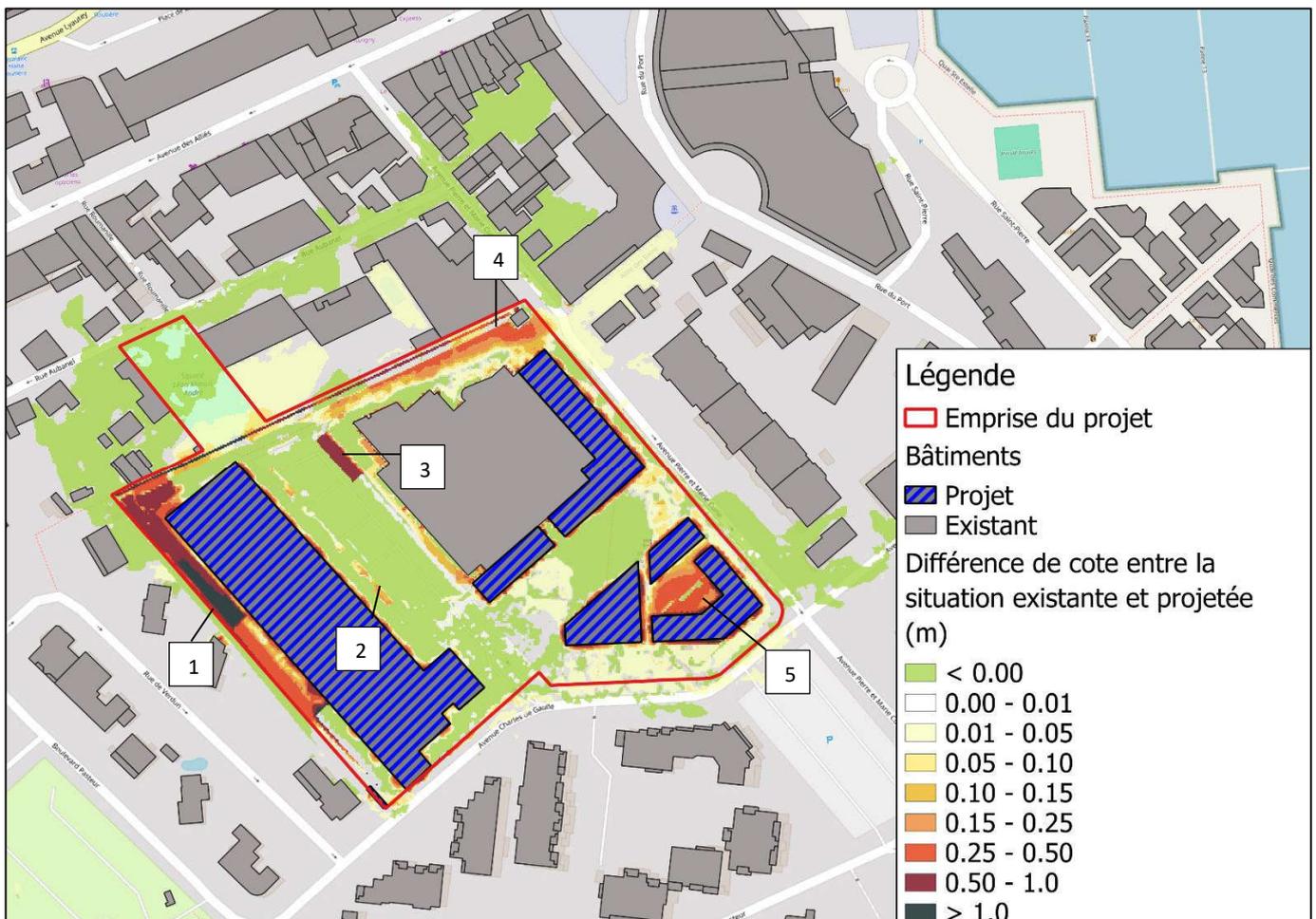


Illustration 34 : Impacts du projet sur les hauteurs d'eau

En situation projetée, la carte ci-dessous indique que les vitesses des écoulements sont augmentées de moins de 10% par rapport à la situation existante au nord et au sud du projet.

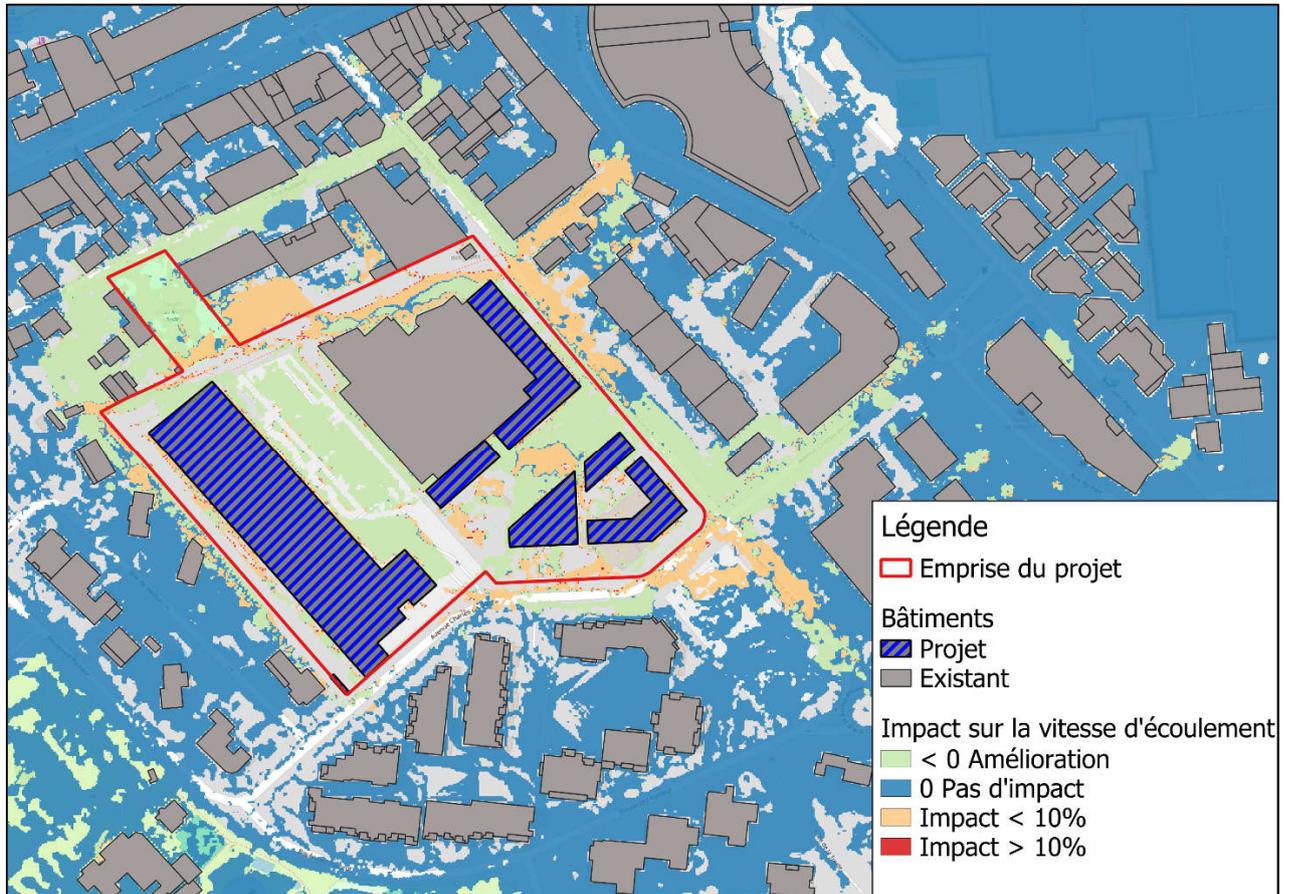


Illustration 35 : Impacts du projet sur les vitesses

6.4.4 Analyse de sensibilité

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

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

A cette fin, **cinq simulations ont été effectuées**. La première constitue l'état de référence. Les quatre autres consistent en l'augmentation ou la diminution de 10% des paramètres d'entrée : le débit injecté (noté Q) et les coefficients de rugosité de Manning (notés n).

