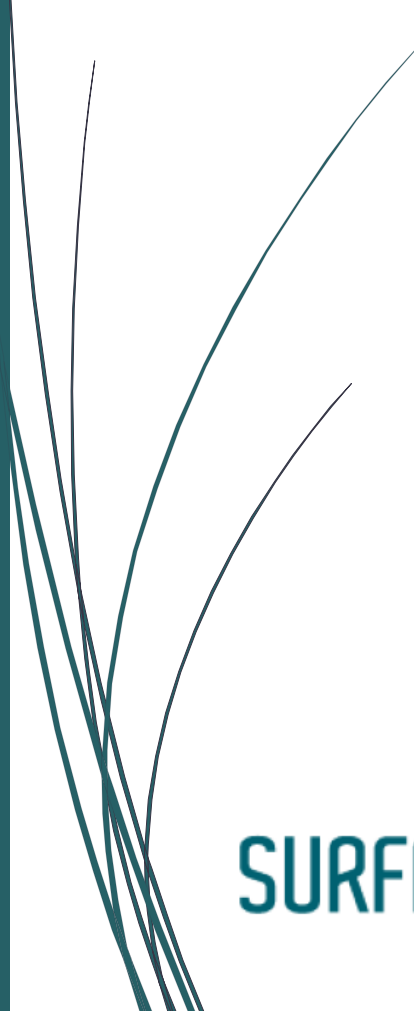


**Etude d'impact hydraulique pour un projet thermo-  
solaire commune de Brazey-en-Plaine (21)**

Note de calcul



**SURFACE LIBRE**

235 Chemin de Cote Rousse  
26 750 Chatillon Saint Jean  
arnaud.koch@surfacelibre.fr  
www.surfacelibre.fr - 06 63 00 94 98  
Siret : 822 735 155 00035

| Références de la note |                                                                                     |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Client                | Sciences Environnement                                                              |
| Site                  | Département de la Côte-d'Or ; Commune de Brazey-en-Plaine                           |
| Objet de l'étude      | Etude d'incidence hydraulique / projet d'implantation d'une centrale thermo solaire |
| Dossier suivi par     | Arnaud Koch                                                                         |

| Objet                         | ID | Date       | Rédaction | Validation | Approbation |
|-------------------------------|----|------------|-----------|------------|-------------|
| Émission de la note et modèle | 00 | 17/12/2024 | MB        | AK         |             |

## Contenu

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| INTRODUCTION .....                                                                                 | 4  |
| 1 Etat des lieux et calage du modèle .....                                                         | 5  |
| 1.1 Traitements du MNT.....                                                                        | 5  |
| 1.2 Géométrie.....                                                                                 | 7  |
| 1.3 Valeurs de rugosité.....                                                                       | 10 |
| 1.4 Conditions aux limites.....                                                                    | 13 |
| 1.5 Calage du modèle.....                                                                          | 15 |
| 2 Le projet et ses incidences .....                                                                | 22 |
| 2.1 Le Projet .....                                                                                | 22 |
| 2.2 Incidence sur l'Aléa de référence .....                                                        | 27 |
| Annexe n°1 - Localisation des compensations de volumes de déblais/remblais en zone inondable ..... | 30 |
| Annexe n°2 -Présentation du logiciel TUFLOW.....                                                   | 33 |



effet basée sur une modélisation réalisée sur un couplage des modèles ISIS (profils en travers de cours d'eau 1D) et TUFLOW (lit majeur inondable 2D), ainsi nous limitons les biais en exploitant le même modèle pour la partie débordante.

Dans les sections suivantes, nous fournissons des détails sur la géométrie et les paramètres du modèle.

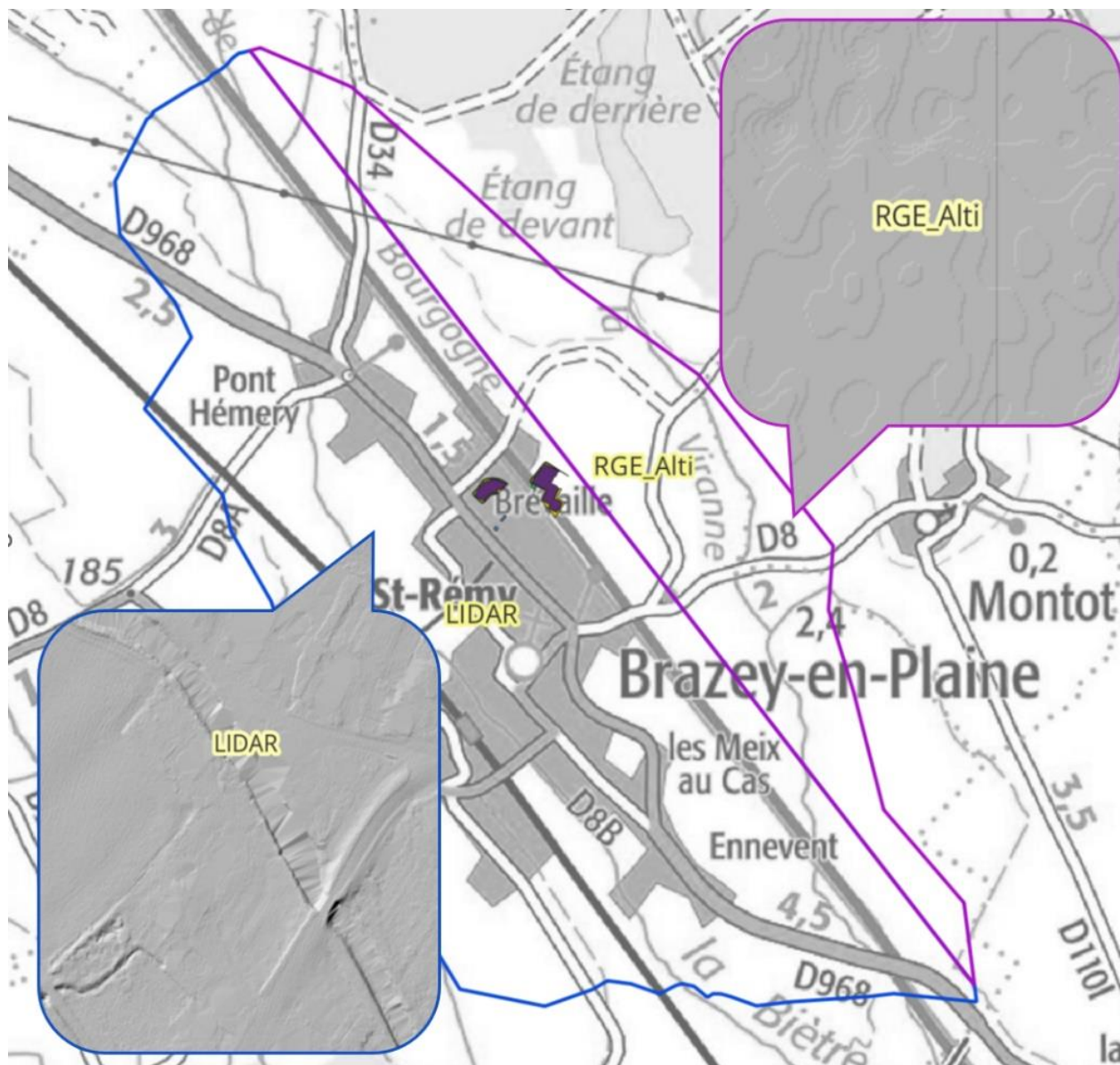
## 1 ETAT DES LIEUX ET CALAGE DU MODELE

### 1.1 Traitements du MNT

Le modèle hydraulique est basé sur un modèle numérique de terrain (MNT) produit à partir des levés réalisés par la société FUGRO (donnée Lidar) et mis à disposition par la DDT21 pour les besoins de l'étude. Il s'agit également de la donnée exploitée pour la modélisation servant de base à l'aléa de référence sur le secteur, établi dans le cadre de l'étude menée par le bureau d'études BRLi. Cette donnée Lidar ne couvre toutefois pas intégralement la zone de l'étude, elle a donc été complétée par des données RGE\_alti 1m fourni par le Géoservice de l'IGN, cette donnée est cependant moins précise sur ce secteur.

