



# **MOE\_ Création de la passerelle Gerland-La Saulaie.**

Analyse de l'impact hydraulique

INDICE 0A

Août 2025



BP 864

78058 SAINT QUENTIN YVELINES CEDEX

Tél : 01 30 60 04 05 / Fax : 01 30 60 93 41

#### HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

| Indice | Date       | Modification              | Rédaction | Vérification |
|--------|------------|---------------------------|-----------|--------------|
| 0a     | 25/07/2025 | Création du document      | MAM       | JLA          |
| 0b     | 04/08/2025 | Intégration remarques AIA | MAM       | JLA          |
| 0c     | 07/08/2025 | Intégration remarques AIA | MAM       | JLA          |

## TABLE DES MATIERES

|                                                                               |           |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Préambule.....</b>                                                      | <b>5</b>  |
| <b>2. Objectif .....</b>                                                      | <b>5</b>  |
| <b>3. Contexte hydrologique .....</b>                                         | <b>7</b>  |
| <b>4. Plan de Prévention des Risques d'inondation.....</b>                    | <b>7</b>  |
| <b>5. Crues historiques et crue de reference .....</b>                        | <b>8</b>  |
| <b>6. Modélisation .....</b>                                                  | <b>9</b>  |
| 6.1.1. Hydrogramme de crue .....                                              | 9         |
| 6.1.2. Topographie/bathymétrie.....                                           | 10        |
| 6.1.3. Rugosité .....                                                         | 10        |
| 6.1.4. Conditions aux limites.....                                            | 10        |
| <b>7. Résultats des modélisations hydrauliques .....</b>                      | <b>11</b> |
| 7.1.1. Etat initial – Sans ouvrage .....                                      | 11        |
| 7.1.2. Etat projet.....                                                       | 13        |
| <b>8. Mesures de protection.....</b>                                          | <b>21</b> |
| 8.1. Prise en compte des phénomènes d'affouillement .....                     | 21        |
| 8.2. Protection des appuis par des tapis d'enrochement.....                   | 21        |
| <b>9. Remblai en lit majeur de cours d'eau/principe de compensation .....</b> | <b>22</b> |
| 9.1. Rappel des contraintes techniques et réglementaires .....                | 22        |
| 9.1.1. Cote de référence.....                                                 | 22        |
| 9.1.1. Principe de compensation .....                                         | 23        |
| 9.1.1. Calcul du bilan déblai/remblai en zone inondable.....                  | 24        |
| 9.2. Conformité hydraulique et réglementaire du projet .....                  | 26        |
| <b>1. Méthodologie globale .....</b>                                          | <b>28</b> |
| 1.1. Définition du périmètre de l'étude.....                                  | 28        |
| 1.2. Collecte des données.....                                                | 28        |
| 1.2.1. Données géographiques et topographiques .....                          | 28        |
| 1.2.2. Données hydrologiques et réglementaires .....                          | 28        |
| 1.2.3. Données environnementales et géotechniques.....                        | 28        |
| 1.3. Construction et calage du modèle 2D.....                                 | 28        |
| 1.3.1. Logiciel HEC-RAS .....                                                 | 28        |
| 1.3.2. Création du modèle .....                                               | 28        |
| 1.3.3. Conditions aux limites .....                                           | 28        |
| 1.3.4. Calage du modèle.....                                                  | 28        |
| 1.3.5. Scénarios simulés .....                                                | 28        |

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| 1.4. Analyse des incidences hydrauliques .....                | 29 |
| 1.4.1. Analyse générale.....                                  | 29 |
| 1.4.2. Analyse spécifique des remblais en zone inondable..... | 29 |
| 1.5. Mesures d'atténuation et de compensation .....           | 29 |
| 1.5.1. Phase travaux .....                                    | 29 |
| 1.5.2. Phase permanente .....                                 | 29 |
| 1.6. Rendu de l'étude .....                                   | 29 |
| 1.7. Concertation et validation .....                         | 29 |

## TABLE DES FIGURES

|                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1 : Réseau hydrographique et localisation du projet .....                                                               | 7  |
| Figure 2 : Zonage PPRI.....                                                                                                    | 7  |
| Figure 3 : Hydrogrammes de crue simplifiée .....                                                                               | 9  |
| Figure 4 : MNT (Lidar HD + bathymétrie) .....                                                                                  | 10 |
| Figure 5 : Carte des hauteurs d'eau – Crue exceptionnelle (modélisation sans projet de passerelle) _Iris Conseil .....         | 11 |
| Figure 6 : Enveloppe de la crue millénaire (Q1000) – Sans projet de passerelle _ DREAL RA .....                                | 11 |
| Figure 7 : Carte des vitesses d'écoulement en crue exceptionnelle – Modélisation sans projet de passerelle _Iris Conseil ..... | 12 |
| Figure 8 : Delta d'inondation – Comparaison état projet / état actuel.....                                                     | 14 |
| Figure 9 : Profils en travers des vitesses au pic de crue exceptionnelle en amont immédiat de l'ouvrage.....                   | 14 |
| Figure 10 : Zoom sur les cartes hauteur et vitesse en crue exceptionnelle en état actuel et projet .....                       | 15 |
| Figure 11 : Compensation localisée au droit des piles .....                                                                    | 16 |
| Figure 12 : Delta d'inondation – Comparaison entre l'état projet et l'état actuel (avec dragage à proximité des appuis).....   | 17 |
| Figure 13 : Compensation localisée au droit des piles et sur la partie centrale du lit.....                                    | 18 |
| Figure 14 : Delta d'inondation – Comparaison état projet / état actuel (solution avec dragage).....                            | 19 |
| Figure 15 : Extrait de la carte du projet urbain de la Saulaie.....                                                            | 23 |
| Figure 16 : Extrait de la modélisation 3D du bilan déblai/remblai.....                                                         | 24 |

## 1. Préambule

La présente note s'inscrit dans le cadre d'une étude hydrologique et hydraulique globale, dont la méthodologie complète est présentée en annexe. Cette dernière sera mise en œuvre lors des phases ultérieures du projet, notamment en vue de l'élaboration du dossier « Loi sur l'eau ».

La note propose une première analyse simplifiée, reposant sur une modélisation hydraulique bidimensionnelle (2D) réalisée à l'aide du logiciel HEC-RAS. Cette analyse a pour objectif principal d'évaluer les impacts des aménagements projetés, en particulier ceux liés à la présence de piles et à l'implantation d'un remblai en zone inondable.

## 2. Objectif

La présente note a pour objectif de fournir une première analyse des effets potentiels du projet sur les écoulements en crue du Rhône. Elle se concentre principalement sur les impacts liés à l'implantation de piles dans le lit mineur, susceptibles de modifier les conditions d'écoulement en crue. Ces modifications peuvent entraîner une élévation des niveaux d'eau et, par conséquent, favoriser des débordements en amont de l'aménagement.

Les incidences du projet sur le fond du lit, ainsi que sur les écoulements au voisinage immédiat des piles, sont également abordées dans cette première analyse.

En matière de **mesures d'évitement**, le projet exclut la mise en place de piles massives ou à arêtes vives, qui tendent à augmenter la résistance à l'écoulement, ralentissant ainsi le flux d'eau et générant des zones de turbulence propices à la formation de remous importants.

En complément, des **mesures de réduction** sont prévues, notamment la mise en place de piles optimisées en termes de largeur et d'orientation. Cette disposition vise à limiter la résistance au courant et à favoriser un écoulement plus fluide autour de la structure.

Ces hypothèses sont étayées par une modélisation dynamique en régime transitoire et en deux dimensions des écoulements du Rhône sur le secteur du projet. Celle-ci permet de prendre en compte les débordements potentiels dans le lit majeur et d'identifier précisément les zones susceptibles de présenter des turbulences.

Il convient de préciser que l'objectif de cette modélisation n'est pas de valider ou de contredire les niveaux définis par les cartes du PPRI (Plan de Prévention du Risque Inondation) sur le secteur d'étude, mais bien d'analyser les effets spécifiques du projet par rapport à une situation de référence dite "situation initiale". Cette dernière repose sur des hypothèses hydrauliques et hydromorphologiques locales, établies à partir des données disponibles à ce stade, en particulier celles issues du PPRI.

Il est également important de noter que la portée de la modélisation reste ponctuelle par rapport à celle du PPRI, qui prend en compte l'intégralité du linéaire du cours d'eau. De ce fait, les débordements en lit majeur ne sont pas intégralement intégrés à cette analyse.

Par ailleurs, plusieurs ouvrages de régulation sont présents sur le Rhône, en amont comme en aval du projet. Bien qu'ils puissent influencer les niveaux d'eau en situation actuelle, ces dispositifs ne sont pas pris en compte dans la modélisation réalisée.

Enfin, tout projet situé en zone inondable doit démontrer, dans le cadre du dossier Loi sur l'Eau, sa neutralité hydraulique vis-à-vis des crues. Cela implique l'absence d'impact sur les conditions d'écoulement en période de crue.

Le projet prévoit la réalisation d'ouvrages situés dans le lit du Rhône, incluant le lit mineur ainsi que la zone R1 définie par le PPRI. En conséquence, ces aménagements sont considérés comme des remblais en lit majeur et relèvent de la rubrique 3.2.2.0 de la nomenclature de la Loi sur l'Eau.

**Rubrique 3.2.2.0** : relative aux installations, ouvrages, remblais dans le lit majeur d'un cours d'eau. Le positionnement en régime de déclaration ou autorisation vis-à-vis de cette rubrique dépendra de la surface soustraite à l'expansion des crues du fait de l'existence de l'installation ou ouvrage, y compris la surface occupée par l'installation, l'ouvrage ou le remblai dans le lit majeur.

1° Surface soustraite supérieure ou égale à 10 000 m<sup>2</sup> => Autorisation ;

2° Surface soustraite supérieure ou égale à 400 m<sup>2</sup> et inférieure à 10 000 m<sup>2</sup> => Déclaration

En l'absence de mesures d'évitement ou de réduction suffisantes, la mise en œuvre de **mesures de compensation** devient nécessaire.

Afin de respecter les exigences du SDAGE (disposition 8-03) et du PPRI, la compensation concernera les remblais situés en zones de champ d'expansion des crues (lit mineur et zone R1). Elle devra être réalisée à l'identique, c'est-à-dire cote pour cote et volume pour volume, jusqu'au niveau de la crue exceptionnelle. Il conviendra également de démontrer l'absence d'impact sur la ligne d'eau ainsi que la non-aggravation de l'aléa inondation.

### 3. CONTEXTE HYDROLOGIQUE

Trois stations hydrométriques se trouvent à proximité de la zone d'étude : deux d'entre elles assurent le suivi du débit du Rhône en amont de sa confluence avec la Saône, et une autre assure le suivi de la Saône. Une quatrième station, située à Ternay, à environ 14 kilomètres en aval de la confluence, permet quant à elle le suivi du débit du Rhône en aval.