Le taux de variation (T_S) est calculé en pourcentage :

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

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

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

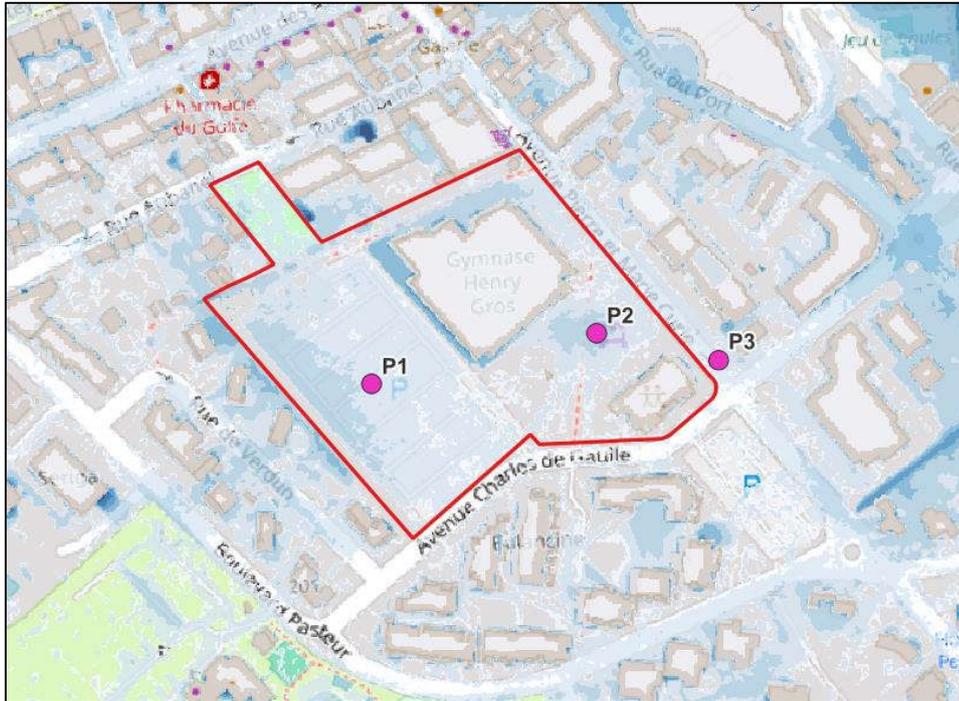


Illustration 36 : Points d'intérêt pour l'analyse de sensibilité de la hauteur d'eau

La **sensibilité de la hauteur d'eau et de la vitesse** à des variations de 10% des paramètres d'entrée est illustrée sur les figures en page suivante. Le tableau ci-dessous reprend les hauteurs et les vitesses des trois points d'analyse.

| Zone | 1 | 2 | 3 |
|-------------------|------|------|------|
| Hauteur d'eau (m) | 0,09 | 0,27 | 0,17 |
| Vitesse (m/s) | 0,04 | 0,05 | 0,92 |

Tableau 4 : Hauteurs au droit des points d'analyse

Les résultats obtenus indiquent qu'une variation de 10% du débit et de 10% du coefficient de rugosité de Manning induisent une variation de l'ordre de 1 % à 11 % de la hauteur d'eau maximale en sortie. Cela correspond à des variations moyennes inférieures à 2 cm.

L'analyse réalisée démontre que les hauteurs d'eau maximales sont peu sensibles à des variations des paramètres d'entrée (rugosité et débit).

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

| Zone | Variations de la hauteur d'eau maximale | | | | | |
|-----------------------|---|--------|-------|--------|-------|--------|
| | 1 | | 2 | | 3 | |
| | % | m | % | m | % | m |
| Hauteur d'eau (n-10%) | -0,97 | -0,001 | -0,21 | -0,001 | -0,48 | -0,001 |
| Hauteur d'eau (n+10%) | 0,85 | 0,001 | 0,26 | 0,001 | 1,02 | 0,002 |
| Hauteur d'eau (Q-10%) | -10,73 | -0,010 | -3,97 | -0,011 | -8,68 | -0,014 |
| Hauteur d'eau (Q+10%) | 9,81 | 0,009 | 3,72 | 0,010 | 8,61 | 0,014 |

Tableau 5 : Variation (m) des hauteurs d'eau modélisées

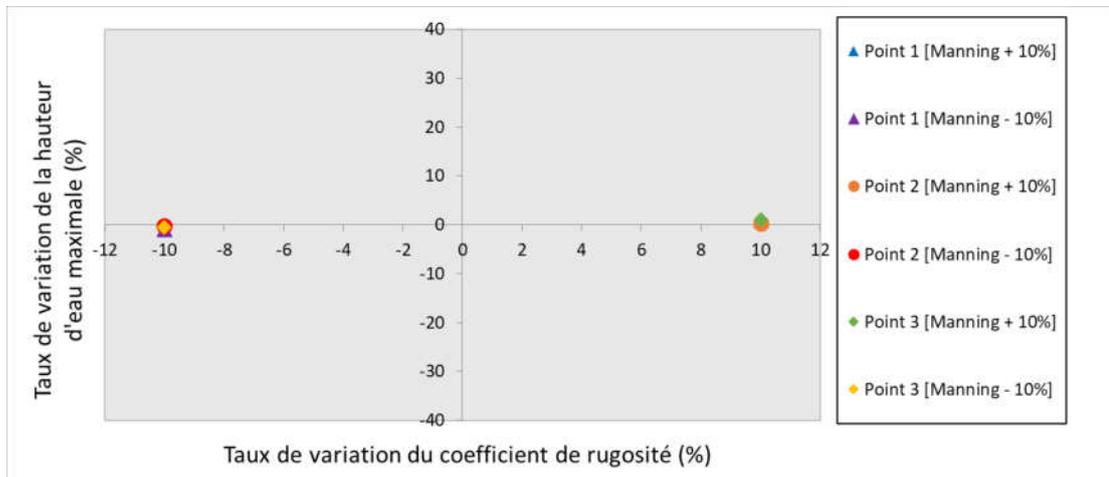
Variation du coefficient de rugosité (n)

Illustration 37 : Taux de variation (%) des hauteurs d'eau modélisées en fonction du coefficient de rugosité

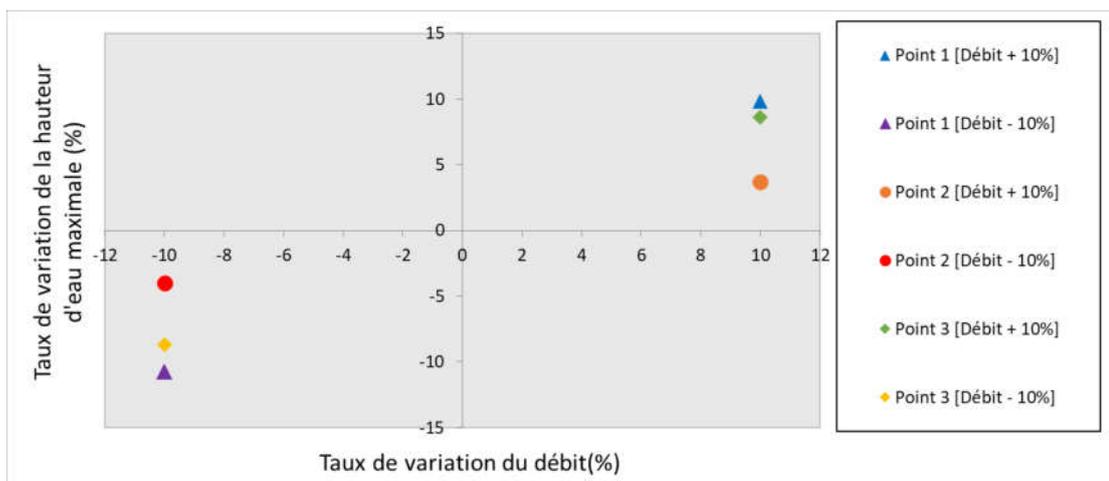
Variation du débit (Q)

Illustration 38 : Taux de variation (%) des hauteurs d'eau modélisées en fonction du débit