Source : <https://geoservices.ign.fr/rgealti>

Figure 2: Zone de couverture du LIDAR



Le MNT issu des données LIDAR est une base de référence pour représenter le relief et la macro-rugosité de la zone d'étude. Il présente cependant certaines limites :

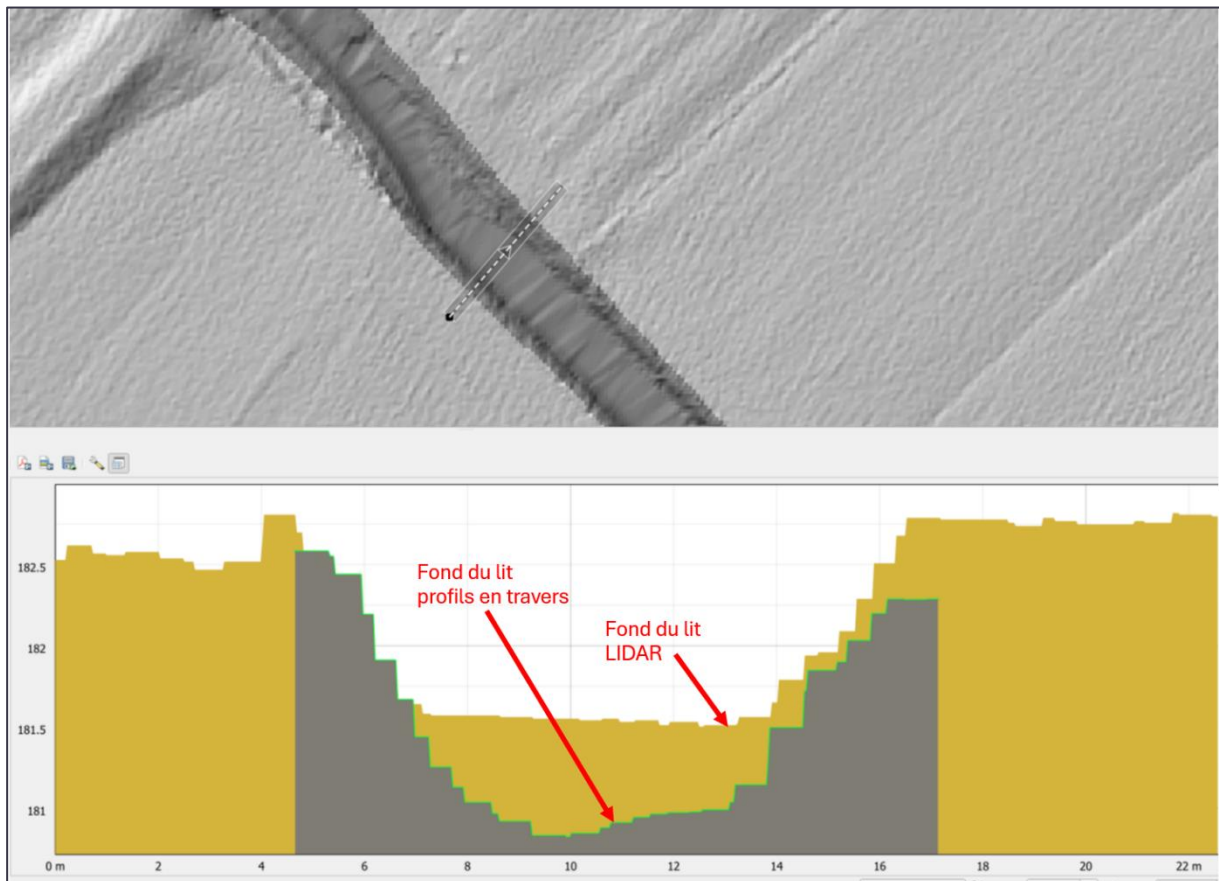
- La précision verticale est variable en fonction de la présence de végétation ou des contraintes topographiques.
- Il ne représente pas la topographie sur les surfaces en eau et celles de végétation dense.

Nous énumérons ci-dessous les traitements effectués sur le MNT pour limiter ces contraintes lors de la modélisation.

### 1.1.1 Comparaison des points altimétriques topographiques et MNT

Les figures suivantes montrent des profils en travers du cours d'eau étendus au terrain environnant (gris), où ils sont comparés au terrain LIDAR (marron).

Figure 3: Comparaison Lidar/profil en travers sur les surfaces en eau



Les profils en travers disponibles en complément du lidar ont été exploités pour créer une surface d'interpolation dans le logiciel HEC-RAS, puis unifiés avec le MNT de base.

Pour tirer parti des avantages de chaque couche, nous avons combiné les 3 sources de données en fonction du terrain, par ordre de priorité :

- 1- Le fond du lit : interpolation des profils en travers topographiques fournis par le bureau d'étude BRLi, et exploités dans le cadre de l'élaboration de l'aléa de référence.
- 2- Partout où il est disponible : LIDAR HD 2021.
- 3- Reste de la zone d'étude : RGE-alti 1m

## 1.2 Géométrie

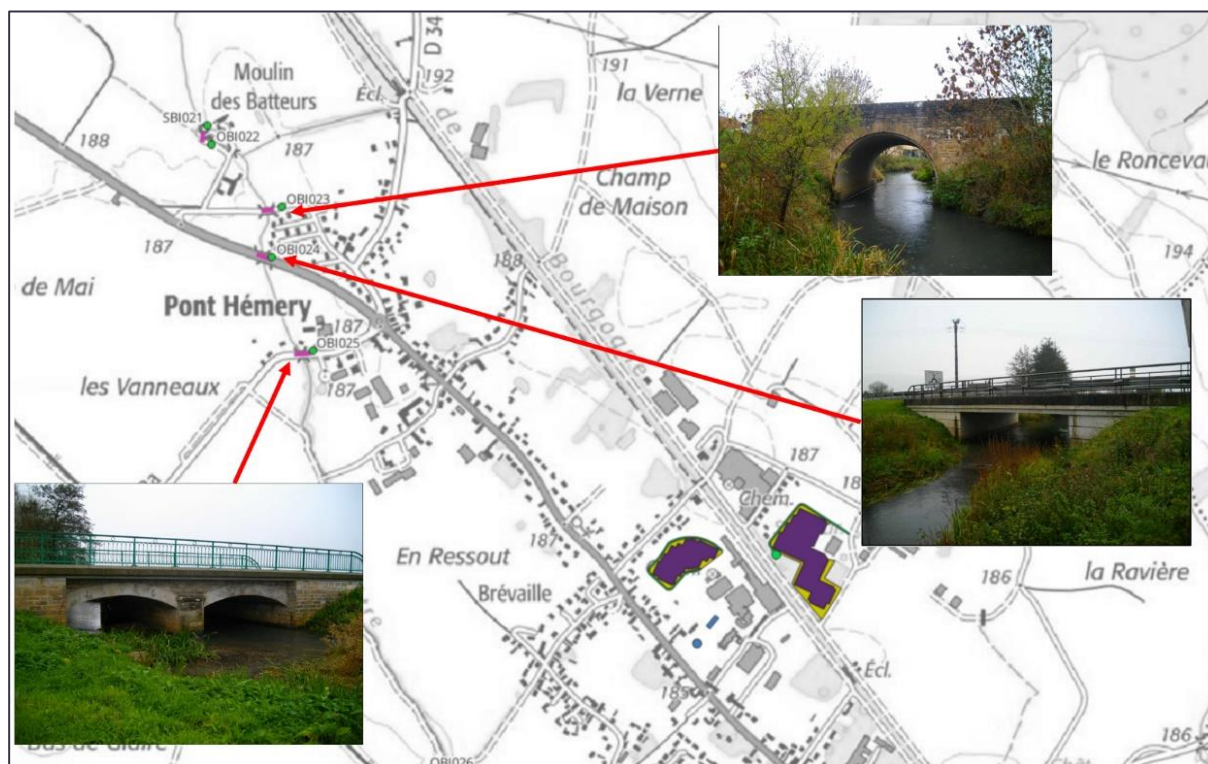
Le logiciel de modélisation TUFLOW se base sur un maillage à mailles carrées, tirant les informations altimétriques du MNT, et pouvant être affinées en fonction des secteurs. Un document de



### 1.2.2 Ouvrages traversants

Les ouvrages structurants pour le passage des écoulements ont été intégrés dans le modèle à partir des données fournies par les relevés topographiques de la société « Techniques TOPO » de décembre 2013.