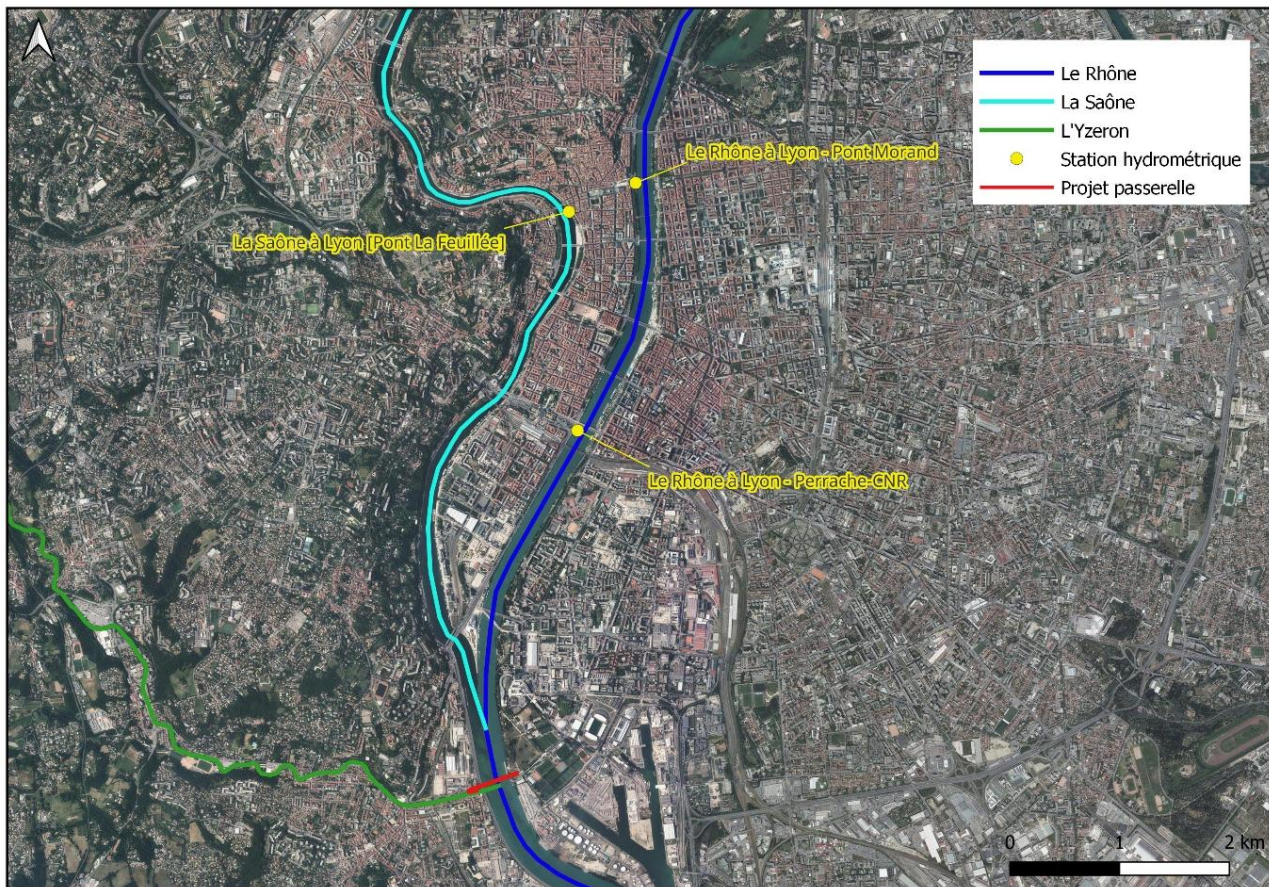


Figure 1: Réseau hydrographique et localisation du projet

## 4. PLAN DE PREVENTION DES RISQUES D'INONDATION

Le PPRI du Grand Lyon a été élaboré pour quatre secteurs distincts. Le site de l'étude est concerné par deux d'entre eux :

- En rive gauche, par le PPRI de Lyon et Villeurbanne, approuvé le 2 mars 2009 ;
- En rive droite, par le PPRI du Rhône aval, approuvé le 5 juin 2008.

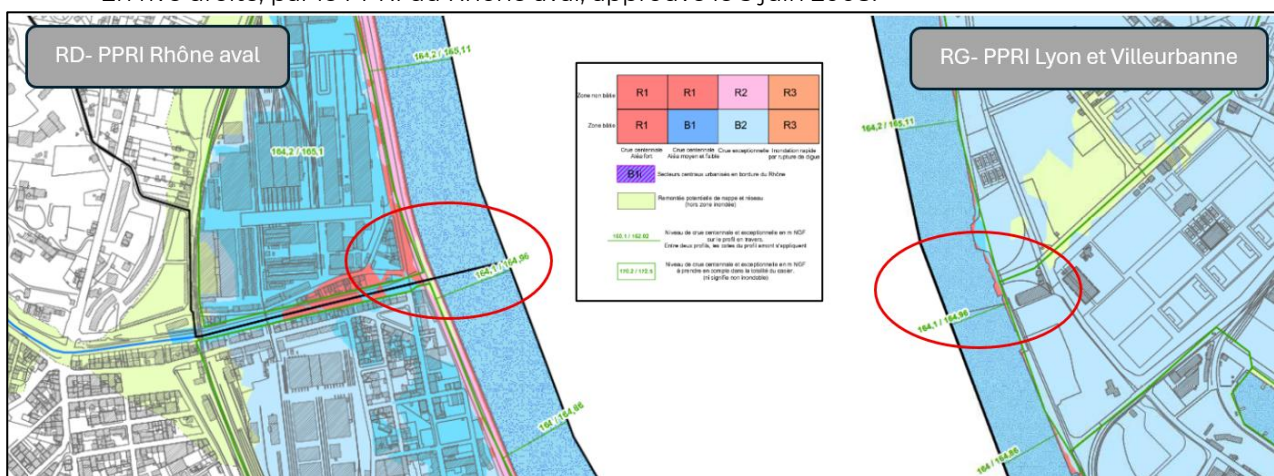


Figure 2: Zongqge PPRI

Le projet est concerné par le zonage R1 en rive droite, à noter que ce classement en zone rouge est la conséquence d'un aléa fort vis-à-vis de la remontée des eaux du Rhône en crue.

## 5. CRUES HISTORIQUES ET CRUE DE REFERENCE

Pour les crues historiques, le PPRI de Lyon aval fournit les débits du Rhône au niveau du pont Morand, tout en indiquant les hauteurs d'eau au pont de la Feuillée. Pour la Saône, le PPRI donne les débits à Couzon, situé à environ 10 km en amont du pont de la Feuillée.

Les valeurs des débits sont résumées dans les tableaux ci-dessous :

### Pour le Rhône au pont Morand :

| Date             | Débit (m³/s) |
|------------------|--------------|
| 18 février 1928  | 4150         |
| 10 novembre 1944 | 4250         |
| 15 janvier 1955  | 3150         |
| 26 février 1957  | 3700         |
| 18 mai 1983      | 2800         |
| 17 février 1990  | 3230         |
| 24 décembre 1991 | 2683         |
| 17 novembre 1992 | 2745         |
| 5 octobre 1993   | 2825         |

### Pour la Saône à Couzon (10 km en amont de pont de la feuillée) :

| Date             | Débit (m³/s) |
|------------------|--------------|
| 23 janvier 1955  | ~3 000       |
| 24 décembre 1981 | 2 580        |
| 26 décembre 1982 | 2 300        |
| 2 juin 1983      | 2 530        |

### Selon le PPRI :

Pour la Saône : La plus forte crue connue est la crue de 1840, significativement supérieure à une crue centennale. La crue dite "exceptionnelle" correspond au débit de 1840, avec des conséquences en zones inondables recalculées dans les conditions actuelles.

Pour le Rhône : Les plus fortes crues connues sont les crues de 1856 et de 1928. Leur débit était voisin du débit centennal. La crue dite "exceptionnelle" correspond à une crue calculée, dont l'occurrence statistique est comparable à la crue "exceptionnelle" retenue sur la Saône, et dont le débit est supérieur aux crues de 1856 et 1928. Toutefois la zone inondable en découlant est nettement plus limitée que lors de ces crues historiques compte tenu des aménagements lourds réalisés depuis. Afin d'être cohérent sur tout le territoire du Grand Lyon l'aléa de référence pour le PPRN du Rhône et de la Saône est la crue exceptionnelle (calcul CNR 2003). Le PPRN tient également compte de l'aléa centennal.

Le débit de référence estimé pour cette crue dite « exceptionnelle » est de :

- 3 660 m³/s pour la Saône à Couzon (source : PPRI Saône / TRI Lyon - DREAL RA, 2019)
- 5 300 m³/s au pont de Morand (source : TRI Lyon - DREAL RA, 2019).

## 6. MODELISATION

Cette modélisation est réalisée sous HEC-RAS 2D, version 6.4.1, en régime transitoire.

Le modèle permet de simuler l'évolution des hauteurs et des vitesses d'eau dans le temps et intègre le calcul des pertes de charge liées aux singularités hydrauliques, notamment les ponts. Cela permet une représentation plus réaliste des écoulements en crue.

### 6.1.1. Hydrogramme de crue

Le projet étant situé en aval de la confluence Rhône-Saône, le débit de référence au droit du projet ne correspond pas à la simple somme des débits de référence estimés sur chaque affluent en amont. En effet, les débits sur ces deux stations correspondent à des bassins versants distincts et ne tiennent pas compte des interactions hydrauliques, des décalages temporels des crues ni des éventuels apports ou pertes entre la confluence et le site étudié.

Pour cette raison, les débits caractéristiques utilisés dans cette modélisation sont estimés à partir des mesures de la station du Rhône à Ternay, en aval, selon une relation simplifiée de transfert du bassin versant.

| Site                | Le Rhône à Ternay           | Projet (Transfert de BV)    |
|---------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Surface BV          | 50 560 km <sup>2</sup>      | 50 230 km <sup>2</sup>      |
| Crue                | Débits en m <sup>3</sup> /s | Débits en m <sup>3</sup> /s |
| Q2                  | 3150                        | 3135                        |
| Q5                  | 3790                        | 3770                        |
| Q10                 | 4220                        | 4200                        |
| Q20                 | 4630                        | 4600                        |
| Q50                 | 5160                        | 5140                        |
| Q100                | 5900                        | 5870                        |
| Crue exceptionnelle | 7300                        | 7260                        |
| janvier 2018        | 4400                        | 4380                        |
| crue de 2001        | 4780                        | 4760                        |
| 15/12/2023          | 4040                        | 4020                        |

Un hydrogramme de crue simplifié, avec une durée caractéristique théorique d'environ 10 heures, est pris en compte. Cette durée relativement courte a une influence significative sur l'inondabilité du secteur : elle traduit une montée rapide des débits, générant des hauteurs d'eau élevées en lit majeur sur une période brève. Ce choix correspond à une hypothèse pessimiste vis-à-vis de l'estimation des hauteurs d'eau maximales, notamment en zones urbanisées ou sensibles, car il concentre un volume important d'écoulement sur une courte durée.