La **sensibilité de la vitesse des écoulements** à des variations des paramètres d'entrée est illustrée ci-après.

| Zone | Variations de la vitesse maximale | | | | | |
|-----------------|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|
| | 1 | | 2 | | 3 | |
| | % | m | % | m | % | m |
| Vitesse (n-10%) | 8,32 | 0,004 | 9,74 | 0,005 | 10,11 | 0,08 |
| Vitesse (n+10%) | -7,14 | -0,003 | -7,81 | -0,004 | -9,04 | -0,08 |
| Vitesse (Q-10%) | -12,33 | -0,005 | -13,32 | -0,007 | -15,78 | -0,13 |
| Vitesse (Q+10%) | 8,93 | 0,004 | 11,84 | 0,006 | 15,22 | 0,13 |

Tableau 6 : Variation (m) des vitesses d'eau modélisées

Variation du coefficient de rugosité (n)

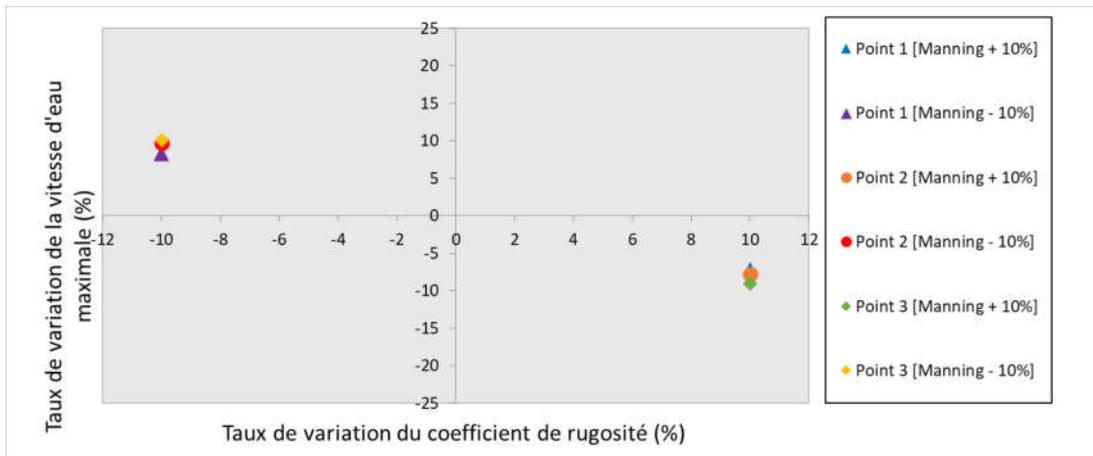


Illustration 39: Taux de variation (%) des vitesses maximales modélisées en fonction du coefficient de rugosité

Variation du débit (Q)

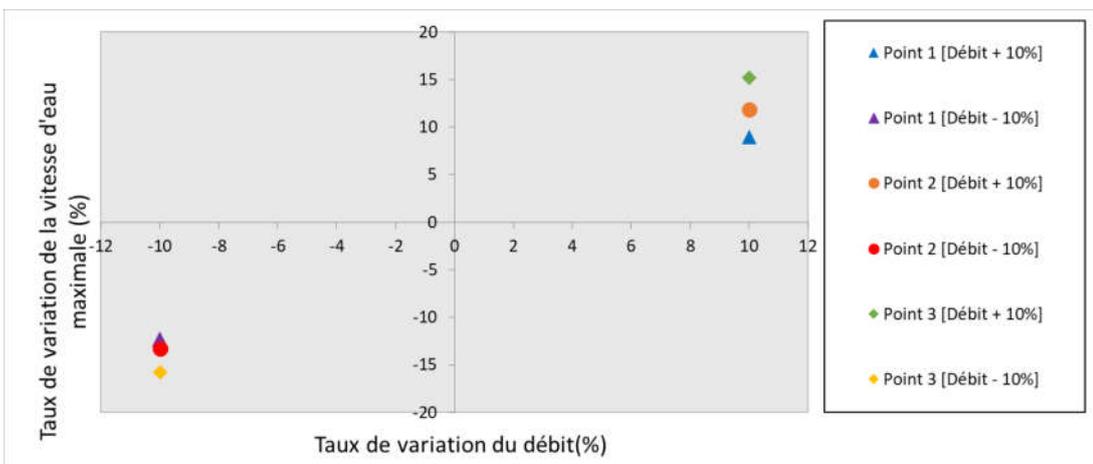


Illustration 40: Taux de variation (%) des vitesses maximales modélisées en fonction du débit

GESTION DES EAUX PLUVIALES

7.1 Etude hydrologique

7.1.1 Bassins versant du projet

Le bassin versant amont étudié dans le cadre de la gestion des eaux pluviales est indiqué en bleu sur l'illustration ci-dessous. Le dimensionnement tenant compte uniquement de l'emprise du projet se limite à la surface indiquée en rouge sur l'illustration ci-dessous.

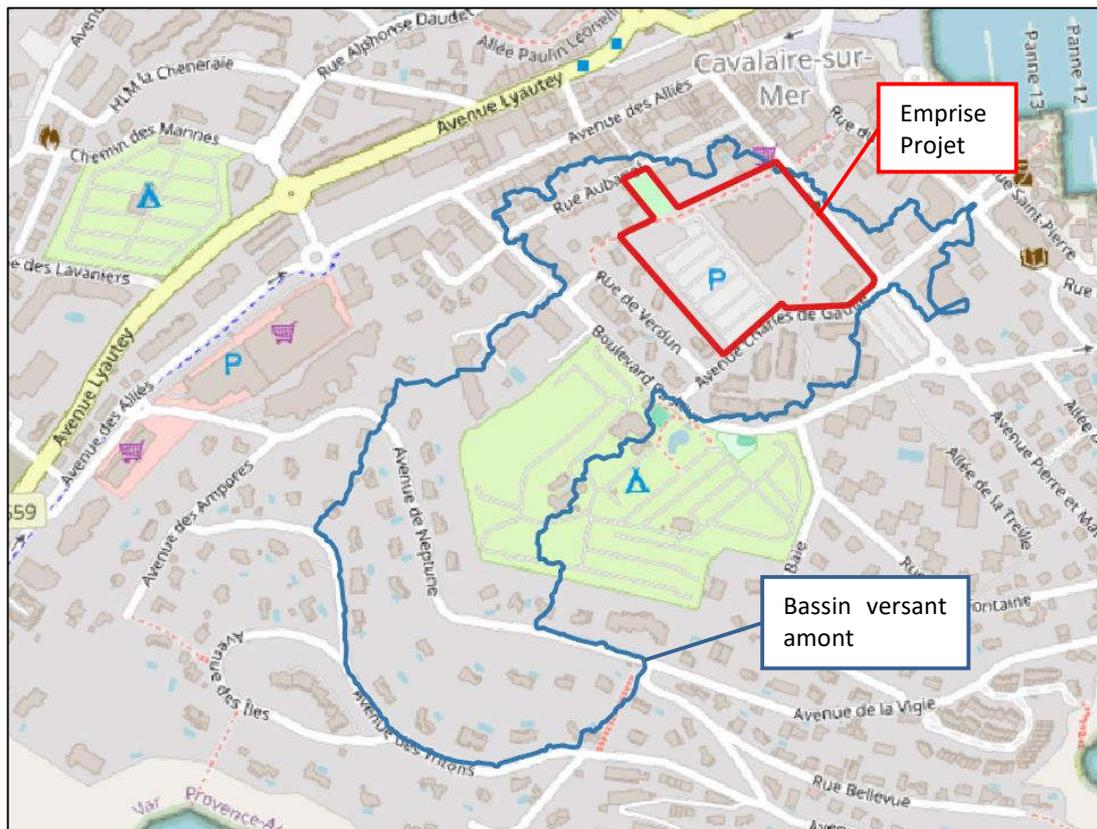


Illustration 41 : Bassins versants étudiés dans le cadre du projet (Source : SCE, 2023)

Le bassin versant intercepté par le projet ne transite pas par la totalité de la parcelle et se restreint à la partie située au nord de celle-ci.