Figure 5: Exemple d'intégration d'ouvrage



Les caractéristiques des ouvrages intégrés dans le modèle sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1: Dimensions d'ouvrage

| Nom du modèle | Description | Longueur | Épaisseur | Cote sous tablier |
|---------------|-------------|----------|-----------|-------------------|
| OBI022        | Passerelle  | -        | 20 cm     | 186.835 m         |
| OBI023        | Pont        | -        | 147 cm    | 188.8 m           |
| OBI024        | Pont        | -        | 83 cm     | 187.595 m         |
| OBI025        | Pont        | -        | 129 cm    | 186.67 cm         |
| OBI026        | Passerelle  | -        | 47 cm     | 185.89 cm         |
| OBI027        | Passerelle  | -        | 99 cm     | 185.645 m         |
| OBI029        | Pont        | -        | 115 cm    | 181.4 m           |
| OBI031        | Passerelle  | -        | 50 cm     | 184.18 m          |

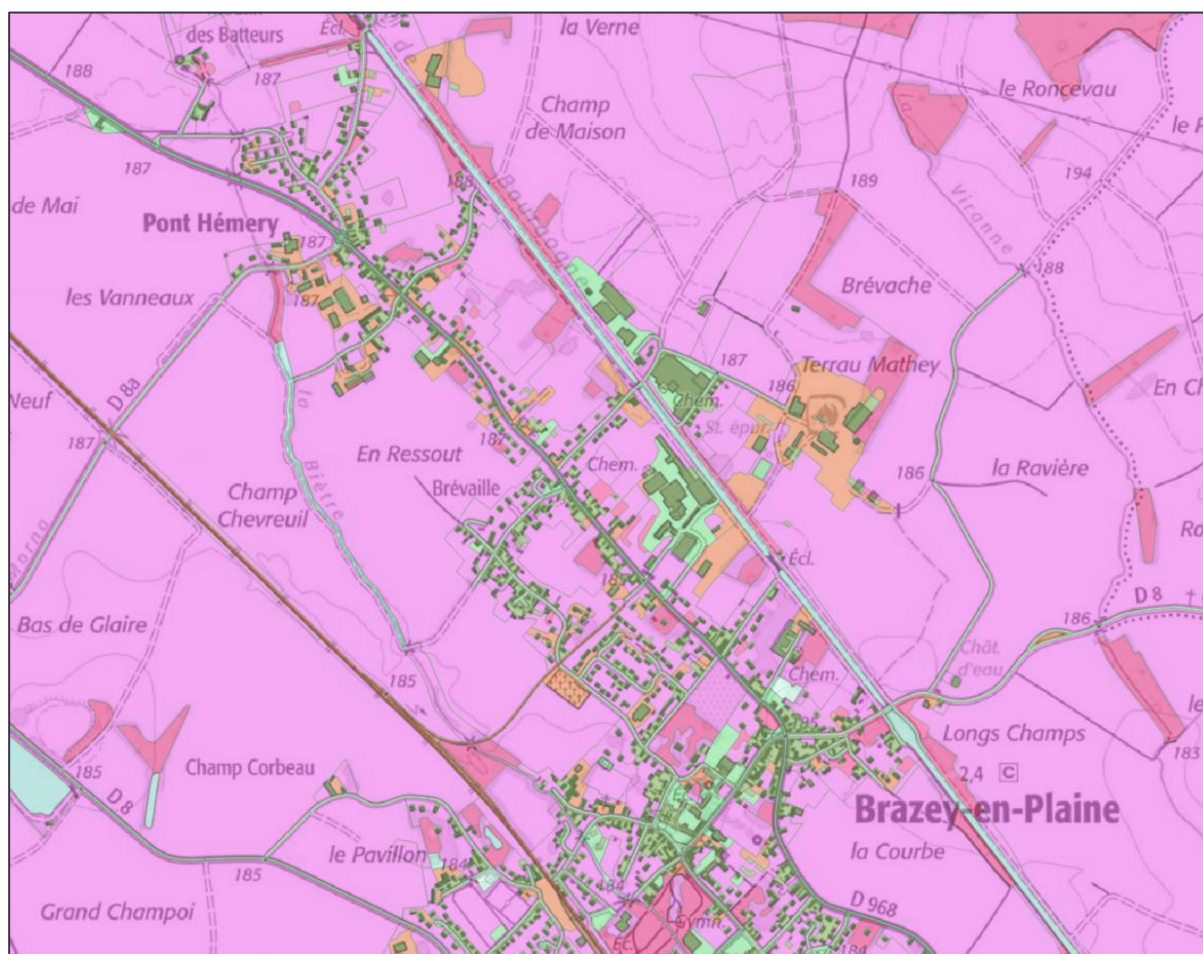
|        |                            |       |        |          |
|--------|----------------------------|-------|--------|----------|
| OBI032 | Vanne<br>L 2.71 x H 1.46 m | 0.4 m | -      | -        |
| OBI033 | Pont                       | -     | 94 cm  | 185.08 m |
| OBI035 | Pont                       | -     | 102 cm | 183.6 m  |
| OBI036 | Pont                       | -     | 130 cm | 182.65 m |
| OVI001 | Dalot<br>L2.74 x H1.13m    | 39 m  | -      | -        |
| OVI002 | Dalot<br>L 3 x H 1.4 m     | 70 m  | -      | -        |

### 1.3 Valeurs de rugosité

#### 1.3.1 Attribution des coefficients de Manning's

Les coefficients de rugosité de *Manning's n* ont été attribués selon les couvertures de la Base de données Occupation du Sol (OCS GE) - Département de la Côte d'Or.

Figure 6: Occupation du sol



Source : <https://geoservices.ign.fr/ocsge>

En fonction des couvertures trouvées dans la zone d'étude (figure ci-dessus), des valeurs standard de rugosité ont été attribuées comme indiqué dans le tableau suivant :

**Tableau 2: Rugosité associé aux classes d'occupation du sol**

| Material ID | Manning's n | Occupation des sols (Niveau 2 OSCOM)                                                              |
|-------------|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1           | 0.5         | Bâti – valeurs artificiellement élevées pour assurer un blocage de l'écoulement sur les bâtiments |
| 2           | 0.02        | Voirie                                                                                            |
| 3           | 0.04        | Zone artificiel / terrain vague                                                                   |
| 4           | 0.04        | Décharge stockage matériaux                                                                       |
| 5           | 0.03        | Surface sable / plage                                                                             |
| 6           | 0.033       | Surface en eau                                                                                    |
| 7           | 0.1         | Forêt feuillus                                                                                    |
| 8           | 0.1         | Forêt conifères                                                                                   |
| 9           | 0.1         | Forêt plantée                                                                                     |
| 10          | 0.07        | Végétation basse / arbustes                                                                       |
| 11          | 0.04        | Terre agricole culture basse                                                                      |
| 12          | 0.04        | Terre agricole culture haute                                                                      |
| 20          | 0.04        | Globale                                                                                           |

### 1.3.2 Ajustements manuels

La couche d'occupation des sols a été retravaillée autour de la zone de projet pour plus de précision et une meilleure intégration des coefficients de rugosité sur les surfaces les plus influentes. C'est le cas pour :

- Les zones goudronnées après 2017
- Les constructions les plus proches
- Les zones boisées non prise en compte

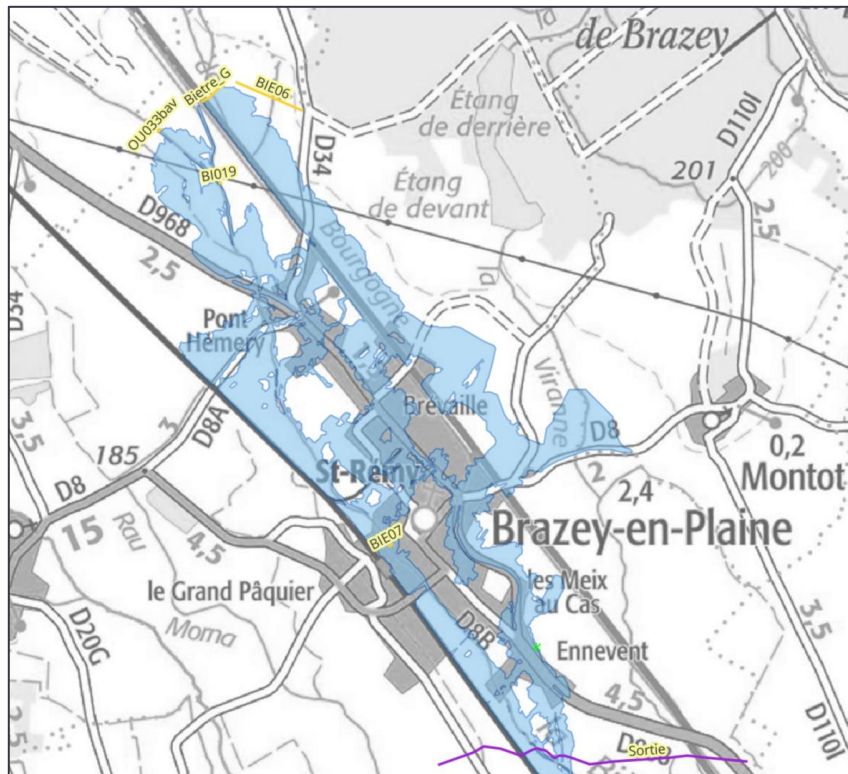
**Figure 7: Raffinement manuel des zones de rugosités**



#### 1.4 Conditions aux limites

Les points d'injections sélectionnés pour alimenter le modèle sont localisés ci-dessous.