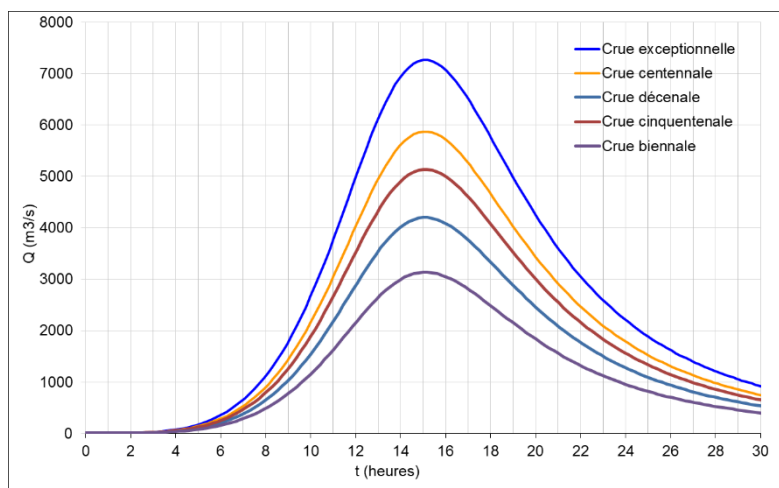


Figure 3 : Hydrogrammes de crue simplifiée

Une crue plus étalée dans le temps entraînerait généralement une extension plus large des zones inondées, mais avec des hauteurs d'eau moindres. Ainsi, cette hypothèse permet de sécuriser l'analyse hydraulique en retenant un scénario défavorable pour la gestion du risque.

L'ensemble des valeurs obtenues, qu'il s'agisse des débits ou des hydrogrammes, constitue des hypothèses de travail, qui seront affinées dans le cadre des études ultérieures.

### 6.1.2. Topographie/bathymétrie

Le terrain de modélisation hydraulique a été construit à partir du levé Lidar Haute Définition fourni par l'IGN.

Le lit mineur a été affiné à l'aide d'un levé bathymétrique réalisé au droit du projet, couvrant l'ensemble de l'emprise directe, soit 200 m en amont et 70 m en aval du site. Afin d'intégrer les effets hydrauliques en amont et en aval, cette bathymétrie a été interpolée jusqu'à 730 m supplémentaires en amont et 800 m en aval, portant le linéaire total modélisé à environ 1,8 km.

L'emprise totale du lit mineur modélisé s'élève à 48 hectares, tandis que la zone 2D s'étend à l'ensemble de la zone inondable en crue de référence (selon le PPRI), soit une emprise en lit majeur de 268 hectares.

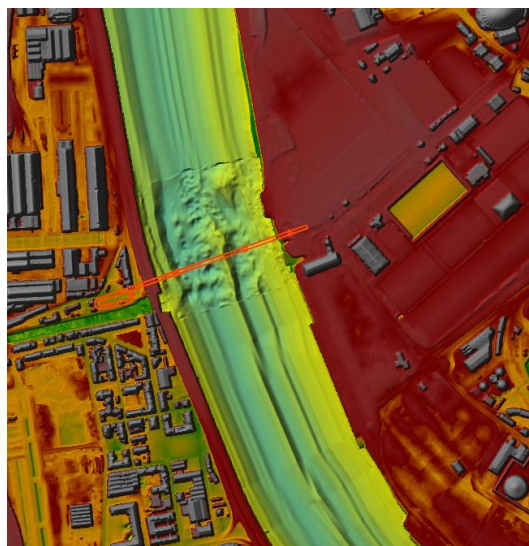


Figure 4 : MNT (Lidar HD + bathymétrie)

Un maillage régulier de 10 m × 10 m a été mis en place pour l'ensemble du modèle. Ce maillage a été raffiné à 3 m × 3 m au niveau des berges et dans la zone du projet, afin de mieux représenter la topographie et les écoulements locaux.

Il convient de noter que les ouvrages latéraux, tels que la digue et le Pont A7, ne sont pas représentés à ce stade. Leur intégration est prévue dans le cadre des modélisations qui seront menées en vue de l'établissement des dossiers réglementaires liés à la loi sur l'eau, lors des phases ultérieures.

### 6.1.3. Rugosité

Des coefficients de rugosité différenciés ont été appliqués afin de prendre en compte les spécificités locales, telles que les berges, les zones bâties, le lit mineur, les voiries, et autres contraintes physiques influençant l'écoulement.

### 6.1.4. Conditions aux limites

En ce qui concerne les conditions aux limites du modèle, l'hydrogramme de la crue modélisée est utilisé comme condition amont, tandis que la pente de la ligne d'eau en aval, approximativement égale à celle du lit du fleuve, est retenue comme condition aval.

## 7. RESULTATS DES MODELISATIONS HYDRAULIQUES

### 7.1.1. Etat initial – Sans ouvrage

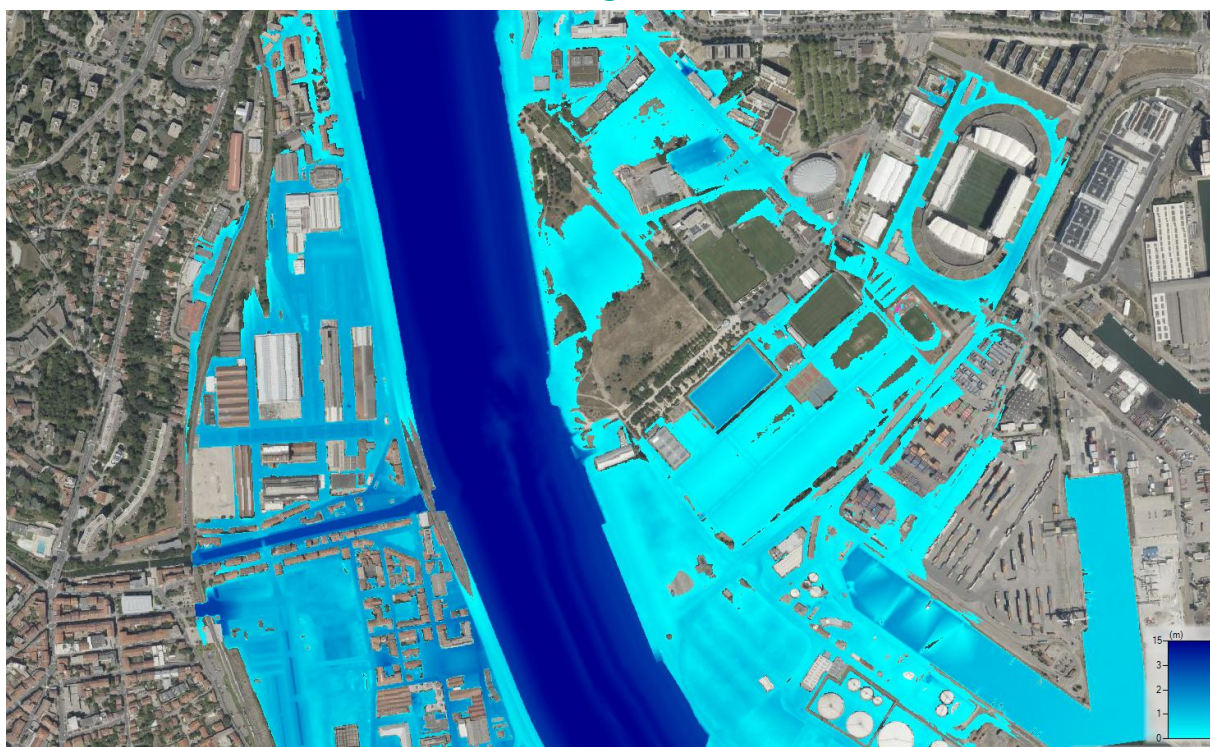


Figure 5 : Carte des hauteurs d'eau – Crue exceptionnelle (modélisation sans projet de passerelle) \_Iris Conseil



Figure 6 : Enveloppe de la crue millénaire (Q1000) – Sans projet de passerelle \_ DREAL RA

La modélisation de la crue exceptionnelle met en évidence une zone inondable globalement similaire à celle donnée par la modélisation de la crue millénale réalisée par la DREAL Auvergne-Rhône-Alpes.

En aval immédiat de la confluence avec l'Yzeron, le niveau de la crue exceptionnelle (NPHE) est estimé à 164,96 m NGF selon le PPRI. Le projet étant situé juste en amont de cette confluence, la cote de référence applicable est celle du profil amont, soit 165,11 m NGF, conformément aux prescriptions du PPRI qui stipule que, entre deux profils en travers, la cote à retenir est celle du profil situé en amont.

Par ailleurs, par notre modélisation, nous obtenons un niveau de crue exceptionnelle de 165,30 m NGF au droit de la confluence Rhône/Yzeron. À ce stade du projet, cette cote est retenue comme référence pour le niveau NPHE au droit du projet.

Les écarts observés sont acceptables ; ils s'expliquent notamment par les incertitudes liées à la bathymétrie, à la durée de la crue, ainsi qu'à la présence des ouvrages de régulation existants sur le Rhône, ce qui permet de valider le modèle utilisé pour la suite de la présente étude afin d'évaluer l'impact hydraulique du projet. Il convient de rappeler que la finalité de la modélisation n'est pas d'ajuster les résultats aux études antérieures, mais de comparer un état projeté à un état initial représentant la situation actuelle.

La modélisation hydraulique met en évidence des vitesses d'écoulement globalement cohérentes, comprises entre 2 et 2,6 m/s. Toutefois, en présence ponctuelle d'atterrissements au fond du lit, des vitesses plus élevées, de l'ordre de 3,5 m/s, peuvent être localement observées.

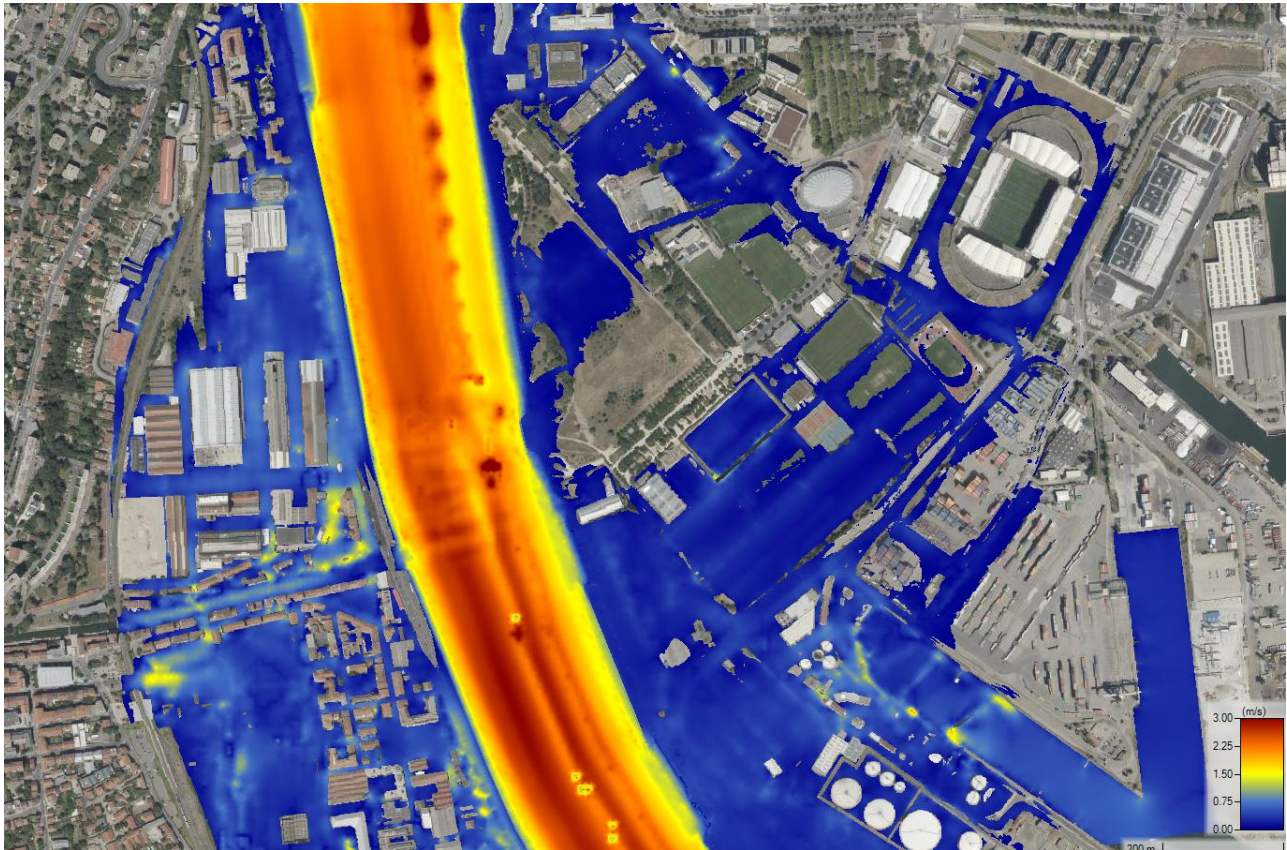
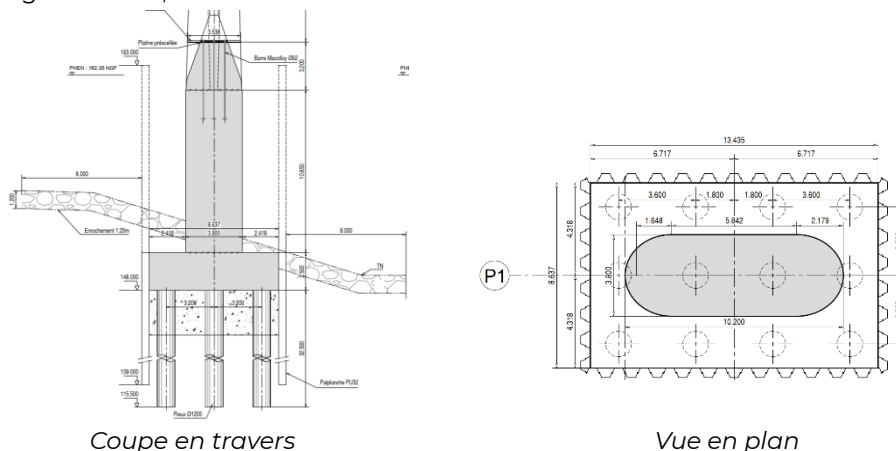