Voir chapitre 6.4.2.2 : Résultats en situation projetée avec l'existant

7.1.2 Répartition des surfaces

L'occupation du sol est présentée dans le tableau ci-dessous pour la situation projetée. Il convient de noter que pour les calculs, la situation référence consiste à considérer l'état initial naturel avant tout aménagement. La situation aménagée correspond quant à elle à la situation incluant tous les éléments du projet (bâtiments, voiries, etc).

| Type de surface | Affectation du sol | Emprise projet | | Bassin versant amont incluant le projet | |
|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---|------------------------------|
| | | Situation référence | Situation aménagée | Situation référence | Situation aménagée |
| Surfaces imperméables | Toitures / Terrasses / Dalles | 0 | 13 955 m ² | 0 | 13 955 m ² |
| Surfaces semi-perméables | Stabilisé et platelage bois | 0 | 4 935 m ² | 0 | 4 935 m ² |
| | Zone urbaine continue | 0 | 0 | 40 862 | 40 862 |
| | Zone urbaine discontinue | 0 | 0 | 89 731 | 89 731 |
| Surfaces perméables | Sols perméables (pente > 7%) | 23 840 m ² | 4 950 m ² | 23 840 m ² | 4 950 m ² |
| TOTAL | | 23 840 m² | 23 840 m² | 154 433 m² | 154 433 m² |

Tableau 7: Répartition des surfaces (en m²) pour les différentes emprises étudiées

7.1.3 Méthodologie

Les débits de pointe sont estimés selon la méthode rationnelle. 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.

Dans le cadre de cette étude, les débits générés par des événements pluvieux de période de retour 2 à 100 ans sont analysés.

La fonction de transfert permettant de transformer la pluie en débit maximal se base sur l'intensité de la pluie, la surface du bassin versant d'apport et le coefficient de ruissellement de pointe comme rappelé par la formule suivante.

$$Q = Cr * I * A/3,6$$

Avec

- Q (m³/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 ruissellements selon l'occupation des sols ;
- I (mm/h) : Intensité de la pluie constante pendant une durée égale au temps de concentration du bassin versant ;
- A (km²) : surfaces des bassins versants considérés.

7.1.4 Coefficients de ruissellement

Le coefficient de ruissellement, noté Cr, est le rapport entre la hauteur d'eau ruisselée à la sortie d'une surface considérée (pluie nette) et la hauteur d'eau précipitée (pluie brute). Ce coefficient est fortement influencé par la pente, le type de sol et l'intensité de la pluie. Ainsi, plus un sol est perméable plus le coefficient de ruissellement est proche de 0. A l'inverse un sol imperméable se traduit par un coefficient proche de 1. La MISEN propose les coefficients de ruissellement présentés dans le tableau suivant.

| Occupation du sol | Pente | Coefficient de ruissellement Cr pour une pluie : | | |
|---|---------|--|------------------|------------------------|
| | | fréquente (1 - 2 ans) | moyenne (10 ans) | rare (100 ans ou sup.) |
| Coefficients unitaires : | | | | |
| Toitures | | 0,95 | 1,00 | 1,00 |
| Sol revêtu en béton ou enrobé bitumineux | | 0,90 | 0,95 | 1,00 |
| Sol stabilisé (grave compactée) ou avec revêtement drainant | | 0,50 | 0,65 | 0,80 |
| Sol végétalisé à tendance imperméable | < 2 % | 0,15 | 0,25 | 0,35 |
| | 2 à 7 % | 0,20 | 0,30 | 0,45 |
| | > 7 % | 0,30 | 0,45 | 0,60 |
| Sol végétalisé à tendance perméable | < 2 % | 0,08 | 0,15 | 0,25 |
| | 2 à 7 % | 0,12 | 0,20 | 0,30 |
| | > 7 % | 0,20 | 0,30 | 0,40 |
| Forêt | < 2 % | 0,05 | 0,10 | 0,20 |
| | 2 à 7 % | 0,08 | 0,15 | 0,25 |
| | > 7 % | 0,15 | 0,25 | 0,35 |
| Coefficients intégrés : | | | | |
| Habitat diffus | | 0,20 - 0,35 | 0,30 - 0,45 | 0,40 - 0,55 |
| Habitat moyennement dense | | 0,35 - 0,50 | 0,45 - 0,60 | 0,55 - 0,75 |
| Habitat dense, collectifs | | 0,50 - 0,75 | 0,60 - 0,80 | 0,75 - 0,90 |
| Centre-ville | | 0,70 - 0,85 | 0,75 - 0,90 | 0,85 - 0,95 |
| Zones commerciales ou industrielles | | 0,60 - 0,80 | 0,70 - 0,85 | 0,80 - 0,95 |

Illustration 42 : Coefficients de ruissellement préconisés par la MISEN 83

Les coefficients de ruissellement utilisés dans le cadre de l'étude sont repris dans le tableau ci-après.

| Type de surface | Affectation du sol | Coefficient de ruissellement retenu | | |
|--------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| | | Occurrence 2 ans à 5 ans | Occurrence 10 ans à 30 ans | Occurrence 50 ans à 100 ans |
| Surfaces imperméables | Toitures /Terrasses/Dalle bétonnée | 0,95 | 1 | 1 |
| Surfaces semi-perméables | Chemins stabilisés | 0,5 | 0,65 | 0,80 |
| | Zone urbaine continue | 0,80 | 0,85 | 0,95 |
| | Zone urbaine discontinue | 0,45 | 0,55 | 0,70 |
| Surfaces perméables | Espaces verts | 0,15 | 0,25 | 0,35 |

Tableau 8 : Coefficients de ruissellement utilisés dans le cadre de l'étude

Les tableaux suivants reprennent la répartition des coefficients de ruissellement pour différentes occurrences et pour les différents types de surfaces considérés selon que l'on considère uniquement la parcelle projet ou l'ensemble du bassin versant. Le calcul des coefficients de ruissellement globaux se fait en appliquant la moyenne pondérée des coefficients de ruissellement selon l'occupation du sol.

Le tableau ci-dessous concerne l'emprise du projet.

| Affectation du sol | | Surface | Coefficient de ruissellement | | |
|------------------------|---------------------------------------|-------------------|------------------------------|--------------------|---------------------|
| | | (m ²) | 2 ans à 5 ans | 10 ans à 30 ans | 50 ans à 100 ans |
| Situation de référence | Toitures / Terrasses / Dalle bétonnée | 0 | 0,95 | 1,00 | 1,00 |
| | Chemins stabilisés | 0 | 0,50 | 0,65 | 0,80 |
| | Espaces verts | 23 840 | 0,15 | 0,25 | 0,35 |
| | Total | 23 840 | 0,15 | 0,25 | 0,35 |
| Situation projetée | Toitures / Terrasses / Dalle bétonnée | 13 955 | 0,95 | 1,00 | 1,00 |
| | Chemins stabilisés | 4 935 | 0,50 | 0,65 | 0,80 |
| | Espaces verts | 4 950 | 0,15 | 0,25 | 0,35 |
| | Total | 23 840 | 0,69 | 0,77 | 0,82 |

Tableau 9 : Répartition des surfaces et coefficients de ruissellement associés aux parcelles de projet

Le tableau ci-dessous concerne l'emprise du bassin versant amont dans lequel s'inscrit le projet.

| Affectation du sol | | Surface | Coefficient de ruissellement | | |
|------------------------|---------------------------------------|-------------------|------------------------------|-----------------|------------------|
| | | (m ²) | 2 ans à 5 ans | 10 ans à 30 ans | 50 ans à 100 ans |
| Situation de référence | Zone urbaine continue | 40 862 | 0,80 | 0,85 | 0,95 |
| | Zone urbaine discontinue | 89 731 | 0,45 | 0,55 | 0,70 |
| | Toitures / Terrasses / Dalle bétonnée | 0 | 0,95 | 1,00 | 1,00 |
| | Chemins stabilisés | 0 | 0,50 | 0,65 | 0,80 |
| | Espaces verts | 23 840 | 0,15 | 0,25 | 0,35 |
| | Total | 154 433 | 0,50 | 0,58 | 0,71 |
| Situation projetée | Zone urbaine continue | 40 862 | 0,80 | 0,85 | 0,95 |
| | Zone urbaine discontinue | 89 731 | 0,45 | 0,55 | 0,70 |
| | Toitures / Terrasses / Dalle bétonnée | 13 955 | 0,95 | 1,00 | 1,00 |
| | Chemins stabilisés | 4 935 | 0,50 | 0,65 | 0,80 |
| | Espaces verts | 4 950 | 0,15 | 0,25 | 0,35 |
| | Total | 154 433 | 0,58 | 0,66 | 0,79 |

Tableau 10 : Répartition des surfaces et coefficients de ruissellement associés au bassin amont drainé par le projet

7.1.5 Temps de concentration

Le temps de concentration T_c correspond à la durée que met la goutte d'eau tombée au point le plus éloigné du bassin versant pour parvenir à l'exutoire où l'on cherche à calculer le débit. La connaissance de ce temps de concentration est nécessaire à l'estimation des débits de pointe par les méthodes déterministes, du type méthode rationnelle et leurs déclinaisons régionales.