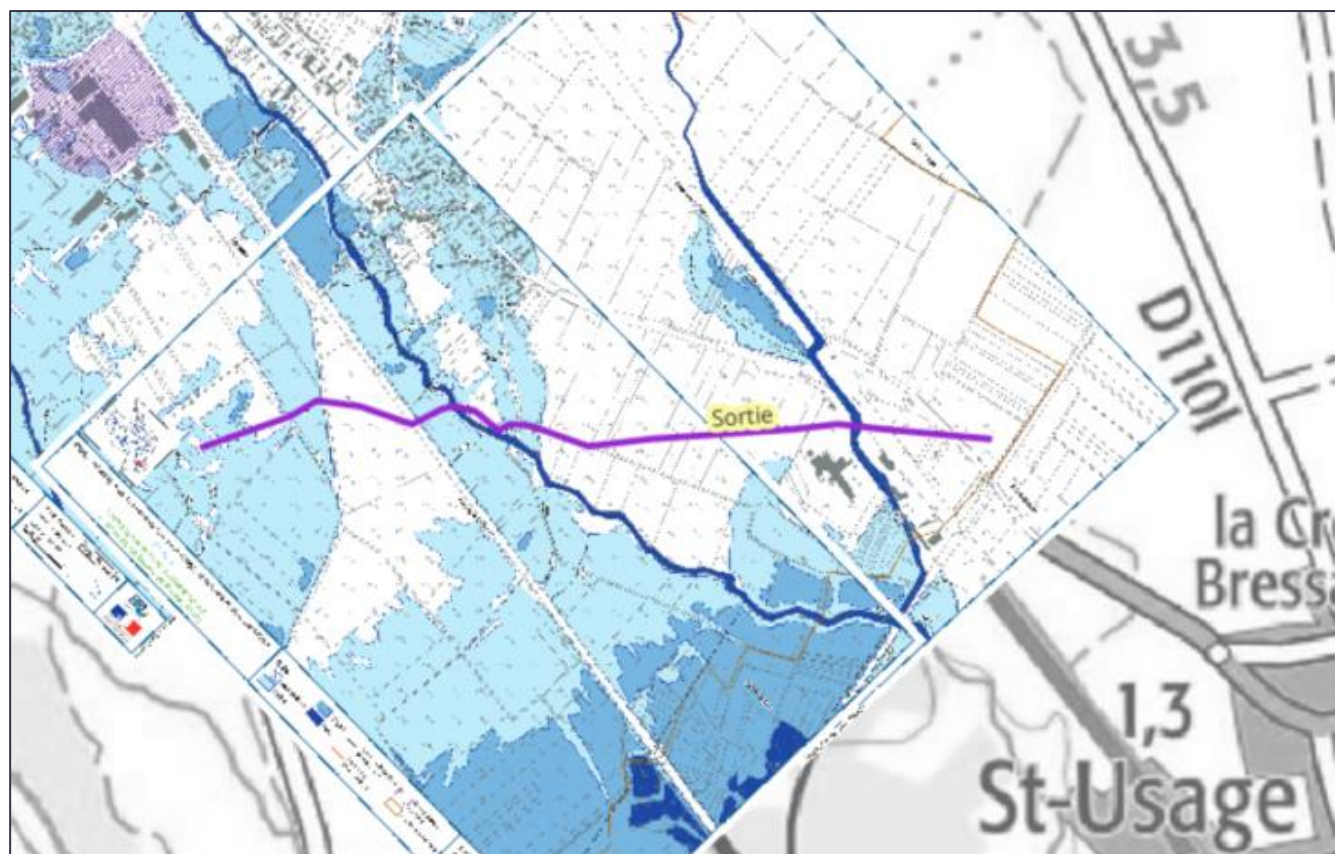
Figure 8: Localisation des points d'injections



Pour la condition en aval on a supposé une profondeur normale, distribuée le long de chaque cellule du maillage avec une pente de 0.00085 m/m.

**Cette condition est prise suffisamment en aval pour ne pas influencer la zone du projet et suffisamment en amont pour ne pas être influencée par le niveau de la Saône comme indiqué ci-dessous.**

Figure 9: Positionnement de la condition en sortie de modèle



## 1.5 Calage du modèle

L'objectif de l'étude est de quantifier l'incidence éventuelle du projet d'aménagement en zone inondable. Le modèle en situation de référence a pour objectif de reproduire de manière la plus fidèle que possible les cotes de référence du PPri en vigueur.

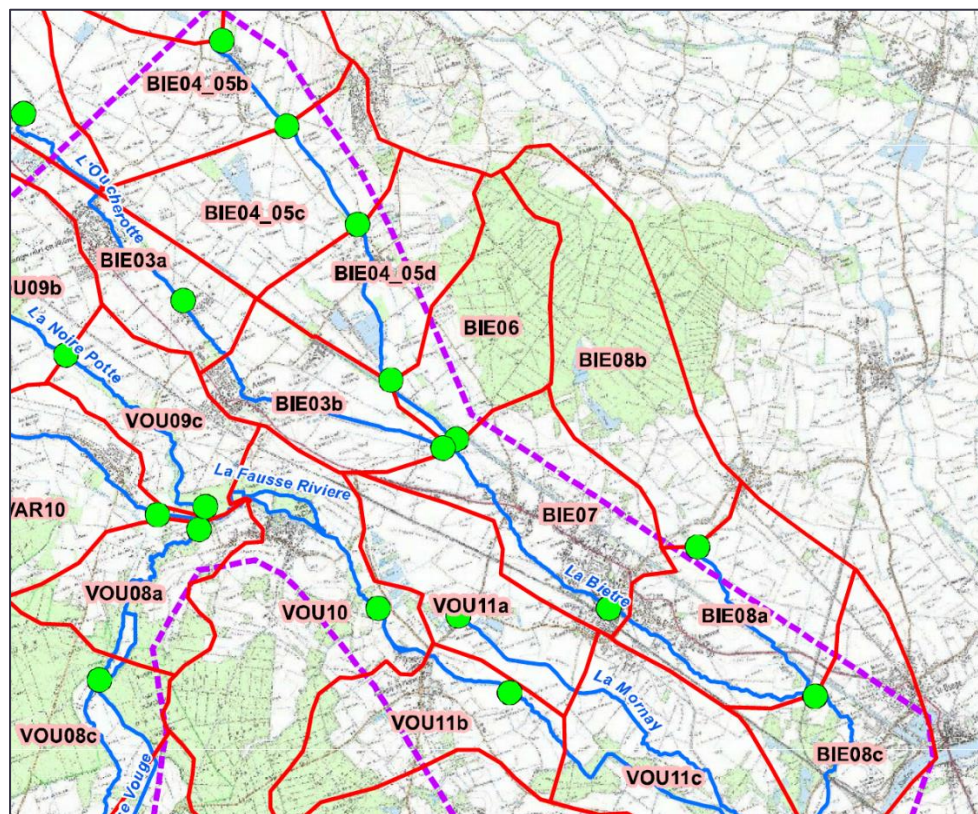
Il est à noter que, à moins de disposer du modèle initialement exploité pour le PPri, il est techniquement impossible de reproduire sans un décalage minimal, les cotes de références en tout point : malgré le soin apporté à la construction du modèle hydraulique, de nombreux éléments peuvent apporter des différences entre les approches : MNT utilisés, traitements locaux, représentation des ouvrages, position des conditions aux limites et délimitations des rugosités). Le calage proposé ici est le fruit de plusieurs itérations, visant à réduire les écarts entre nos résultats et les cotes de référence dans une gamme acceptable.