Figure 7 : Carte des vitesses d'écoulement en crue exceptionnelle – Modélisation sans projet de passerelle \_Iris Conseil

## 7.1.2. Etat projet

### 7.1.2.1. Géométrie des piles modélisées

La géométrie des piles modélisées est représentée sur la figure ci-dessous, avec un fût central d'une largeur de 3,8 m et d'une longueur de 10,2 m :



Coupe en travers

Vue en plan

La largeur de 3,80 m des piles et leur profil hydrodynamique contribuent à minimiser les perturbations de l'écoulement et à réduire les pertes de charge singulières. Cette conception permet une bonne intégration hydraulique dans le lit du Rhône, limitant ainsi l'impact de l'ouvrage sur les zones inondables situées en lit majeur.

### 7.1.2.2. Incidences de l'ouvrage

#### 7.1.2.2.1. Crue exceptionnelle

En situation de crue exceptionnelle, la modélisation de l'état projet met en évidence une élévation de la ligne d'eau d'environ 1 cm dans le lit mineur, sur une distance d'environ 370 m en amont de l'aménagement. Cette surélévation décroît progressivement pour devenir négligeable à environ 600 m en amont. En aval, aucun impact notable n'est à signaler, si ce n'est un léger abaissement de la ligne d'eau, inférieur à 3 mm, observé sur une vingtaine de mètres.

En lit majeur, l'emprise inondée demeure globalement comparable à celle observée à l'état actuel. Toutefois, une légère hausse des hauteurs d'eau est constatée, avec des variations selon les secteurs : environ 1 cm en rive droite, et entre 1 et 3 cm en rive gauche, avec un maximum localisé atteignant 4 cm.

Cette augmentation des hauteurs d'eau observée, notamment plus marquée en rive gauche, s'explique par plusieurs facteurs :

- Un débordement préférentiel sur cette rive, lié à la topographie en dépression ;
- La forme brève de l'hydrogramme théorique utilisé, qui accentue les hausses localisées en période de pointe ;
- Une sensibilité accrue du modèle au débordement, liée à une représentation partielle des berges. En effet, le modèle 2D utilisé ne simule pas les berges comme des seuils, mais comme des zones de transition directe, sans gestion spécifique du débordement. Cela tend à accentuer artificiellement les hauteurs d'eau dans certaines zones sensibles, qui devraient idéalement être traitées par des lois de seuil intégrant les caractéristiques physiques réelles des berges.

À ce titre, les modélisations à réaliser lors des phases ultérieures prendront en compte ce facteur en représentant de manière plus précise les caractéristiques géométriques et physiques réelles des berges, notamment leur structure latérale. Cette approche permettra une meilleure gestion des interactions eau/berge et une simulation plus fidèle des phénomènes de débordement.

Cette hypothèse, volontairement conservatrice, indique toutefois un impact hydraulique modéré à négligeable, particulièrement si l'on considère une crue réelle du Rhône, dont l'hydrogramme naturel est généralement plus étalé dans le temps, limitant les hausses ponctuelles observées dans ce type de modélisation.

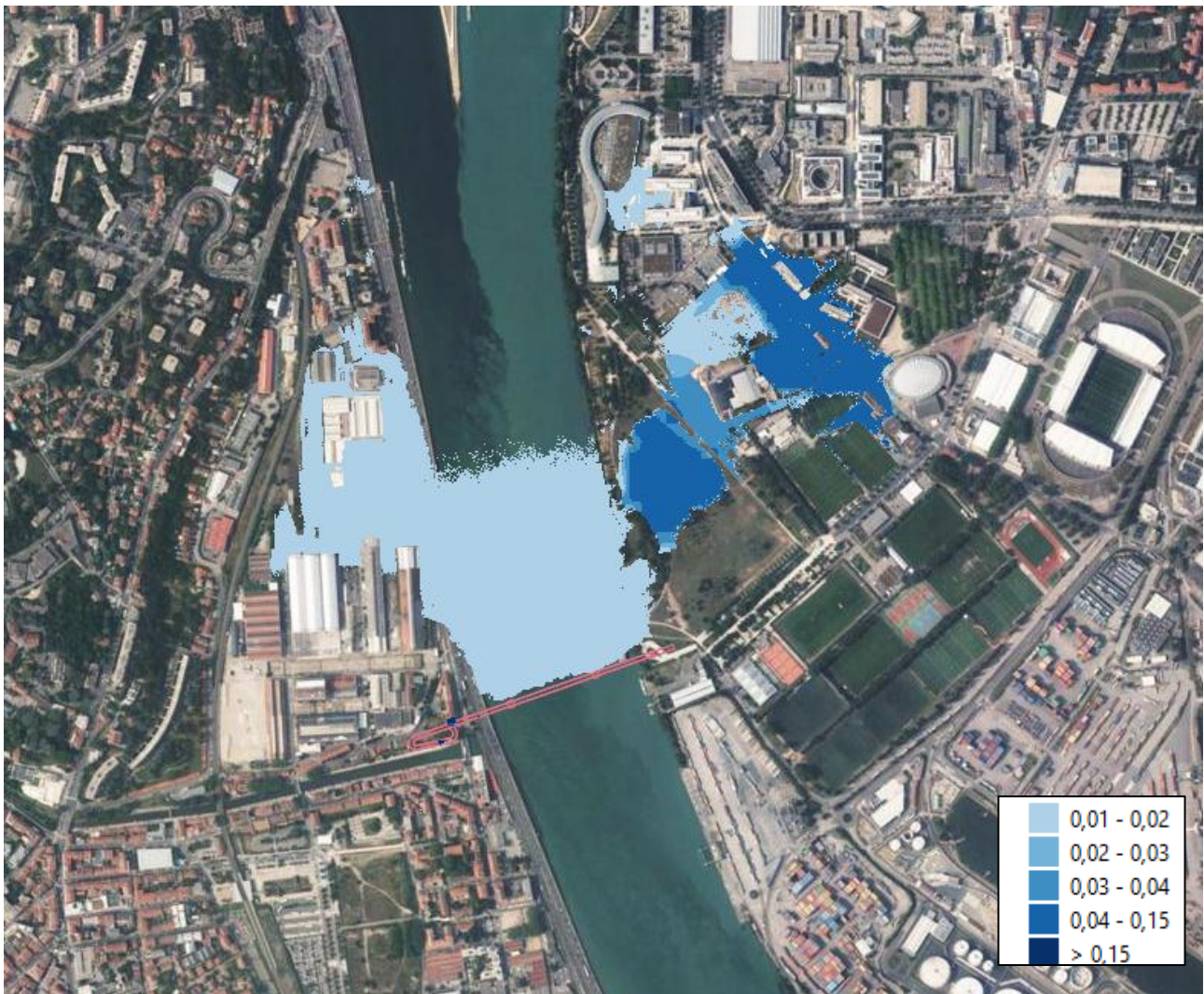


Figure 8 : Delta d'inondation – Comparaison état projet / état actuel

En termes de vitesse d'écoulement, la modélisation montre, en situation de crue exceptionnelle, une légère diminution des vitesses au droit des piles, tandis qu'une augmentation modérée est observée entre celles-ci, au centre du lit. Cette hausse est estimée entre 0,2 et 0,45 m/s. En écoulement normal (crues courantes), les variations de vitesse restent faibles, localisées et sans conséquence sur la navigabilité. Ainsi, l'aménagement ne génère aucun impact pour la navigation, que ce soit en période de crue ou dans les conditions usuelles de trafic fluvial.

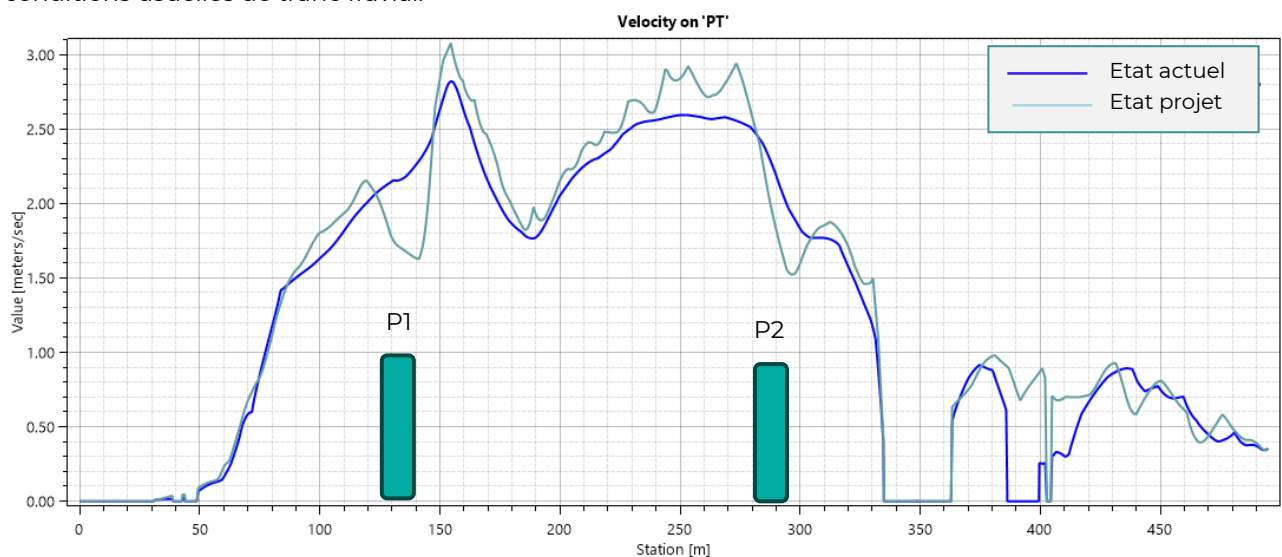


Figure 9 : Profils en travers des vitesses au pic de crue exceptionnelle en amont immédiat de l'ouvrage

#### 7.1.2.2.2. Crues d'occurrences inférieures

Pour des événements de crue inférieurs à la crue exceptionnelle, la modélisation menée montre que l'écoulement demeure confiné au lit mineur, sans débordement observé dans le secteur étudié.