Selon les impositions de la DDTM du Var, le temps de concentration de la parcelle du projet doit être calculé selon plusieurs méthodes dont les résultats doivent ensuite être comparés.

| Méthode | Formule | Variables |
|-------------------|--|---|
| 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 ² 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 ² 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 11 : Comparaison des méthodes de calcul du temps de concentration

Le tableau page suivante présente les paramètres du terrain et les résultats des calculs de temps de concentration associés au terrain en question.

Le temps de concentration retenu pour la suite de l'étude est fixé à 9 minutes pour le bassin versant correspondant à l'emprise du projet et à 10 minutes pour l'ensemble du bassin versant amont.

| Caractéristiques | | Parcelles de projet | Bassin versant amont |
|--|--------------------|-----------------------|------------------------|
| Caractéristiques de la surface drainée | Superficie drainée | 23 840 m ² | 154 433 m ² |
| | Point haut | 5,4 mNGF | 73 mNGF |
| | Point bas | 2,95 mNGF | 2,95 mNGF |
| | Longueur | 280 m | 725 m |
| | Pente moyenne | 1 % | 10 % |
| Temps de concentration (minutes) | Passini | 13 | 10 |
| | Ventura | 12,6 | 9,6 |
| | Kirpich | 9,3 | 7,6 |
| | Bressand Golossov | 4,7 | 13,4 |
| | Moyenne | 9,2 | 10,2 |

Tableau 12 : Calcul des temps de concentration

7.1.6 Pluviométrie statistique

Dans le cadre de l'étude, la station de Toulon a été retenue pour le choix des coefficients de Montana. En effet, ce choix se justifie notamment par la proximité avec le lieu d'étude. L'altitude de la station (située à 3 m), est également un facteur important dans la mesure où le projet se situe sur la commune de Cavalaire-sur-Mer, à environ 50 m d'altitude. **La station de Toulon est donc représentative des conditions climatiques du site d'étude.**

L'intensité de la pluie est calculée à partir des coefficients de Montana fournis par Météo-France à la station de Toulon pour différentes périodes de retour et durées de pluies :

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

Avec :

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

Généralement, l'intensité pluviométrique est déterminée pour une pluie de durée au moins égale au temps de concentration (tc) du bassin versant concerné. En l'occurrence, l'intensité pluviométrique et le cumul de pluie (lame d'eau) sont calculés pour des pluies d'une durée de 9 et 10 minutes, qui correspondent aux temps de concentration retenus pour les bassins versant étudiés. Les coefficients de Montana et les pluies associées sont présentés dans le tableau ci-dessous :

| Pas de temps de la pluie | Coefficient de Montana | Occurrence de la pluie | | | | | | |
|--------------------------|------------------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| | | 2 ans | 5 ans | 10 ans | 20 ans | 30 ans | 50 ans | 100 ans |
| 6min - 2h | a | 3,79 | 4,466 | 5,002 | 5,402 | 5,596 | 5,828 | 6,051 |
| | b | 0,503 | 0,496 | 0,48 | 0,462 | 0,452 | 0,44 | 0,422 |
| 2h - 6h | a | 8,169 | 8,935 | 10,895 | 12,838 | 14,077 | 15,507 | 17,694 |
| | b | 0,678 | 0,659 | 0,659 | 0,658 | 0,659 | 0,657 | 0,656 |
| 6h - 24h | a | | 16,179 | 22,32 | 30,286 | 35,948 | 44,539 | 59,159 |
| | b | | 0,759 | 0,781 | 0,805 | 0,819 | 0,838 | 0,864 |

Tableau 13 : Coefficients de Montana à la station de Toulon (Source : Météo-France, 2022)

| Temps de concentration | Statistique | Occurrence de la pluie | | | | | | |
|------------------------|------------------|------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|
| | | 2 ans | 5 ans | 10 ans | 20 ans | 30 ans | 50 ans | 100 ans |
| 9 minutes | Intensité (mm/h) | 75,3 | 90,1 | 104,5 | 117,4 | 124,4 | 133,0 | 143,6 |
| | Cumul (mm) | 11,3 | 13,5 | 15,7 | 17,6 | 18,7 | 19,9 | 21,5 |
| 10 minutes | Intensité (mm/h) | 71,4 | 85,5 | 99,4 | 111,9 | 118,6 | 127,0 | 137,4 |
| | Cumul (mm) | 11,9 | 14,3 | 16,6 | 18,6 | 19,8 | 21,2 | 22,9 |

Tableau 14 : Intensités maximales et hauteurs d'eau précipitées pour des pluies d'occurrences 2 à 100 ans, de durée 9 et 10 min

7.1.7 Débits de pointe

Les débits de pointe sont calculés en situation de référence et projetée pour des événements pluvieux d'occurrences 2 à 100 ans. Le tableau page suivante indique les débits générés sur les différents sous-bassins drainé par le projet en situations de référence et projetée.

Les débits de pointe sont exprimés dans le tableau page suivante, ils sont notés Q_T avec T la période de retour de l'évènement pluvieux considéré (en années).

| | Situation | Débit de pointe en fonction de l'occurrence de l'évènement (l/s) | | | | | | |
|----------------------|------------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | Q2 | Q5 | Q10 | Q20 | Q30 | Q50 | Q100 |
| Parcelles de projet | Situation de référence | 75 | 90 | 173 | 194 | 206 | 220 | 333 |
| | Situation projetée | 344 | 412 | 534 | 600 | 636 | 680 | 783 |
| Bassin versant amont | Situation de référence | 1 520 | 1 821 | 2 486 | 2 798 | 2 966 | 3 176 | 4 197 |
| | Situation projetée | 1 776 | 2 127 | 2 829 | 3 185 | 3 376 | 3 614 | 4 628 |

Tableau 15 : Débits de pointe générés pour des événements pluvieux de périodes de retour de 2 à 100 ans, estimés en situations de référence et projetée

7.2 Dimensionnement de l'ouvrage de rétention

7.2.1 Méthode de la « surface imperméabilisée »

La première méthode, préconisée par la MISEN 83, se base uniquement sur la surface imperméabilisée associée au projet. Les surfaces imperméabilisées des bâtiments comprennent le gymnase existant qui sera conservé dans le cadre du projet.

Les mètres carrés imperméabilisés entrant dans le calcul du volume de rétention sont détaillés comme suit :

- Les mètres carrés **totalemt imperméabilisés** (ayant un coefficient de ruissellement égal à 1) soit ici **13 955 m²** ;
- Les mètres carrés **semi-perméables**, ici l'enrobé drainant et le stabilisé, sont intégrés à la surface à compenser pour leur part de ruissellement. Avec un coefficient de ruissellement centennal $Cr_{100} = 0,8$, la surface semi-perméable à compenser de 4 935 m² sera comptabilisé comme une surface imperméabilisée de **3 948 m²**.

| Type de surface | | Surfaces en situation projetée (m ²) |
|---|-----------|--|
| Surfaces imperméables | Bâtiments | 11 059 |
| | Voirie | 2 896 |
| | TOTAL | 13 955 |
| Surfaces semi-perméables (enrobé drainant, stabilisé) | | 4 935 |
| Surfaces perméables (espaces verts) | | 4 950 |
| TOTAL | | 23 840 |

Tableau 16 : Répartition des surfaces en situations existante et projetée dans le cadre de la méthode de la « surface imperméabilisée » (MISEN 83)

Tenant compte d'une surface considérée de 17 903 m² associée au ratio de 100 l/m² imperméabilisé, **le volume de rétention à prévoir atteint 1 790 m³.**

7.2.2 Méthode du réservoir linéaire pour une pluie centennale

7.2.2.1 Pluie de projet

Selon les préconisations de la MISEN 83, le dimensionnement des ouvrages de rétention se fait à partir d'un hydrogramme défini selon la méthode du « réservoir linéaire » pour une pluie d'occurrence centennale en entrée d'ouvrage avec un débit de fuite correspondant à 15 l/s/ha imperméabilisé. L'estimation des débits de pointe par un modèle pluie-débit nécessite au préalable la construction d'une pluie de projet.