Pour caler le modèle hydraulique du scénario actuel de cette étude des hypothèses de distribution de débit ont été faites pour s'approcher au mieux de la cartographie de l'aléa de référence de la commune.

Points d'injection du modèle :

- **OU033bav** : Somme des hydrogrammes des bassins versants BIE03a et BIE03b
- **Bietre\_G** : Distribution au Nord du Canal de Bourgogne de 90% de l'hydrogramme résultant de la somme des hydrogrammes des bassins versants BIE04\_05a, BIE04\_05b, BIE04\_05c, BIE04\_05d.
- **BI019** : Distribution au Sud du Canal de Bourgogne de 10% de l'hydrogramme résultant de la somme des hydrogrammes des bassins versants BIE04\_05a, BIE04\_05b, BIE04\_05c, BIE04\_05d.
- **BIE06** : Hydrogramme du bassin versant BIE06 100% distribué au Nord du Canal de Bourgogne.
- **BIE07** : Hydrogramme du bassin versant BIE07

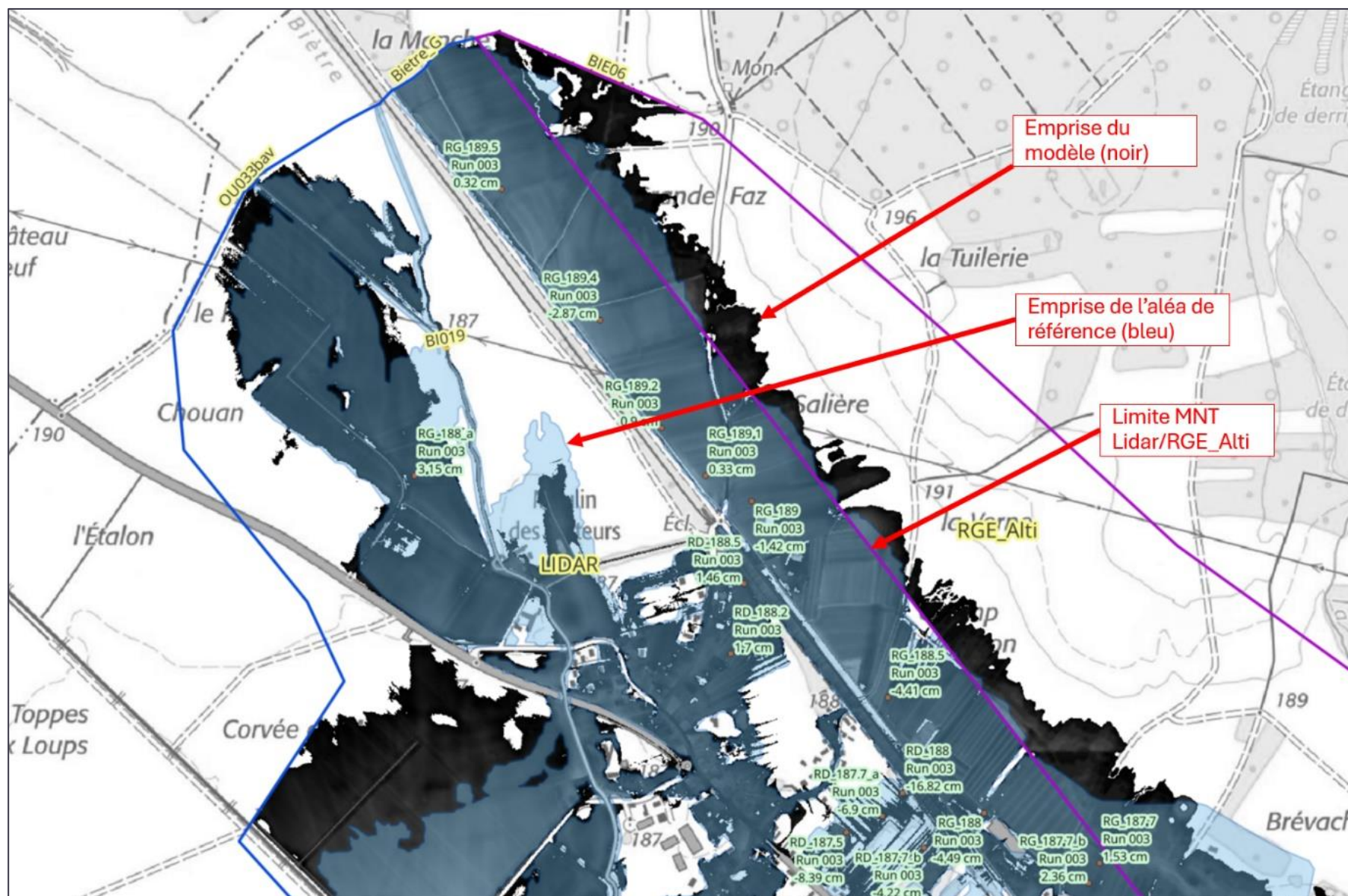
Figure 10: Carte des points d'injection dans le modèle hydraulique aléa

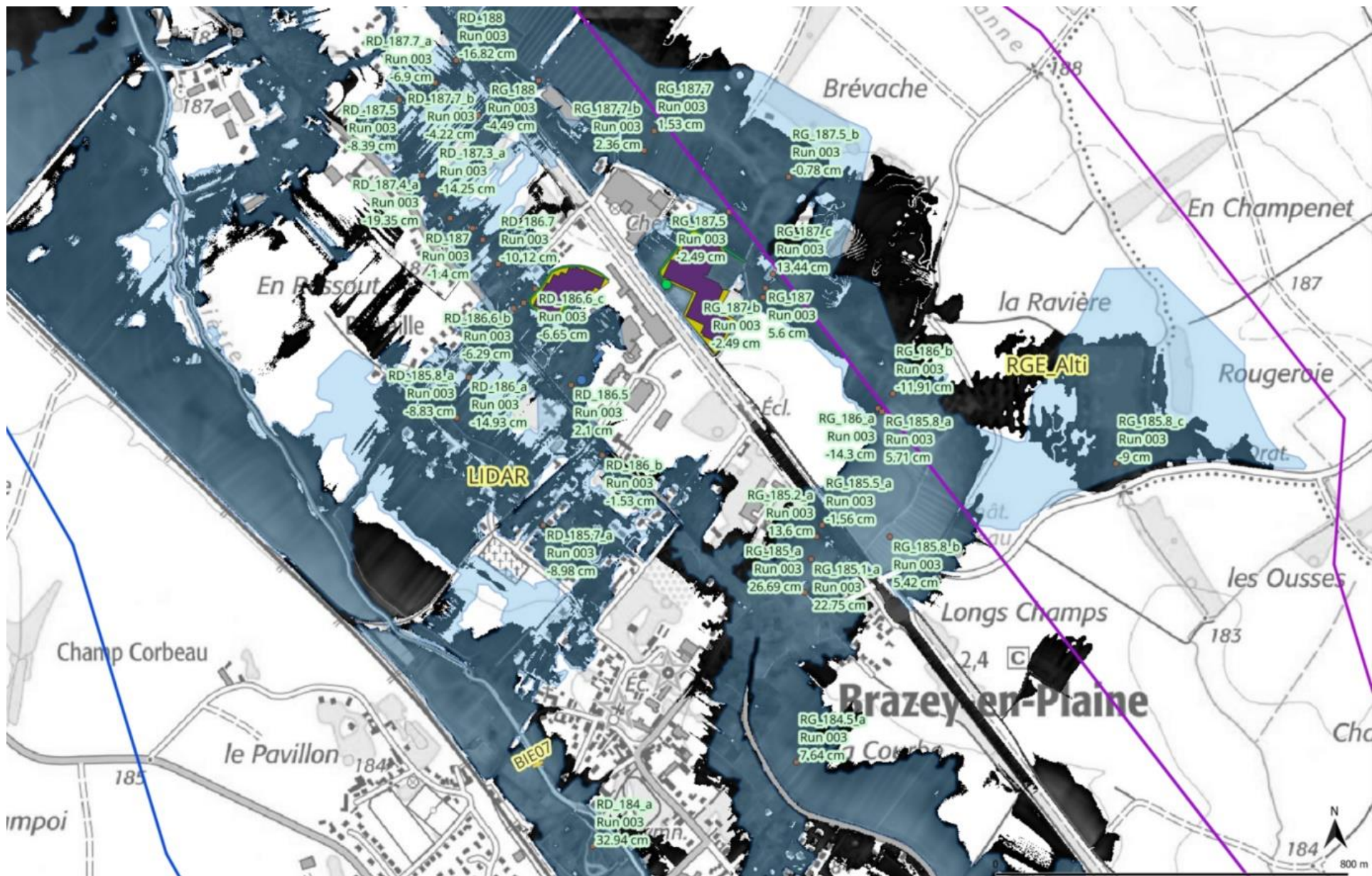


Les figures pages suivantes comparent :

- Les emprises inondables délimitées par les deux modélisations (en bleu l'emprise PPRi, en nuances de gris l'emprise définie par la modélisation de 2024)
- Les différences (en cm) calculées entre les résultats de la modélisation 2024 vis-à-vis des niveaux de référence du PPRi (issus des lignes isocotes disponibles dans la cartographie).