**Il convient de souligner que la rive droite est concernée par l'enveloppe inondable des crues centennale et cinquennale, comme c'est également le cas pour la crue exceptionnelle. Cette inondation est due à la remontée des eaux du Rhône dans le lit de l'Yzeron, via le pont de l'A7, lequel n'est pas représenté dans la présente modélisation.**

L'impact global sur la ligne d'eau est le suivant à l'amont immédiat de l'ouvrage projeté :

| Période de retour | Débit [m3/s] | Etat référence [m NGF] | Etat projet [m NGF] | Différence [m NGF] | Impact |
|-------------------|--------------|------------------------|---------------------|--------------------|--------|
| Q100              | 5870         | 164.116                | 164.120             | 0.004              | < 1 cm |
| Q50               | 5140         | 163.239                | 163.241             | 0.002              | < 1 cm |
| Q10               | 4200         | 162.029                | 162.030             | 0.001              | < 1 cm |

#### 7.1.2.3. Courantologie

En crue exceptionnelle comme en crues courantes, l'analyse de la courantologie met en évidence un écoulement globalement homogène autour de la structure, avec des trajectoires peu déviées. En aval immédiat des piles, un léger ralentissement local est observé, signe d'un remous modéré mais contenu. Les flèches de vitesse confirment l'absence de recirculations marquées ou de perturbations majeures du flux. La forme optimisée des piles permet ainsi de minimiser considérablement leur incidence sur l'écoulement. L'impact hydraulique global reste très limité, même en période de crue.

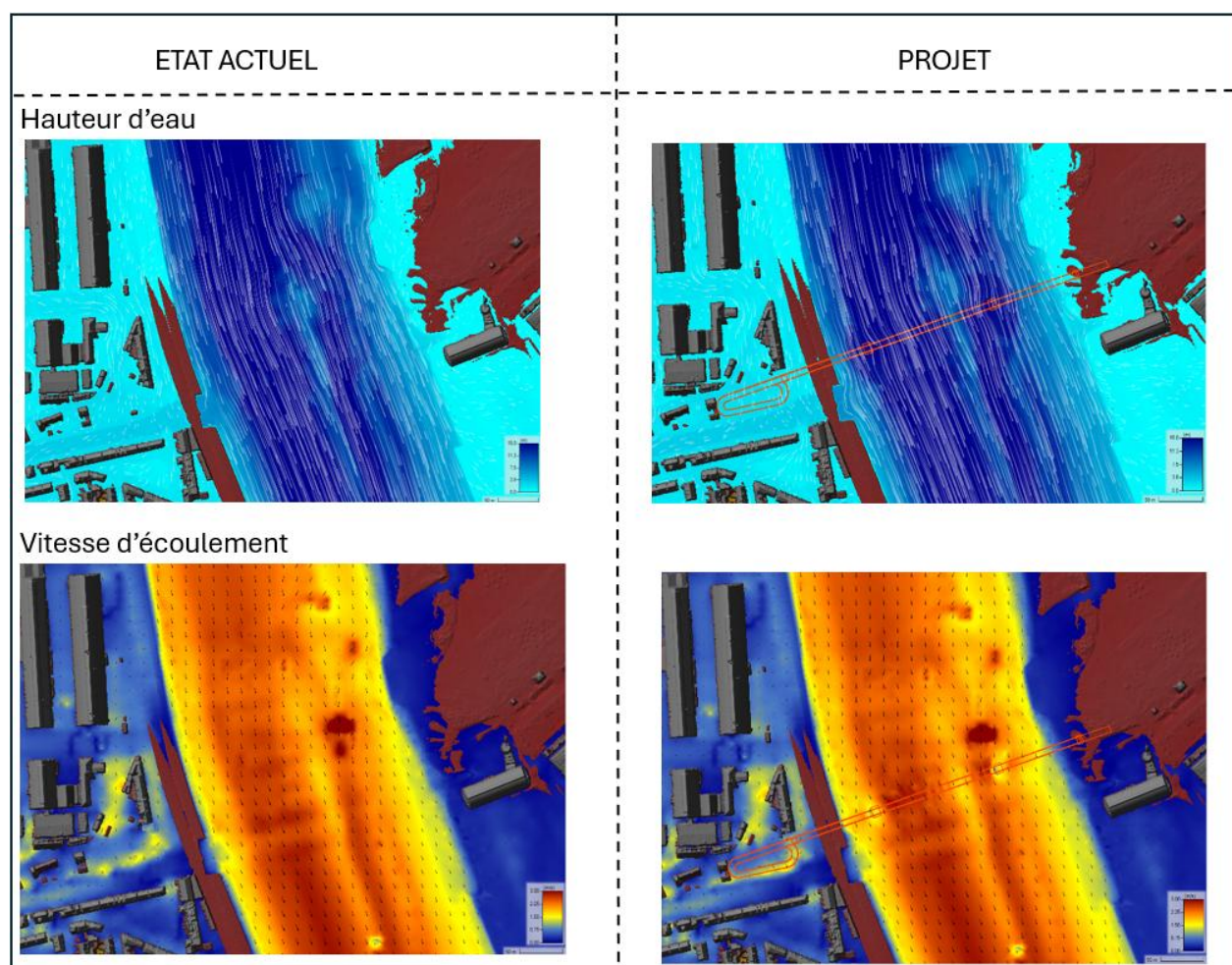


Figure 10 : Zoom sur les cartes hauteur et vitesse en crue exceptionnelle en état actuel et projet

#### 7.1.2.4. Évaluation de l'impact hydraulique d'une mesure compensatoire potentielle par dragages localisés

Cette analyse de sensibilité a pour objectif d'évaluer l'impact de dragages localisés sur les résultats hydrauliques précédemment obtenus, afin d'en apprécier la pertinence en tant que mesure compensatoire potentielle.

##### 7.1.2.4.1. Sensibilité au dragage localisé autour des piles

Cette solution vise à compenser la perte de charge singulière générée autour des piles, contribuant ainsi à l'abaissement local de la ligne d'eau en crue. Le principe consiste à retravailler le profil en travers dans la zone immédiate des appuis, en arasant légèrement les talus en rives gauche et droite au droit des piles.

Cette intervention permet d'augmenter localement la section hydraulique disponible, de réduire les effets de resserrement de l'écoulement et de limiter les turbulences générées en aval des piles. Elle améliore ainsi l'intégration hydraulique de l'ouvrage dans le lit mineur du Rhône.

Le volume total de matériaux à extraire pour ce dragage ciblé est estimé à environ 8 500 m<sup>3</sup>.

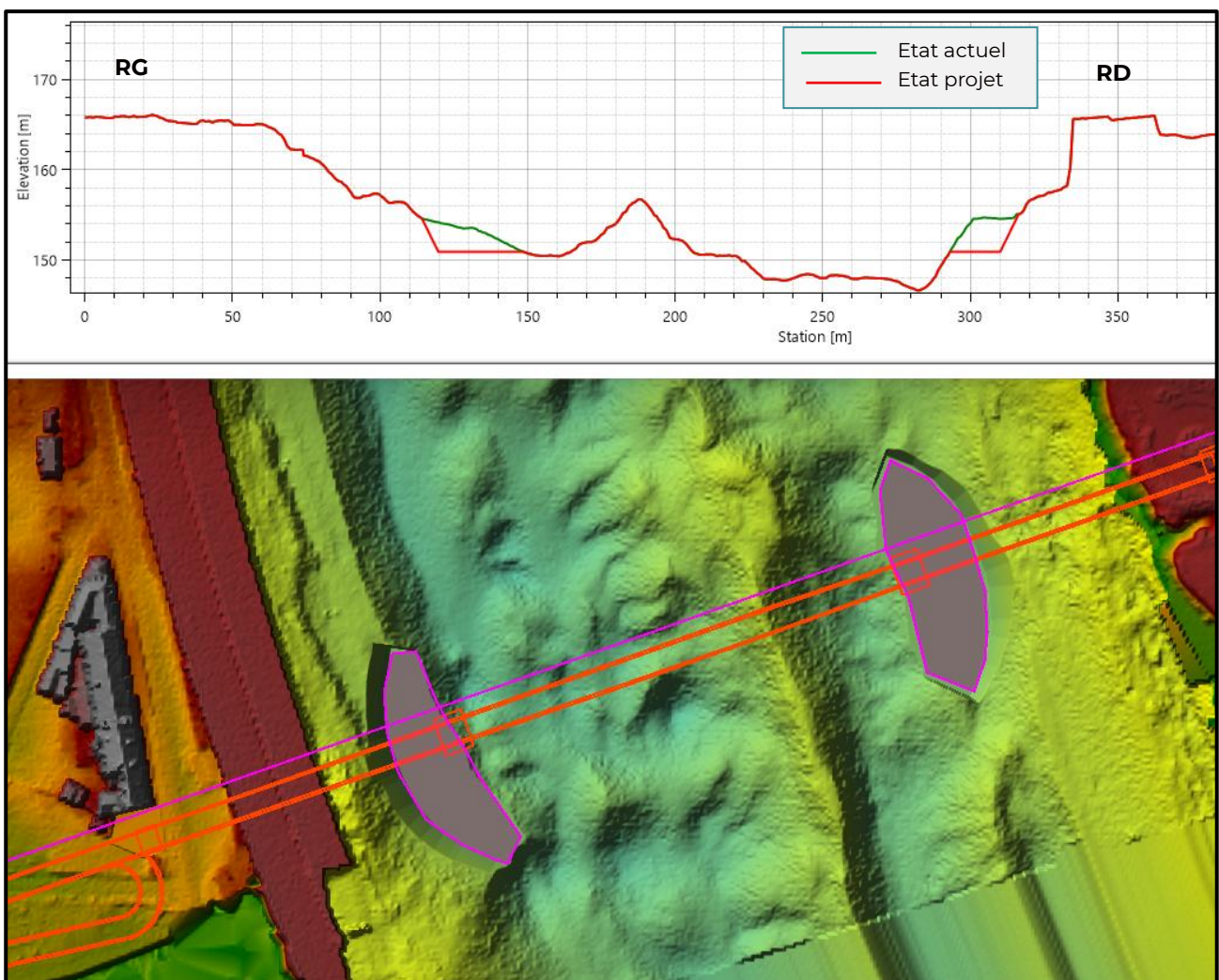


Figure 11 : Compensation localisée au droit des piles

La modélisation de cette solution, comparée à l'état actuel, met en évidence une élévation de la ligne d'eau d'environ 1 cm dans le lit mineur, sur une longueur d'environ 180 mètres en amont de l'aménagement. Cette surélévation s'atténue progressivement pour devenir négligeable à environ 400 mètres en amont.