La pluie de projet retenue est générée par la méthode du « double-triangle » préconisée par le laboratoire d'Hydrologie Mathématique de Montpellier. La construction double-triangle se justifie au regard de la forme que prennent généralement les épisodes pluvieux. On retrouve ainsi une période de pluie relativement longue d'intensité soutenue à l'intérieur de laquelle vient s'insérer un épisode plus court d'intensité très forte dont la période de retour est associée à la pluie de projet.

Conformément au document de la MISEN, une pluie d'une durée totale de 240 minutes est retenue. Un évènement plus intense d'une durée de 9 ou 10 minutes est inclus dans celle-ci, correspondant au temps de concentration des bassins versant considérés.

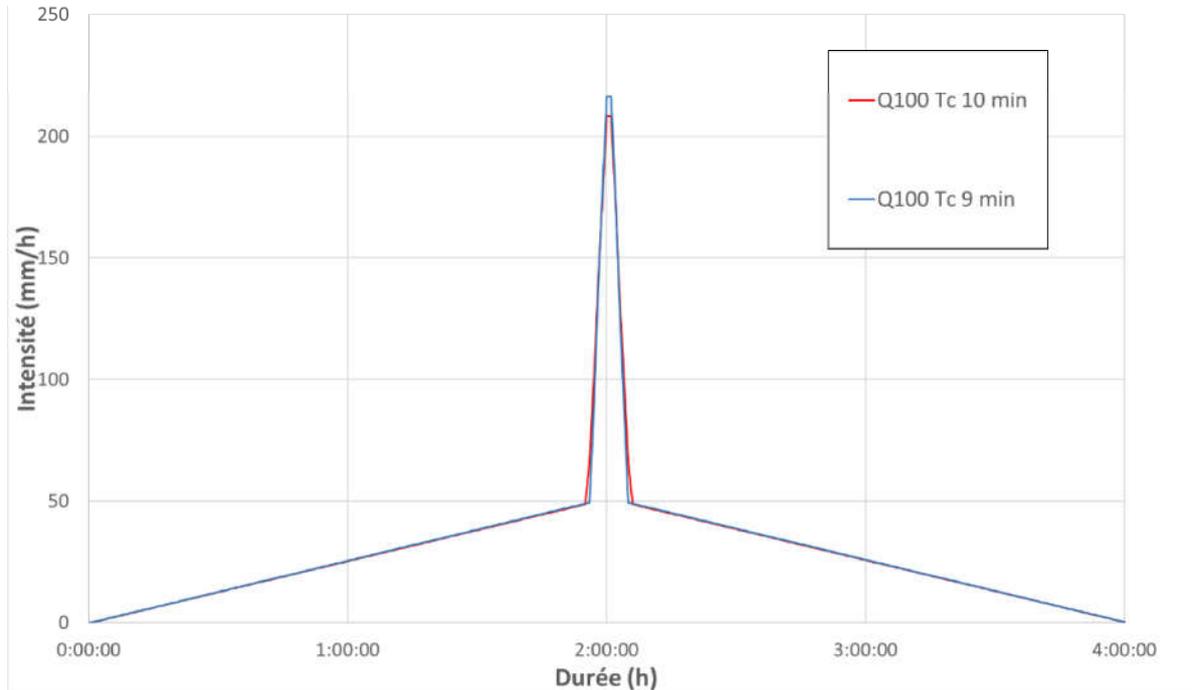


Illustration 43 : Pluies brutes d'occurrences centennale, d'une durée totale de 4h intégrant un pic d'intensité de 9 minutes ou de 10 minutes

7.2.2.2 Modèle pluie-débit

Le document de la MISEN préconise que le dimensionnement de l'ouvrage de rétention se fasse à partir d'un hydrogramme généré selon la méthode dite du réservoir linéaire. L'équation utilisée pour générer l'hydrogramme en sortie de bassin versant est la suivante :

$$Q_s(t) = e^{-\frac{dt}{K}} \times Q_s(t-1) + (1 - e^{-\frac{dt}{K}}) \times Q_e(t)$$

Avec :

- Q_s (m³/s) : Débit en sortie de bassin à l'instant t ;
- Q_e (m³/s) : Débit généré par la pluie de projet sur la surface du bassin en tenant compte d'un coefficient d'imperméabilisation ;
- dt (min) : Pas de temps de calcul ;
- K (min) : Coefficient « lag time » correspondant à l'écart entre les centres de gravité du hétérogramme et de l'hydrogramme calculé par la méthode de Desbordes.

La formule mise au point par Desbordes pour le calcul du temps de réponse d'un bassin versant est la suivante :

$$K = 5.07 A^{0.18} I^{-0.36} (1 + IMP)^{-1.9} d_{pi}^{0.21} L_c^{0.15} H_i^{-0.07}$$

Avec :

- K (min) : Coefficient « lag time » ;
- A (ha) : Surface du bassin versant ;
- I (%) : Pente équivalente du bassin versant ;
- IMP (-) : Coefficient d'imperméabilisation ;
- D_{pi} (min) : Durée de la période de pluie intense ;
- L_c (m) : Longueur du collecteur principal ;
- H_i (mm) : Hauteur de pluie intense.

A partir des pluies d'occurrences centennale précédemment considérées, les hydrogrammes suivants ont été définis.

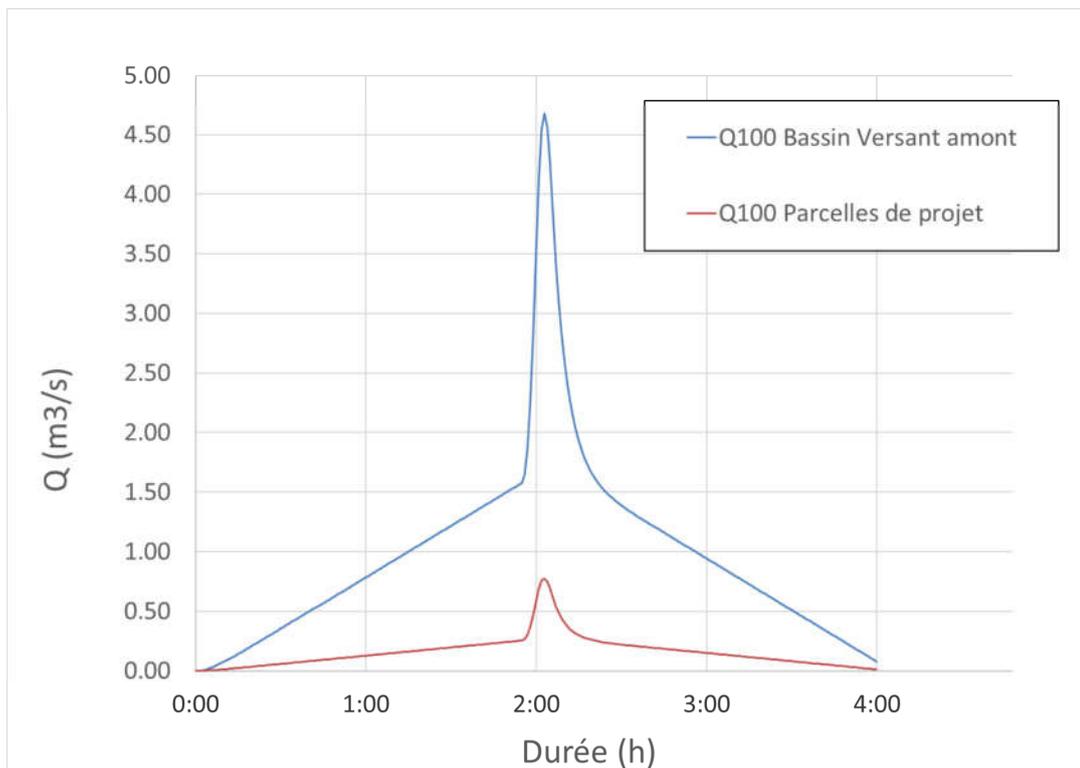


Illustration 44 : Hydrogrammes générés pour une pluie d'occurrence centennale en situation projetée pour les parcelles de projet et le bassin versant amont