Figure 11: Points de contrôle entre le modèle et l'aléa de référence





On note un impact de la qualité du MNT entre le secteur couvert par le Lidar et celui couvert par le RGE\_Alti de moindre qualité.

On note également que la zone concernée par le projet est principalement inondable, d'après la modélisation réalisée, par les débordements survenant sur la Bièvre en amont de la zone d'étude, avant que celle-ci passe sous le canal de Bourgogne (lieudit la Manche sur les cartes topographiques IGN).

La Bièvre, au droit du projet, se trouve bien en contrebas des parcelles visées par l'aménagement, et récupère ces débordements survenus plus haut, sans influencer par ailleurs l'inondabilité du site.

Celle-ci dépendrait donc principalement des écoulements pouvant traverser le canal de Bourgogne pour revenir vers le fond de vallée naturel. Le rapport de présentation du PPRI ne montre pas d'aperçu précis du modèle mis en œuvre, il n'est pas précisé si des mesures spécifiques ont été prises afin de modéliser le canal, notre modèle se base sur le Modèle Numérique de Terrain, sans autre dispositions, ce qui peut constituer un éventuel point de différence avec les méthodes mises en œuvre pour l'élaboration des cartographies du PPRI, notons toutefois une bonne correspondance, à la fois en termes d'emprise et du point de vue des cotes de référence reconstituées sur le site.

Les résultats d'emprise de crue diffèrent plus au Nord-Est de la limite, là où le MNT est moins précis mais cette différence de résolution n'influence que très peu les hauteurs d'eau puisque on retrouve globalement un écart de moins de 10 cm entre les 2 modèles, notamment à proximité immédiate de la zone de projet, comme le montre la capture suivante. (Note : les points de référence visualisés sur les cartes sont tirées des isocotes du PPRI).

Figure 12: Comparaison des hauteurs d'eau à proximité immédiate de la zone de projet