En parallèle, une baisse des niveaux d'eau de l'ordre de 5 mm est observée en amont de l'ouvrage, tant dans le lit mineur que dans le lit majeur, par rapport à la solution de base (sans dragage localisé au droit des piles).



Figure 12 : Delta d'inondation – Comparaison entre l'état projet et l'état actuel (avec dragage à proximité des appuis)

#### 7.1.2.4.2. Sensibilité au dragage supplémentaire de la partie centrale

Cette variante reprend la solution décrite précédemment, à savoir le dragage à proximité des piles, en y ajoutant un dragage ciblé destiné à supprimer une butte identifiée en amont de l'ouvrage, mise en évidence par les données bathymétriques.

L'objectif de cette opération est de réduire davantage le niveau en crue, en compensant plus efficacement les pertes de charge singulières observées à proximité des piles.

La zone concernée par ce dragage présente un volume supplémentaire d'environ 8 760 m<sup>3</sup>.

Cette opération pourrait être intégrée au programme global d'entretien et de dragage mené par le CNR sur le Rhône, permettant ainsi de mutualiser les interventions, de réduire les coûts logistiques et d'optimiser la gestion sédimentaire dans le secteur. En s'inscrivant dans une démarche d'entretien déjà planifiée, ce dragage complémentaire limiterait l'impact environnemental et opérationnel, tout en répondant aux objectifs hydrauliques du projet.

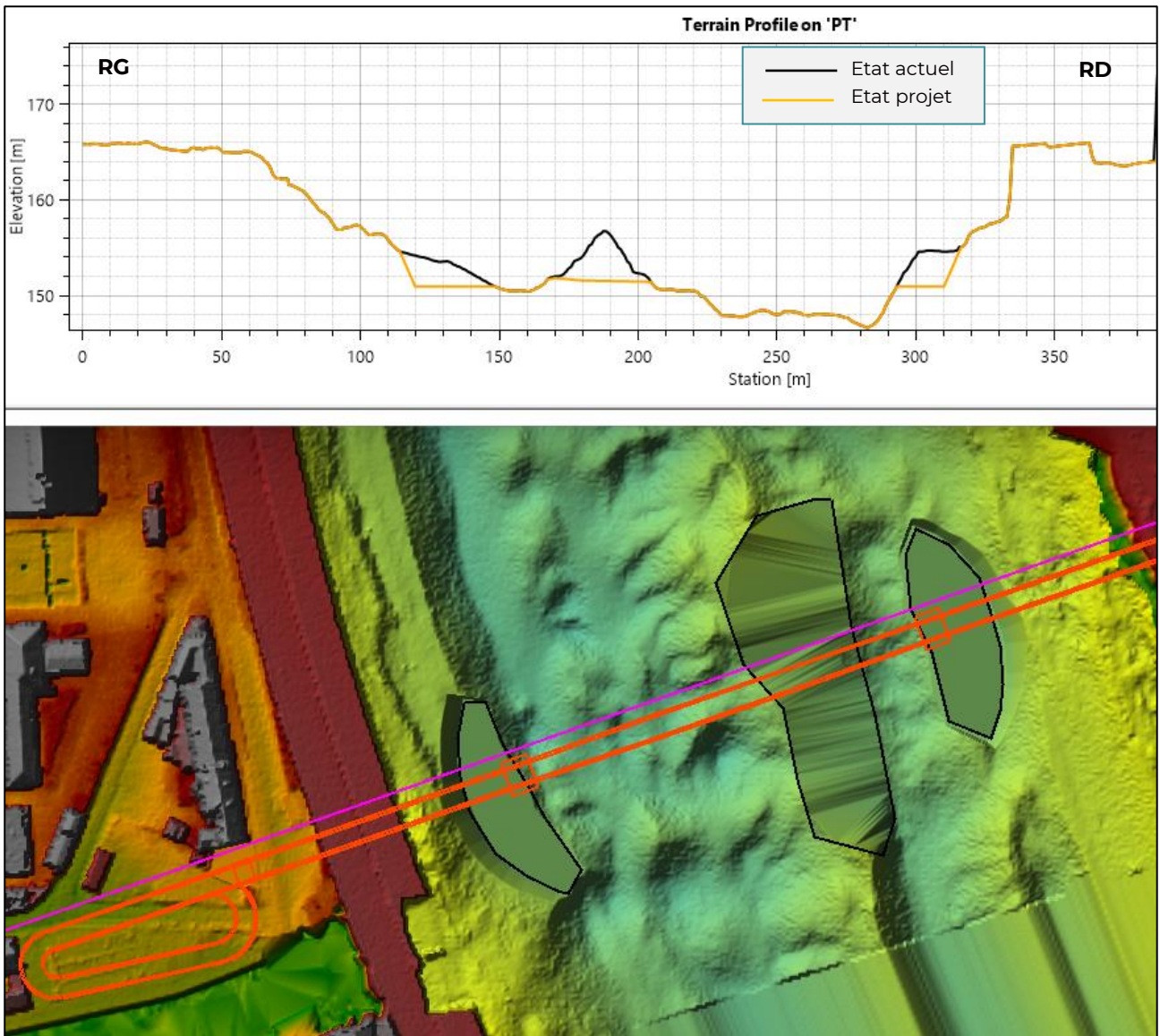


Figure 13 : Compensation localisée au droit des piles et sur la partie centrale du lit

À l'exception des zones de dragage localisé au droit de l'ouvrage, les écarts de hauteurs d'eau entre l'état actuel et la solution projetée sont quasi nuls.

Sur l'ensemble de l'emprise modélisée, ces variations restent inférieures à un centimètre, témoignant d'une stabilité hydraulique quasiment parfaite. Cette absence quasi totale de différence confirme l'efficacité des mesures de compensation mises en œuvre, notamment le dragage ciblé et l'optimisation du profil en travers, qui permettent de neutraliser pratiquement tout impact sur les niveaux d'eau en période de crue.



Figure 14 : Delta d'inondation – Comparaison état projet / état actuel (solution avec dragage)

En termes de vitesses, celles-ci sont abaissées au droit de la butte existante, passant de 3,5 m/s en crue exceptionnelle à environ 2,3 m/s en état projeté. Au droit des piles, l'incidence est quasi nulle par rapport à la solution précédente.

Ainsi, ces études de sensibilité mettent en évidence que les gains observés sur l'évolution des lignes d'eau ne justifient pas l'extraction de volumes de matériaux aussi importants. À ce stade des études, une solution sans dragage apparaît acceptable au regard de l'analyse des services instructeurs.

#### 7.1.2.5. Conclusion \_ état projet

La solution proposée entraîne un impact quasi nul sur les écoulements du Rhône, tant en crues courantes que lors des crues importantes de l'ordre de la crue centennale et exceptionnelle. Les variations de hauteur d'eau et de vitesse dans ces situations restent faibles, localisées, et compatibles avec le bon fonctionnement hydraulique du site.

Les remous générés par la mise en place du nouvel ouvrage de franchissement sont estimés à un maximum de 4 mm lors d'une crue centennale, soit moins de 1 cm, une valeur inférieure à la précision du modèle hydraulique ( $\pm 1$  cm). En crue exceptionnelle, ce remous est estimé à environ 10 mm, ce qui demeure dans la marge d'incertitude du modèle.

Une optimisation supplémentaire par dragage localisé (notamment au niveau de la butte centrale et des zones proches des piles) pourrait compenser entièrement cet impact. Cependant, le gain hydraulique obtenu par l'extraction de volumes importants (environ 17 000 m<sup>3</sup>) apparaît disproportionné au regard du bénéfice attendu, limité à une réduction d'environ 1 cm du niveau d'eau en crue exceptionnelle.

En situation de crue exceptionnelle, les surélévations observées en lit majeur, notamment sur la rive gauche, traduisent un débordement préférentiel de ce côté. Or, en réalité, les débordements initiaux s'opèrent en rive droite si l'on intègre le pont de l'A7, situé au niveau du confluent avec l'Yzeron. Cette situation est accentuée par la courte durée de l'hydrogramme théorique, favorisant des hausses ponctuelles de la hauteur d'eau en lit majeur.

Ainsi, en prenant en compte un hydrogramme plus réaliste, typique d'une crue du Rhône (plus étalée dans le temps), et en intégrant l'effet des ouvrages latéraux existants (notamment le pont de l'A7), l'impact en lit majeur demeure quasi nul, même sans dragage.

Enfin, s'agissant des vitesses d'écoulement, les simulations montrent un impact hydraulique négligeable à l'échelle globale. Les variations sont très localisées, avec une légère diminution au droit des piles (effet d'écran) et une faible accélération entre celles-ci, sans modification significative des vitesses maximales. Ces écarts, limités à l'environnement immédiat de l'ouvrage, n'altèrent pas le fonctionnement hydraulique du site, même en crue, et ne présentent aucun impact défavorable sur la navigation.

## 8. MESURES DE PROTECTION

Ces estimations sont fournies à titre informatif et devront être reprises en phases ultérieures du projet ou affinées à partir de données géotechniques et hydrauliques précises propres au site.

### 8.1. Prise en compte des phénomènes d'affouillement

L'affouillement total autour d'une pile lors d'une crue résulte de la combinaison de plusieurs phénomènes :

- l'**affouillement local**,
- l'affouillement général (ou naturel),
- l'affouillement dû à la contraction du lit du cours d'eau.

Parmi ces composantes, c'est l'affouillement local qui représente généralement le facteur le plus critique autour des piles.

Selon le guide de CEREMA (2019), la formule ci-dessous permet d'évaluer la profondeur d'affouillement local engendrée par les turbulences créées ponctuellement au droit des obstacles à l'écoulement qui varie en fonction de la nature des appuis (piles ou culées).

L'équation suivante est appliquée à l'aide de HEC-RAS pour évaluer l'effet sur la profondeur d'affouillement locale autour des culées :

$$y_s = 2 \times K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \times a^{0,65} \times y_1^{0,35} \times Fr_1^{0,43}$$

Avec :  $y_1$  = hauteur d'eau en amont de la pile (14 m) ;

- $K_1$  = facteur de correction de la forme de la pile (1.1) ;
- $K_2$  = facteur de correction pour l'angle d'attaque de l'écoulement (1, Angle d'attaque de 0° (écoulement frontal) ;
- $K_3$  = facteur de correction du fond du lit (1.15, petite dunes) ;
- $K_4$  = facteur de correction d'armurage (ou pavage) du lit en fonction de la taille des grains D50 et D95 (1, lit de sable uniforme sans rugosité particulière) ;
- $a$  = largeur de l'appui au niveau du fond de lit (fut de pile ou fondations si apparentes, 6.5m) ;
- $Fr_1$  = nombre de Froude directement en amont de la pile (0.28).

Un calcul simplifié estime l'affouillement local à environ 10 m en cas de crue exceptionnelle. Toutefois, cette valeur est surestimée, car le fût central repose sur une semelle de faible hauteur (environ 3,5 m), elle-même supportée par des pieux de 1,2 m de diamètre, ancrés de manière suffisante dans le lit du cours d'eau.