7.2.2.3 Débit de fuite

Le PLU ne contient aucune imposition en termes de débit de fuite. Au vu de l'impossibilité d'infiltrer les eaux et de la nécessité de réaliser le rejet dans le réseau de collecte des eaux pluviales de la commune sans le saturer, le **débit de fuite est limité à 15 l/s/ha imperméabilisé, soit 28 l/s.**

Le diagnostic de réseau réalisé en décembre 2023 indique que le réseau de collecte des eaux pluviales transite via une conduite de diamètre 800 et de pente d'environ 0,3 % le long de l'avenue Pierre et Marie Curie. La capacité de la conduite, sous réserve qu'elle soient en bon état, est de 660 l/s. Le débit maximal rejeté par le projet constitue ainsi 4 % de sa capacité totale.

7.2.2.4 Volume de rétention

Le cumul des différences entre le débit d'entrée (Q100 projet) et de sortie permet de calculer le volume d'eau devant être stocké dans l'ouvrage de rétention.

Le volume de rétention calculé par la méthode du réservoir linéaire est de 13 817 m³ pour la compensation du ruissellement associé au bassin versant en amont du projet.

Le volume de rétention calculé par la méthode du réservoir linéaire est de 1 890 m³ pour la compensation du ruissellement associé à l'emprise des parcelles du projet.

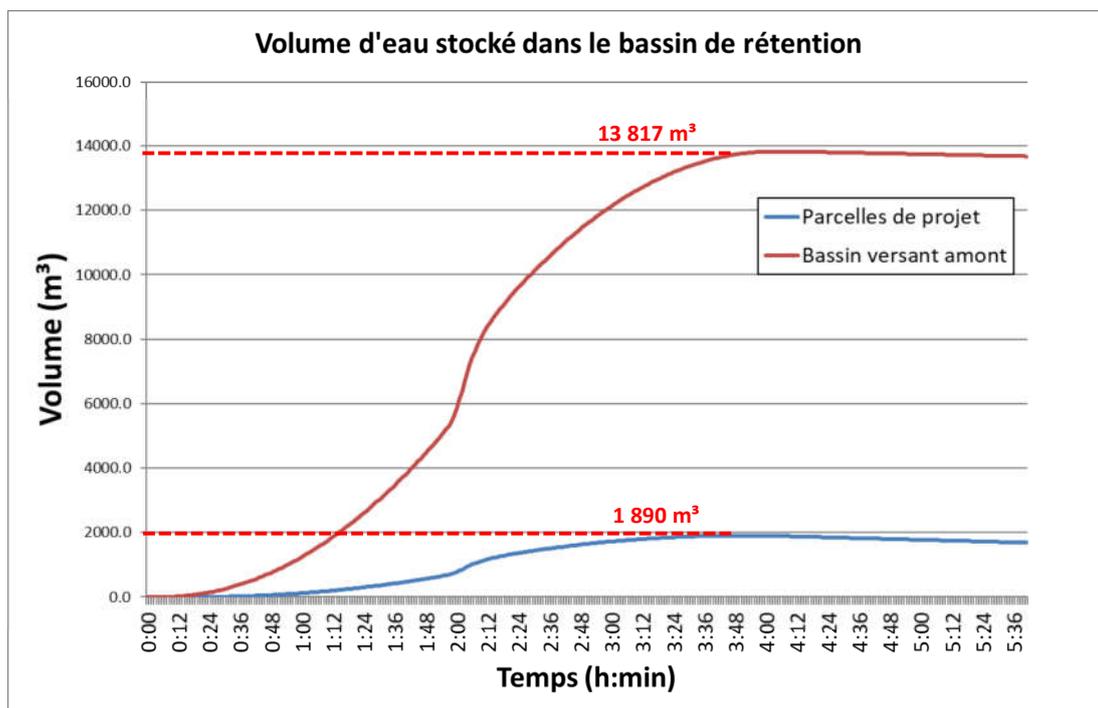


Illustration 45 : Courbe de remplissage des bassins de rétention des eaux pluviales en considérant les parcelles de projet et en considérant le bassin versant amont

7.2.3 Volume de rétention retenu

Le tableau suivant compare les deux méthodes utilisées pour le calcul du volume de rétention en considérant l'aménagement de la parcelle.

Le tableau comporte également le volume qui serait nécessaire si le projet tenait compte de l'entièreté du bassin versant amont associé au projet.

| Méthode de calcul | Caractéristique | Volume (m ³) |
|---|---|--------------------------|
| Ratio surfacique | 100 l/m ² | 1 790 |
| Réservoir linéaire en considérant les parcelles du projet | Débit d'entrée pour la pluie centennale Débit de fuite limité à 15 l/s/ha imperméabilisé | 1 890 |
| Réservoir linéaire en considérant le bassin versant amont | Débit d'entrée pour la pluie centennale Débit de fuite limité à 15 l/s/ha imperméabilisé | 13 817 |

Tableau 17 : Comparaison des volumes de rétention obtenus avec les différentes méthodes

Au vu de l'impossibilité d'inclure un bassin de plus de 13 000 m³ dans la configuration du projet et du caractère urbain dans lequel celui-ci s'insère, le volume retenu se base uniquement sur la compensation des eaux ruisselant sur la parcelle. Il convient par ailleurs de noter que la rétention s'opèrera en toiture pour les bâtiments du Cœur Economique et dans des ouvrages enterrés pour les espaces de circulation et les autres bâtiments. Les ouvrages enterrés se situeront en dehors des axes d'inondation provenant du bassin versant amont. **Le volume le plus important est celui calculé avec la méthode du réservoir linéaire, soit 1 890 m³. C'est donc ce volume de rétention qui sera retenu pour la suite de l'étude.**

7.2.4 Ouvrages de gestion des eaux pluviales

Le principe retenu afin de permettre le stockage d'un volume de rétention de 1890 m³ consiste à la réalisation de plusieurs bassins de rétention enterrés de type SAUL (Structures alvéolaires ultralégères) qui seront curables et visitables et avec un indice de vide de 95%. Un volume de rétention en toiture sera intégré aux bâtiments du Cœur de Vie et du Cœur Evènementiel.

Le tableau suivant présente la répartition du volume dans les différents ouvrages de rétention :

| Bassin | Surface active (m ²) | Surface de bassin (m ²) | Volume (m ³) | Débit de fuite (l/s) | Hauteur de stockage (m) |
|--|----------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|----------------------|-------------------------|
| B1 : Place du marché | 7 501 | 424 | 724 | 11 | 1,8 |
| B2 : Sous le boulodrome | 7 787 | 439 | 750 | 11 | 1,8 |
| B3 : Le long de l'av. Charles de Gaulle | 2 046 | 116 | 197 | 3 | 1,8 |
| B4 : Rétention en toiture | 2 284 | | 219 | 3 | 0,1 |

Tableau 18 : Caractéristiques des ouvrages de rétention

Au vu des caractéristiques hydrogéologiques du site, il sera nécessaire de réaliser un lestage du bassin avec la pose de la géomembrane d'étanchéité afin de résister aux pressions générées par les remontées de la nappe phréatique.