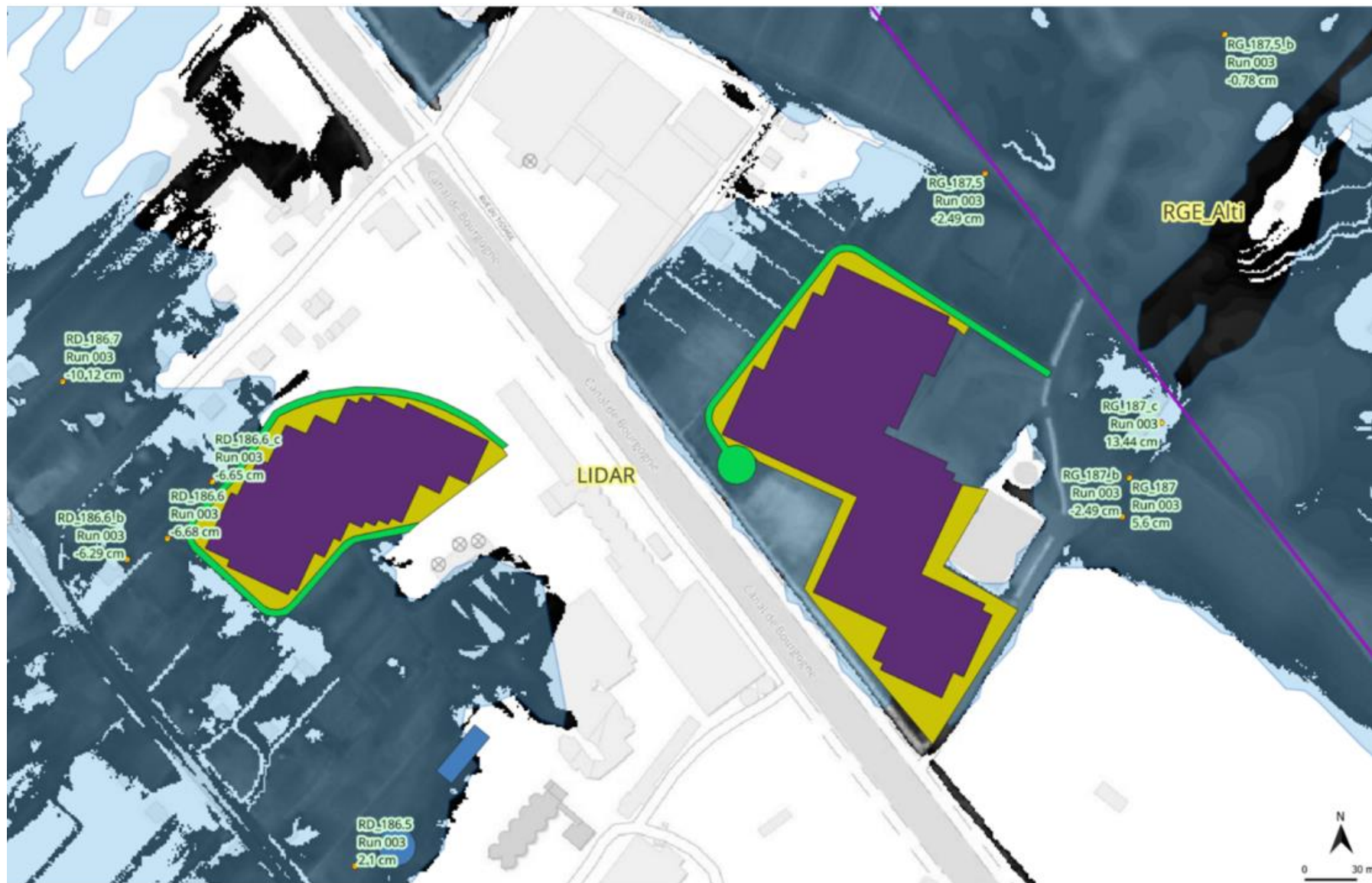


**Tableau 3 : Comparaison des hauteurs d'eau entre l'aléa de référence et le modèle**

| ID         | Côte PPRI | Côte modèle | Delta (cm) |
|------------|-----------|-------------|------------|
| RG 189.5   | 189.5     | 189.5032    | 0.32       |
| RG 189.4   | 189.4     | 189.3713    | -2.87      |
| RG 189.2   | 189.2     | 189.209     | 0.9        |
| RG 189.1   | 189.1     | 189.1033    | 0.33       |
| RG 189     | 189       | 188.9858    | -1.42      |
| RG 188.5   | 188.5     | 188.4559    | -4.41      |
| RG 188     | 188       | 187.9551    | -4.49      |
| RG 187.7   | 187.7     | 187.7153    | 1.53       |
| RG 187.5   | 187.5     | 187.4751    | -2.49      |
| RG 187     | 187       | 187.056     | 5.6        |
| RD 188.5   | 188.5     | 188.5146    | 1.46       |
| RD 188.2   | 188.2     | 188.217     | 1.7        |
| RD 188     | 188       | 187.8318    | -16.82     |
| RD 187.5   | 187.5     | 187.4161    | -8.39      |
| RD 187     | 187       | 186.986     | -1.4       |
| RD 186.9   | 186.9     | 186.6674    | -23.26     |
| RD 186.7   | 186.7     | 186.5988    | -10.12     |
| RD 186.6   | 186.6     | 186.5332    | -6.68      |
| RD 186.5   | 186.5     | 186.521     | 2.1        |
| RG 187 b   | 187       | 186.9751    | -2.49      |
| RG 187 c   | 187       | 187.1344    | 13.44      |
| RG 186 a   | 186       | 185.857     | -14.3      |
| RG 186 b   | 186       | 185.8809    | -11.91     |
| RG 185.8 a | 185.8     | 185.8571    | 5.71       |
| RG 185.8 b | 185.8     | 185.8542    | 5.42       |
| RG 185.5 a | 185.5     | 185.4844    | -1.56      |
| RG 185.2 a | 185.2     | 185.336     | 13.6       |
| RG 185.1 a | 185.1     | 185.3275    | 22.75      |
| RG 185 a   | 185       | 185.2669    | 26.69      |
| RG 184.5 a | 184.5     | 184.5764    | 7.64       |
| RD 184 a   | 184       | 184.3294    | 32.94      |
| RD 186 a   | 186       | 185.8507    | -14.93     |
| RD 185.8 a | 185.8     | 185.7117    | -8.83      |
| RG 185.8 c | 185.8     | 185.71      | -9         |
| RD 186.6 b | 186.6     | 186.5371    | -6.29      |
| RD 186.6 c | 186.6     | 186.5335    | -6.65      |
| RD 186 b   | 186       | 185.9847    | -1.53      |
| RD 187.2 a | 187.2     | 187.0585    | -14.15     |
| RD 187.3 a | 187.3     | 187.1575    | -14.25     |
| RD 187.4 a | 187.4     | 187.2065    | -19.35     |
| RD 187.7 a | 187.7     | 187.631     | -6.9       |
| RD 187.7 b | 187.7     | 187.6578    | -4.22      |
| RD 185.7 a | 185.7     | 185.6102    | -8.98      |
| RG 187.5 b | 187.5     | 187.4922    | -0.78      |
| RG 187.7 b | 187.7     | 187.7236    | 2.36       |
| RG 188 a   | 188       | 188.0315    | 3.15       |

## 2 LE PROJET ET SES INCIDENCES

### 2.1 Le Projet

Il s'agit ici de vérifier l'impact du projet de centrale solaire thermique pour les Malteries Soufflet sur le risque d'inondation défini par l'aléa de référence du PPRI. Le projet engendre des modifications sur le terrain qui sont prises en compte et intégrées au modèle hydraulique. La présente étude se base sur les modifications décrites par le plan d'implantation finalisé transmis le 07 novembre 2024.

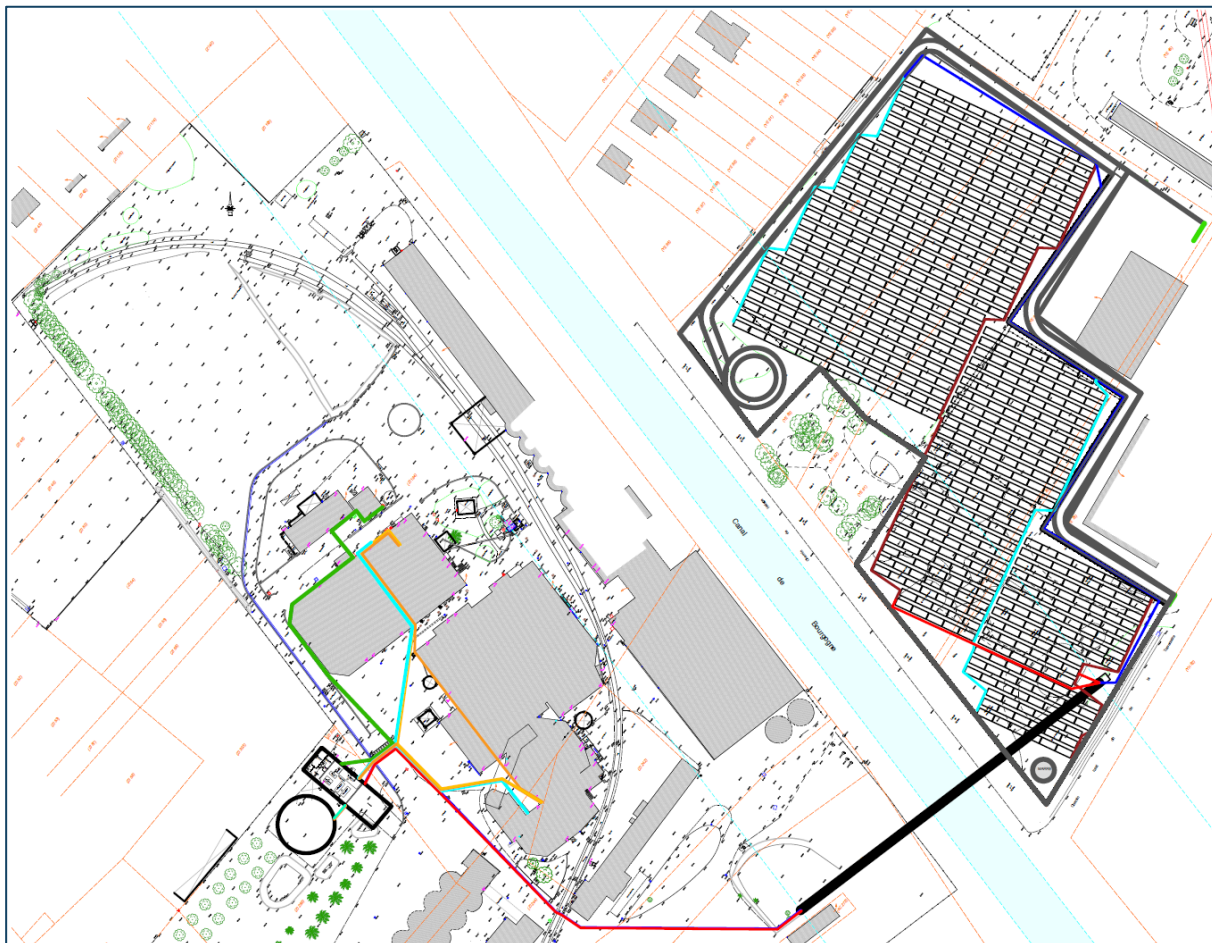


Figure 13: Plan d'implantation finalisé du projet

### 2.1.1 Champ de panneaux solaire

Le champ de panneaux solaire qui doit prendre place au Nord-Est du canal de Bourgogne s'étale sur une surface d'environ 17 000 m<sup>2</sup>. Les panneaux seront installés en hauteur sur des pieds métalliques tel que décrit sur Figure 14.

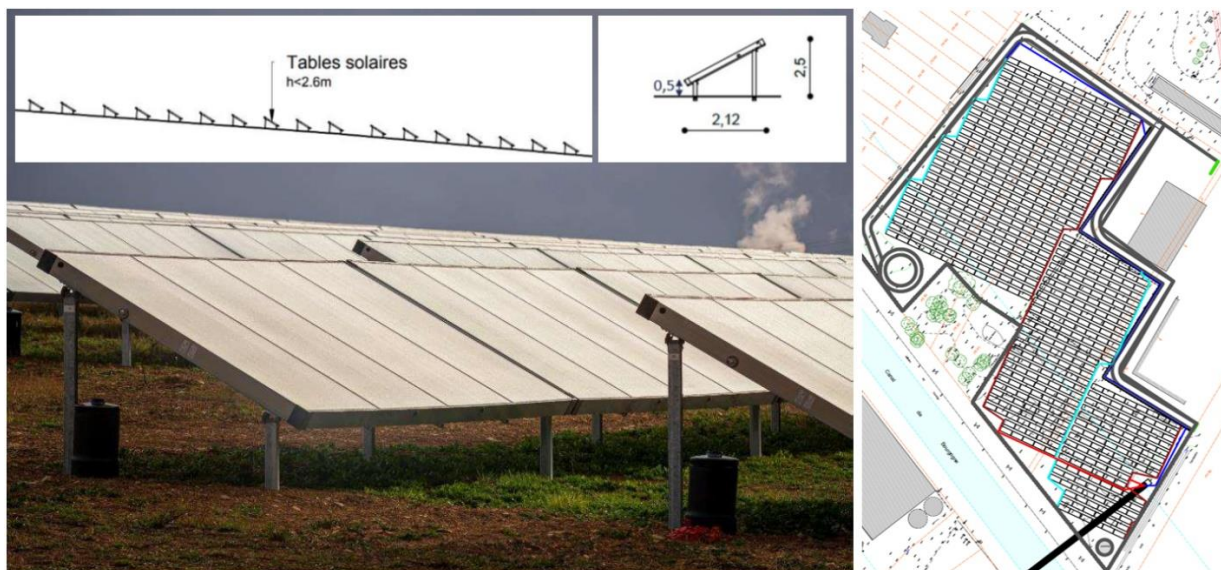


Figure 14: Description du champ de capteurs solaires

Ces éléments ont été intégrés dans le modèle hydraulique sous forme d'une modification de rugosité qui a pour effet de ralentir l'écoulement. L'hypothèse qui est faite est de remplacer le coefficient de Manning original de 0.04 par un coefficient de 0.07 qui pénalise volontairement l'écoulement de la crue.