### 8.2. Protection des appuis par des tapis d'enrochement

Les tapis d'enrochement constituent des dispositifs couramment utilisés pour protéger contre les érosions locales, notamment les affouillements provoqués par les piles et les culées des ouvrages dans les lits affouillables non cohésifs. Leur popularité s'explique par leur faible coût et leur simplicité de mise en œuvre, ainsi que par leur efficacité démontrée sur le terrain.

Le dimensionnement du poids des enrochements à installer est déterminé en fonction de la vitesse critique de début de charriage,  $V_c$ , selon la formule d'Izbash :

$$V_c = 1.2 \times \sqrt{2g(s-1)D}$$

Dans laquelle  $V_c = 2 V_{max}$ .

- $V_c$  = vitesse critique (m/s)
- $g$  = gravité (9.81 m/s<sup>2</sup>)
- $s$  = densité relative de l'enrochement ( $\approx 2.65$  pour la roche)
- $D$  = diamètre caractéristique du bloc (m)

Si l'on considère une vitesse maximale d'environ 2.6 m/s autour de la pile, ces valeurs conduisent à préconiser une blocométrie avec un **diamètre moyen d'environ 60 cm**. Pour des blocs sphériques, le volume unitaire serait alors d'environ 0,11 m<sup>3</sup>, ce qui correspond à une masse d'environ **300 kg**.

Le tapis d'enrochement retenu présentera une épaisseur d'environ deux fois le diamètre moyen des blocs. Cette préconisation s'appuie sur le retour d'expérience issu de projets similaires en milieu fluvial.

Cette épaisseur garantit une stabilité optimale de la carapace, favorise un bon emboîtement des blocs et réduit les risques de désordres liés aux vitesses et turbulences localisées, notamment à proximité des piles.

## 9. REMBLAI EN LIT MAJEUR DE COURS D'EAU/PRINCIPE DE COMPENSATION

Le projet prévoit l'implantation d'ouvrage en lit majeur, dans la zone R1 du PPRI (rive droite), il s'agit de la culée, du massif d'accroche des câbles, des mâts portant la structure et d'une rampe d'accès à la passerelle.

Sur la rive gauche, aucun remblai supplémentaire n'est prévu en dessous du niveau NPHE (165,11), et le site d'implantation de la culée se situe en zone B2 du PPRI. À noter que les ouvrages implantés sur cette rive (la culée, le massif d'accroche des câbles et la rampe) se trouvent en dehors de l'enveloppe de la crue millénaire, et presque également hors de celle de la crue exceptionnelle modélisée dans le cadre de cette étude.

Par conséquent, la compensation présentée ci-après concernera uniquement les remblais situés sur la rive droite et dans le lit mineur du Rhône.

### 9.1. Rappel des contraintes techniques et réglementaires

Une attention particulière est portée à la compatibilité du projet avec les dispositions du SDAGE ainsi qu'à sa conformité avec le PPRI.

Le dossier réglementaire relatif à la Loi sur l'eau concerne principalement la rubrique 3.2.2.0 et prend en compte la surface totale des remblais situés dans l'enveloppe de la crue exceptionnelle. Le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) impose des contraintes spécifiques pour les remblais, notamment dans les champs d'expansion des crues, c'est-à-dire le lit mineur et la zone R1. Dans ces secteurs, il est impératif de ne pas impacter la ligne d'eau ni aggraver l'aléa inondation. La compensation doit être réalisée « cote pour cote, volume pour volume » jusqu'au niveau de la crue exceptionnelle. En dehors des champs d'expansion, notamment en zones B1 et B2, la transparence hydraulique est requise. Il faut également garantir l'absence d'impact sur la ligne d'eau et veiller à ce que l'aléa ne soit pas aggravé jusqu'à la crue exceptionnelle. Bien que la compensation des volumes ne soit pas toujours obligatoire dans ces zones, elle constitue un moyen recommandé pour atteindre ou approcher ces objectifs.

Le Plan de Prévention des Risques d'Inondation (PPRI) impose quant à lui une compensation stricte, volume pour volume et cote pour cote, tout en veillant au maintien de la ligne d'eau correspondant à la crue centennale du Rhône.

Enfin, d'autres contraintes techniques concernent les dimensions de l'ouvrage. Les écarts entre différents éléments horizontaux ou verticaux susceptibles d'être immergés doivent limiter le risque d'embâcles. Par ailleurs, l'intrados de l'ouvrage doit être situé au-dessus de la cote de la crue de référence afin de garantir la sécurité hydraulique.

#### 9.1.1. Cote de référence

Les cotes de référence du PPRI sont établies à partir de profils en travers régulièrement répartis le long des cours d'eau. Conformément au règlement en vigueur, entre deux profils en travers, la cote à retenir est celle du profil amont. Dans le secteur étudié, cette cote est de 165,11 m NGF et constitue la référence retenue pour la présente analyse.

Les volumes soustraits à l'inondation sont calculés jusqu'à la cote la plus basse du terrain naturel en rive droite, soit 162,2 m NGF. Il convient de préciser que cette cote demeure inférieure au Niveau des Plus Hautes Eaux Naturelles (NPHN) du Rhône au droit du projet, estimé à 162,3 m NGF.

### 9.1.1. Principe de compensation

Par mesure de sécurité, les remblais situés dans l'ensemble de l'emprise de la crue de référence ont été pris en compte, incluant le lit mineur ainsi que la rive droite. À ce titre, les zones R1, B1 et B2 sont intégrées dans le calcul des volumes à compenser.

En ce qui concerne les mesures compensatoires, plusieurs options ont été envisagées.

La première consistait en un décaissement généralisé des emprises existantes situées dans le périmètre du projet. Cette solution a toutefois été écartée en raison de la présence de futurs aménagements prévus sur le site (cheminements internes, aménagements paysagers, accès PMR, etc.), qui nécessitent le maintien du niveau de sol projeté.

La solution retenue privilégie le recours à des bâtis existants destinés à être démolis, dans la mesure où cette opération est déjà intégrée aux projets d'aménagement du secteur. Trois bâtiments, situés dans le périmètre du projet, sont concernés et pourront contribuer à la compensation hydraulique.

Par ailleurs, la Métropole de Lyon, en partenariat avec les communes d'Oullins-Pierre-Bénite et de La Mulatière, porte un projet d'aménagement urbain sur le secteur de la ZAC de la Saulaie. Dans ce cadre, certaines zones actuellement occupées par des bâtiments (locaux ou habitations) situés en rive gauche de l'Yzeron seront démolies et réaménagées en espaces verts (Parc de l'Yzeron). Ces emprises, situées à une altitude proche de celle de la culée rive droite du futur ouvrage (environ 164 m NGF), se trouvent en zone inondable et pourront, à ce titre, également contribuer à la compensation hydraulique du projet.



Figure 15 : Extrait de la carte du projet urbain de la Saulaie

La figure ci-dessous distingue le bâti présent dans le périmètre du projet de la passerelle de celui relevant du projet de la ZAC Saulaie, lequel pourrait potentiellement être mobilisé comme mesure compensatoire.



### 9.1.1. Calcul du bilan déblai/remblai en zone inondable

Le calcul est réalisé en trois dimensions (3D) dans le périmètre A alloué au projet, dont un extrait explicatif est présenté ci-dessous :

- En **bleu**, les volumes de remblai liés au projet (rampe, massif, mâts et culée) ;
- En **jaune**, les volumes de compensation correspondant à la démolition du bâti existant)

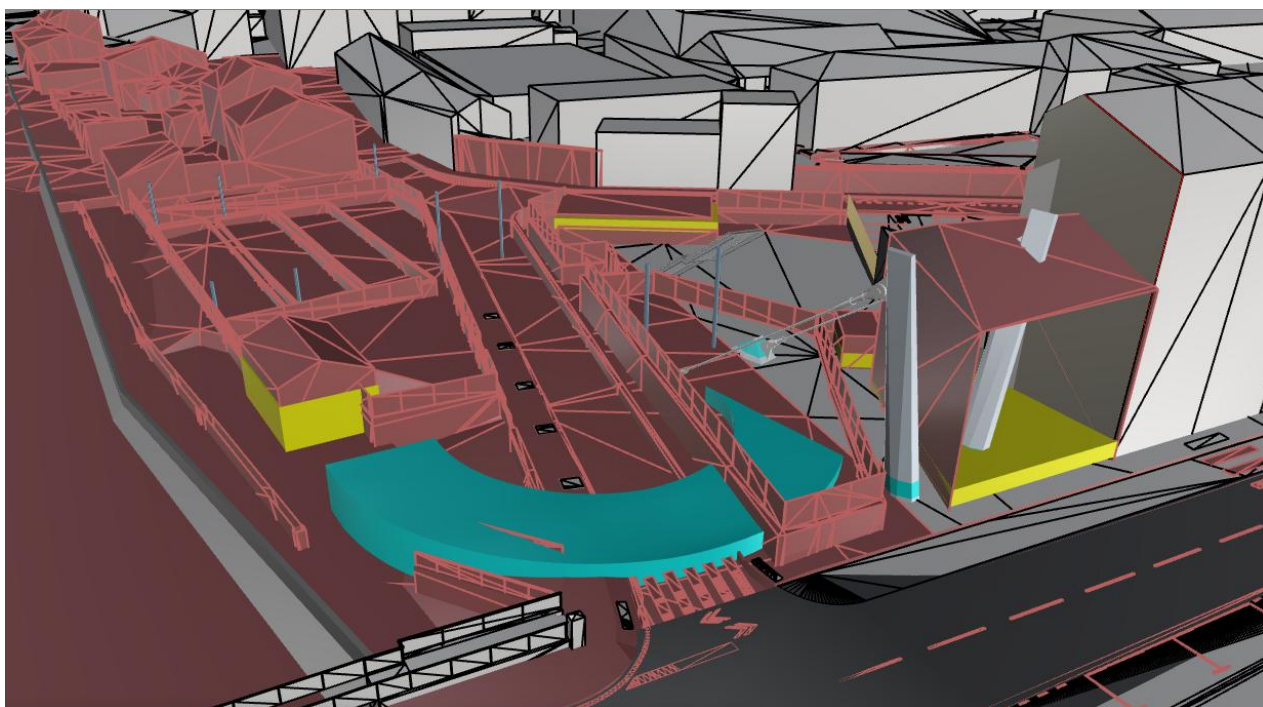


Figure 16 : Extrait de la modélisation 3D du bilan déblai/remblai

Deux simulations sont réalisées :

**Simulation 1 :** prise en compte de la démolition du bâti situé uniquement dans le périmètre du projet de la passerelle (bâtiments n°1, n°2 et n°3).

| Localisation          | Tranche       |              | PROJET                                  |                                      | COMPENSATION    |                | Bilan surfacique (m2) par tranche | Bilan volumétrique (m3) par tranche |
|-----------------------|---------------|--------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|-----------------|----------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
|                       |               |              | Surface soustraites à l'inondation (m2) | Volume soustrait à l'inondation (m3) | En surface (m2) | En volume (m3) |                                   |                                     |
| Ouvrage en lit majeur | 165.11        | 162.2        | 192                                     | 471                                  | 269             | 328            | 7                                 | -266                                |
| Piles en lit mineur   | 165.11        | 162.2        | 70                                      | 123                                  | 0               | 0              |                                   |                                     |
| <b>Total</b>          | <b>165.11</b> | <b>162.2</b> | <b>262</b>                              | <b>594</b>                           | <b>269</b>      | <b>328</b>     |                                   |                                     |

Ce calcul révèle un bilan légèrement positif en termes de surface, mais déficitaire en volume.