Les bassins enterrés de type SAUL sont conçus pour être curables et accessibles pour inspection :

- Une inspection vidéo est réalisée à l'aide d'une boîte d'inspection, d'un regard de visite ou de puits d'inspection intégrés à l'ouvrage afin d'évaluer les besoins de nettoyage.
- Un nettoyage complet est réalisé par hydrocurage et aspiration afin de rétablir le volume de stockage initial.

Le rejet sera effectué sur le réseau public avec un débit de fuite propre à chaque bassin de rétention, et un débit de fuite global de la parcelle de 28 l/s. Dans le cadre du projet, trois raccordements sur le réseau d'eaux pluviales existant seront créés :

- Le bassin de rétention B1 (Place de marché) sera raccordé au regard existant sur l'Avenue Pierre et Marie Curie de manière gravitaire, avec un fil d'eau d'entrée positionné à la cote 1,36 m NGF ;
- Le bassin de rétention B2 (Sous terrain de Pétanque) sera connecté au regard existant sur l'Avenue Pierre et Marie Curie de manière gravitaire avec un fil d'eau d'entrée à 1,60 m NGF ;
- Le bassin de rétention B3 (le long de l'avenue Charles-De-Gaulles) sera raccordé au regard existant sur l'Avenue Charles de Gaulle de manière gravitaire avec un fil d'eau d'entrée de 1,91 m NGF.

L'emplacement des ouvrages est présenté sur la figure en page suivante.

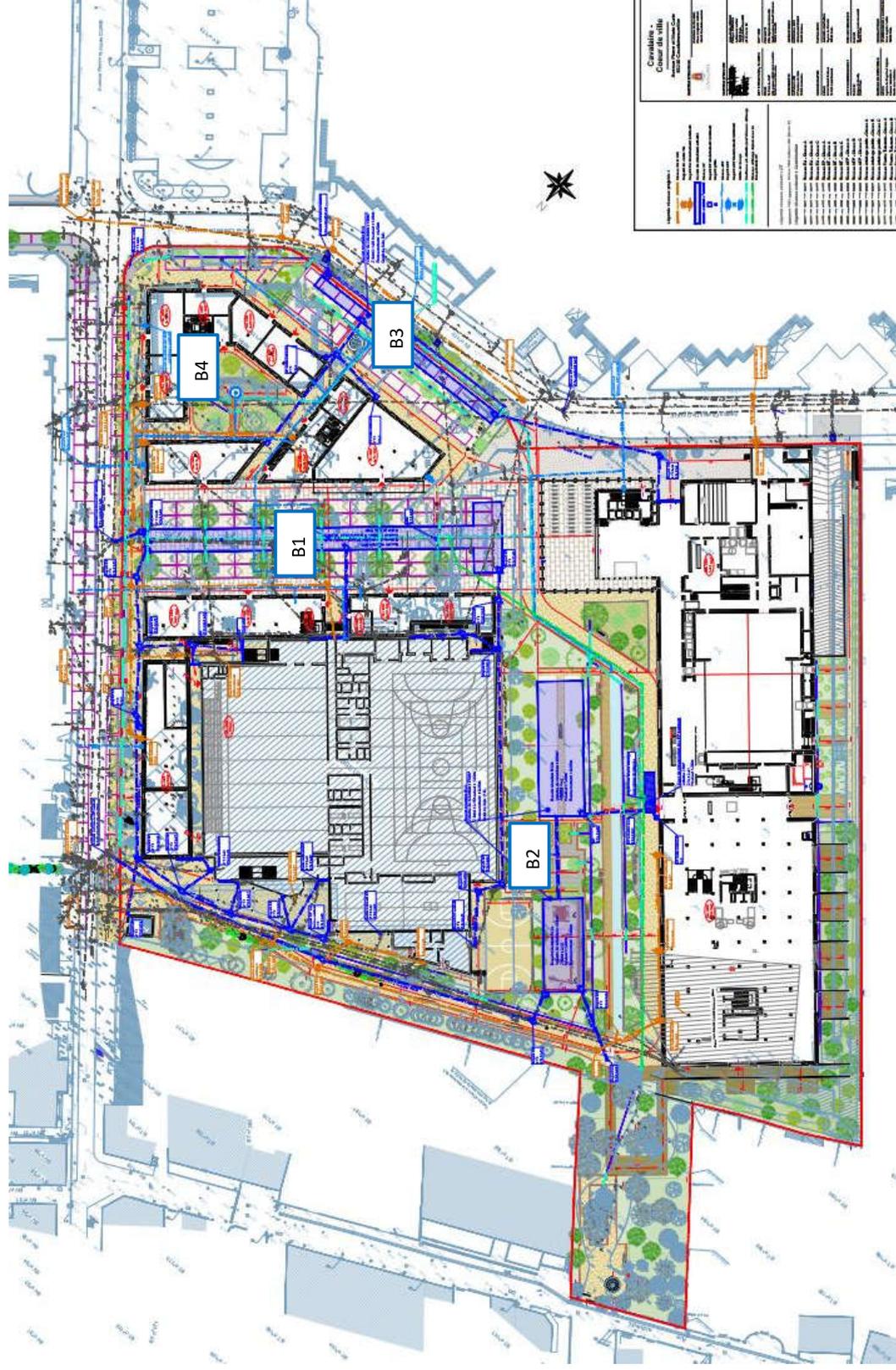


Illustration 46 : Plan des réseaux humides

8

CONCLUSION

Le projet d'aménagement de l'équipement public et des espaces publics « Cœur de Ville » s'étend sur une surface de 23 840 m² à l'est de la commune de Cavalaire-sur-Mer. Le projet consiste en l'aménagement de bureaux, de salles de spectacles, de commerces, d'une place de marché, de promenades paysagères et d'un parking souterrain. Les parcelles se situent le long de l'avenue Charles de Gaulle et de l'avenue Pierre et Marie Curie.

Le Plan Local d'Urbanisme (PLU) de la commune de Cavalaire-sur-Mer stipule que la zone de projet est située en zone d'aléa inondation tel que délimité par l'étude menée par la commune en 2010.

Le projet est également repris en zone inondable selon le zonage Exzeco. En 2023, la DDTM du Var a ainsi demandé à la Commune d'affiner le risque inondation sur ce secteur. Le projet du Cœur de Ville se situe en zone d'aléa modéré d'inondation par ruissellement pluvial.

Les objectifs de la présente étude sont de caractériser les impacts du projet sur le risque inondation. Une modélisation hydraulique 2D de la zone d'étude a été réalisée à cet effet.

Au droit de la zone de projet, la modélisation met en évidence que seule la partie nord de la parcelle intercepte les eaux en provenance de l'amont. Le projet impacte deux zones restreintes à l'extérieur de son emprise : au droit des jardins de la résidence Héracléa ainsi qu'au droit de l'avenue Pierre et Marie Curie. Les augmentations sont inférieures à 7 cm. Les parcelles voisines sont très peu impactées par le projet. Au droit de la Rue Aubanel, une diminution des hauteurs d'eau allant de 5 à 15 cm est par ailleurs observée.

En situation projetée, les vitesses des écoulements sont augmentées de moins de 10% par rapport à la situation existante au nord et au sud du projet.

Les augmentations des hauteurs d'eau modélisées les plus importantes prennent place au sein de l'emprise du projet, notamment dans les zones tampons créés à cet effet. Néanmoins, la cote des premiers planchers doit être prévue à PHE + 40 cm pour respecter les impositions du PLU.

Le dimensionnement du volume de rétention nécessaire à la gestion des eaux pluviales est réalisé selon les impositions de la MISEN 83. La modélisation hydraulique a permis de démontrer qu'en situation projetée les eaux en provenance des secteurs en amont de la parcelle ne transitent que via la partie nord de la parcelle pareillement à l'existant. La surface de projet qui n'intercepte que les eaux provenant de la parcelle de projet accueillera les ouvrages de gestion des eaux pluviales.

En raison de la hauteur de nappe estimée, la réalisation de bassins d'infiltration ne peut être envisagée en tant que solution pour la gestion des eaux pluviales pour le projet.

Le volume retenu est calculé avec la méthode du réservoir linéaire, soit un volume de 1 890 m³. Le principe retenu consiste dans la réalisation de trois bassins de rétention enterrés et de rétention en toiture au droit du Cœur Economique.