**Simulation 2 :** prise en compte de la démolition du bâti situé uniquement dans le périmètre du projet de la passerelle (bâtiments 1, 2 et 3) ainsi que d'un bâtiment supplémentaire du futur parc de l'Yzeron (bâtiment n°4).

| Localisation          | Tranche       |              | PROJET                                  |                                      | COMPENSATION    |                | Bilan surfacique (m2) par tranche | Bilan volumétrique (m3) par tranche |
|-----------------------|---------------|--------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|-----------------|----------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
|                       |               |              | Surface soustraites à l'inondation (m2) | Volume soustrait à l'inondation (m3) | En surface (m2) | En volume (m3) |                                   |                                     |
| Ouvrage en lit majeur | 165.11        | 162.2        | 192                                     | 471                                  | 505             | 776            | 243                               | 182                                 |
| Piles en lit mineur   | 165.11        | 162.2        | 70                                      | 123                                  | 0               | 0              |                                   |                                     |
| <b>Total</b>          | <b>165.11</b> | <b>162.2</b> | <b>262</b>                              | <b>594</b>                           | <b>505</b>      | <b>776</b>     |                                   |                                     |

Cette simulation met en évidence un bilan positif, tant en surface qu'en volume.

Les calculs présentés ci-dessus considèrent une tranche altimétrique comprise entre les cotes 165,11 m et 162,2 m NGF, aboutissant à un bilan largement positif en termes de compensation. Afin de tenir compte des différents niveaux hydrologiques, des analyses plus détaillées, par tranches réduites d'environ 50 cm, seront menées dans les phases ultérieures. Ces analyses devraient confirmer ce bilan positif, puisque les habitations prévues pour la compensation se situent majoritairement dans cette même plage altimétrique, garantissant ainsi une adéquation cohérente entre les volumes remblayés et ceux compensés.

En conclusion, au regard des éléments présentés ci-avant, notamment la présence d'autres bâtiments à démolir, on peut affirmer que les solutions de compensation sont largement envisageables.

Il apparaît néanmoins nécessaire de justifier la compensation à une échelle plus large que celle du seul périmètre alloué à la construction, ce dernier ayant principalement pour objectif de contenir l'enveloppe du projet d'ouvrage.

La réflexion sur les mesures compensatoires doit ainsi s'inscrire dans une approche globale, prenant en compte l'ensemble des bâtiments situés en lit majeur.

Par ailleurs, la Métropole du Grand Lyon devra assurer une coordination à l'échelle de l'ensemble du site, afin d'évaluer et de maîtriser l'impact cumulatif de tous les projets d'aménagement envisagés dans ce secteur.

## 9.2. Conformité hydraulique et réglementaire du projet

Le projet étudié s'inscrit dans un cadre réglementaire et technique exigeant, encadré par plusieurs documents directeurs, notamment la Loi sur l'eau, le SDAGE et le PPRI. À ce titre, son intégration hydraulique a été pensée pour répondre strictement à l'ensemble des contraintes identifiées.

Avec une surface soustraite à l'expansion des crues de seulement 260 m<sup>2</sup>, le projet reste en deçà du seuil de déclaration fixé par la rubrique 3.2.2.0. Les modélisations confirment l'absence d'aggravation de l'aléa (SDAGE – disposition 8-03) ainsi que le maintien de la ligne d'eau centennale, même en crue exceptionnelle (PPRI), attestant de la transparence hydraulique de l'ouvrage.

Par ailleurs, la configuration de l'ouvrage, avec un espacement de 150 m entre les piles en lit mineur et d'environ 20 m entre les mâts supportant le tablier en lit majeur, associée à la finesse des éléments (40 cm d'épaisseur), assure une prévention efficace contre les embâcles.

Enfin, les mesures de compensation hydraulique reposent sur la démolition de bâtiments situés dans l'emprise ou à proximité immédiate du projet, permettant de restituer un volume équivalent à celui du remblai. Le bilan hydraulique qui en résulte est largement positif, en cohérence avec le principe "volume pour volume, cote pour cote".

**Annexe :**  
**Approche méthodologique de l'étude hydraulique**  
**Phase « Loi sur l'Eau »**

# 1. Méthodologie globale

Cette méthodologie repose sur les grands axes ci-dessous :

## 1.1. Définition du périmètre de l'étude

- Évaluer les impacts hydrauliques de la passerelle en phase travaux et en phase permanente.
- Vérifier les effets sur les niveaux d'eau, les vitesses d'écoulement, l'érosion, la sédimentation.
- Analyser les incidences des remblais (temporaires ou définitifs) en zone inondable.
- Proposer des mesures correctives ou compensatoires, conformément à la doctrine locale.

## 1.2. Collecte des données

### 1.2.1. Données géographiques et topographiques

- Modèle Numérique de Terrain (MNT) de haute résolution (Lidar, bathymétrie).
- Plans de la topographie du site et des abords.

### 1.2.2. Données hydrologiques et réglementaires

- Données de crue : débits Q10, Q20, Q50, Q100, crue de référence PPRI, débit de projet.
- Crues historiques.
- Cartographie du trait de crue (zones inondables selon PPRI).
- Doctrine locale de gestion des remblais en zone inondable (SDAGE, PPRI, guide DDT, etc.).

### 1.2.3. Données environnementales et géotechniques

- Nature du lit (substrats, granulométrie).
- Habitats naturels, espèces piscicoles, frayères.
- Continuité écologique et sédimentaire

## 1.3. Construction et calage du modèle 2D

### 1.3.1. Logiciel HEC-RAS

L'algorithme d'HECRAS utilisé pour la résolution des équations est de type explicite et permet le calcul d'écoulements subcritiques, supercritiques et mixtes. Les pertes de charges linéaires et liées aux contractions et expansions sont prises en considération. Les apports latéraux ainsi que les déversements sont également considérés pour le calcul des lignes d'eau.

Les singularités ayant une influence sur les lignes d'eau comme les ponts, seuils ou autres ouvrages sont intégrés dans la modélisation. Le modèle peut intégrer des éléments particuliers comme des orifices ou reproduire les effets de la mise en pression au niveau d'un pont.

### 1.3.2. Création du modèle

- Maillage 2D du secteur d'étude avec raffinement autour des piles, des berges, du bâti et des infrastructures hydrauliques existantes en lit majeur.
- Intégration du MNT (Modèle Numérique de Terrain) ainsi que des infrastructures existantes (ponts, digues, berges).
- Paramétrage des coefficients de frottement (Manning) en fonction de l'occupation des sols et du substrat du lit.
- Intégration de ouvrages annexes pouvant impacter les écoulements en crue sur le secteur modélisé

### 1.3.3. Conditions aux limites

- Débit amont (hydrogrammes de crue).
- Niveau ou courbe de tarage en aval.
- Pertes de charges locales aux obstacles naturels/artificiels.

### 1.3.4. Calage du modèle

- Comparaison des résultats simulés avec les données historiques (niveaux, débits, vitesses).
- Ajustement des paramètres (rugosité, géométrie) pour garantir la fiabilité du modèle.
- Validation sur un ou plusieurs événements de crue connus.

### 1.3.5. Scénarios simulés

- Référence (état actuel) : sans projet.
- **Phase travaux** : mise en place de remblais temporaires, plateformes, batardeaux.
- **Phase permanente** : piles définitives, remblais d'accès, tablier de la passerelle.
- Cas de crue : Q10, Q20, Q50, Q100, crue de référence et scénario extrême si imposé par les autorités.

## 1.4. Analyse des incidences hydrauliques

### 1.4.1. Analyse générale

Les éléments ci-dessous constituent les principaux axes d'analyse hydraulique à approfondir, afin d'évaluer les impacts des aménagements projetés sur l'écoulement, la dynamique fluviale et les enjeux locaux (stabilité des berges, inondabilité, érosion) :

- Comparaison des hauteurs d'eau ( $\Delta H$ ) entre les états : référence / travaux / projet.
- Cartes de vitesses d'écoulement, zones d'accélération ou de stagnation.
- Risques d'érosion autour des piles, en pieds de berge.
- Risque de débordement en rive et dans les zones urbanisées.
- Analyse de la courantologie pour caractériser les profils de vitesse, les zones de recirculation et les gradients de pression autour des obstacles.
- Étude des champs de courant afin d'évaluer l'impact des infrastructures sur la dynamique fluviale et la stabilité des berges.

### 1.4.2. Analyse spécifique des remblais en zone inondable

#### 1.4.2.1. Identification des remblais

- Plateformes de chantier, rampes d'accès, massifs, etc.
- Localisation dans le périmètre inondable (sous trait de crue).

#### 1.4.2.2. Quantification des volumes

- Volume de remblai impactant la zone d'expansion des crues.
- Analyse par tranches altimétriques.

#### 1.4.2.3. Effets hydrauliques :

- Simulation de l'effet du remblai sur les niveaux d'eau et vitesses.
- Recherche d'aggravation localisée des hauteurs d'eau ou débordements.
- Conformité à la doctrine : interdiction d'aggraver l'aléa.

## 1.5. Mesures d'atténuation et de compensation

### 1.5.1. Phase travaux

- Plan de gestion de crue : seuils d'arrêt des travaux, repli en cas d'alerte.
- Batardeaux, protections filtrantes, zones de stockage des matériaux en dehors des zones inondables.
- Surveillance en crue (capteurs + protocole d'alerte).

### 1.5.2. Phase permanente

- Forme hydrodynamique des piles (forme en ogive, elliptique).
- Protection contre l'érosion : enrochements, géotextiles, rideaux végétalisés.
- Entretien périodique de la zone autour des appuis.
- Compensation hydraulique des remblais :
  - Création de zones d'expansion des crues en amont ou aval.
  - Décaissement compensatoire d'un volume équivalent ou supérieur au volume remblayé.
  - Mesures compatibles avec les exigences du PPRI / DDT.

## 1.6. Rendu de l'étude

- Cartographie et plans de l'état initial / projeté.
- Hypothèses et paramètres du modèle HEC-RAS.
- Résultats chiffrés et cartographiques des scénarios.
- Tableau des impacts et mesures associées.
- Évaluation réglementaire (compatibilité PPRI, Loi sur l'Eau, Natura 2000 si concerné).

## 1.7. Concertation et validation

- Transmission à la DDT, DREAL, CNR ou autorité environnementale.
- Présentation aux parties prenantes (maîtrise d'ouvrage, communes, riverains si besoin).
- Ajustements en fonction des retours.
- Préparation des pièces pour la demande d'autorisation environnementale (DAE) si nécessaire.

**NB :** La modélisation présentée ci-dessus a été réalisée à titre explicatif afin de définir la méthodologie et les principaux axes d'analyse, notamment en l'absence d'un modèle hydraulique existant spécifique au projet. Conformément au CCTP, un modèle hydraulique métropolitain, basé sur la crue Q200 et élaboré lors de la mise à jour du système d'endiguement, sera fourni au démarrage de l'AVP. Ce modèle servira de référence et sera adapté au périmètre du projet pour garantir une étude hydraulique rigoureuse et conforme aux exigences réglementaires.



Concevoir avec vision,  
inspirer le changement

BP 864  
78058 SAINT QUENTIN YVELINES CEDEX  
Tél : 01 30 60 04 05 / Fax : 01 30 60 93 41