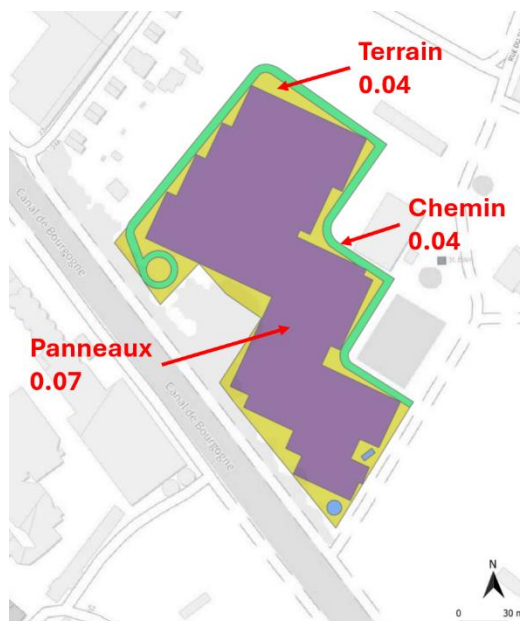


Figure 15: Coefficient de Manning associé au champ de capteurs solaires

### 2.1.2 Nivellement

La mise en place des capteurs solaire ne nécessite pas de nivellement important, néanmoins le mnt lidar fait nettement ressortir des amas de matériaux dépassant les 4m de hauteur.

Un nivellement de la zone sud du champ est donc intégré au modèle.

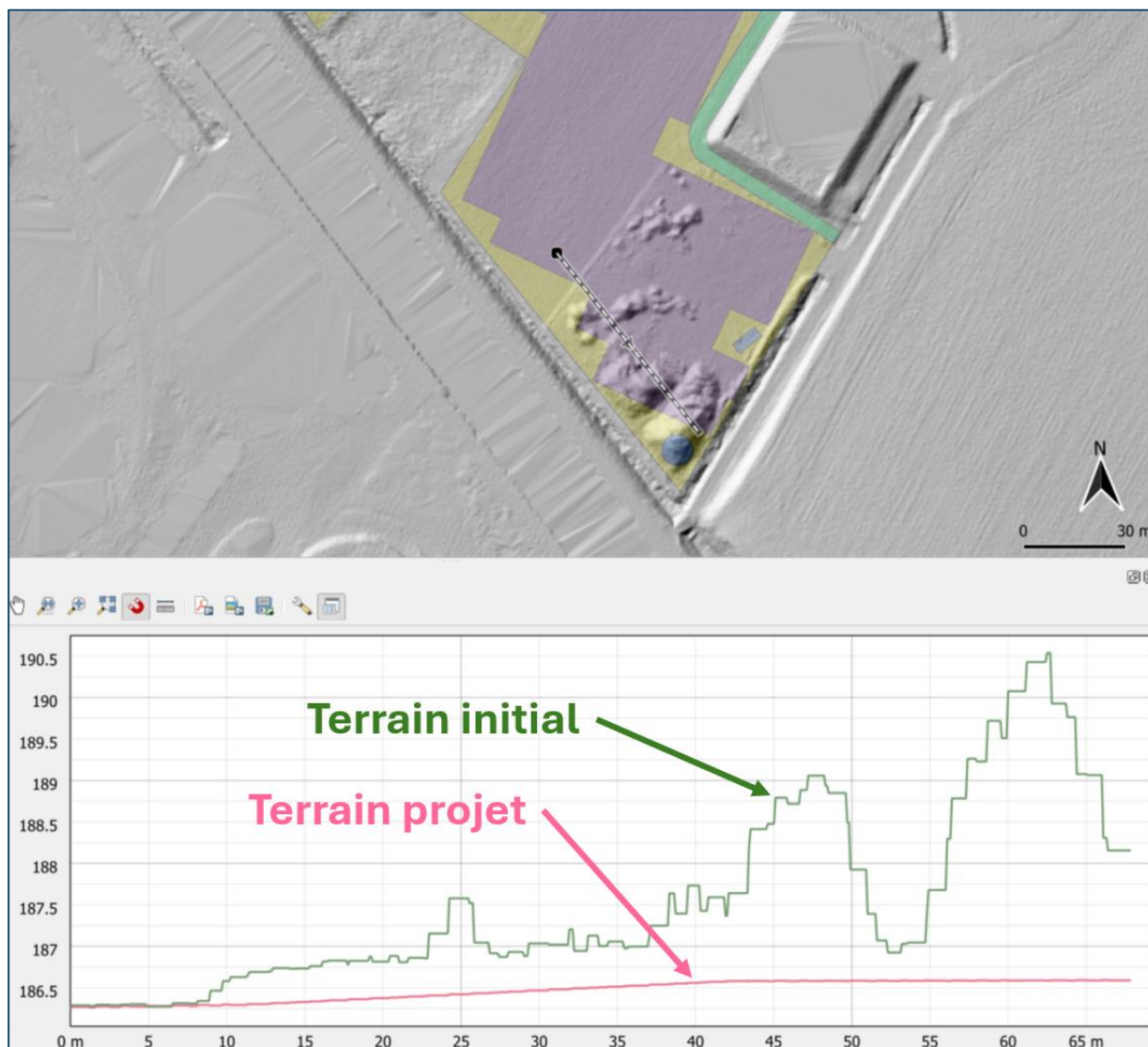
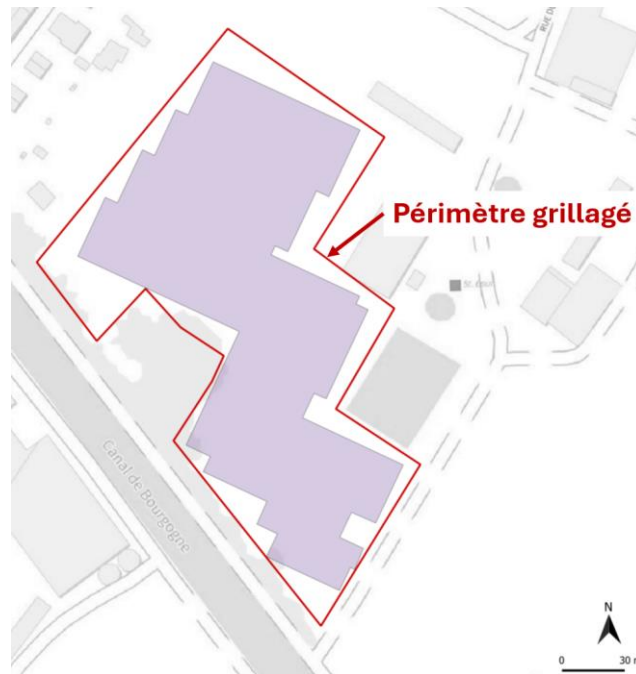


Figure 16: Nivellement de la partie Sud du champ de capteurs solaires

### 2.1.3 Enceinte grillagée

D'après le plan d'implantation Figure 13, le projet prévoit de grillager le périmètre du champ solaire sur un linéaire de 830 m. Cet obstacle est intégré au modèle sous forme d'obstruction avec l'hypothèse qu'elle restreint 10% du passage, cette hypothèse est volontairement sécuritaire. Un coefficient de pertes de charge spécifique est également associé à cette obstruction.



#### 2.1.4 Nouveau bâtiment et cuve

Concernant le bâtiment technique et la cuve de stockage associée de 4000 m<sup>3</sup>, ils sont intégrés au modèle de façon identique aux bâtiments existants. C'est-à-dire sous forme de rugosité artificiellement haute en lieux et place du terrain actuel.

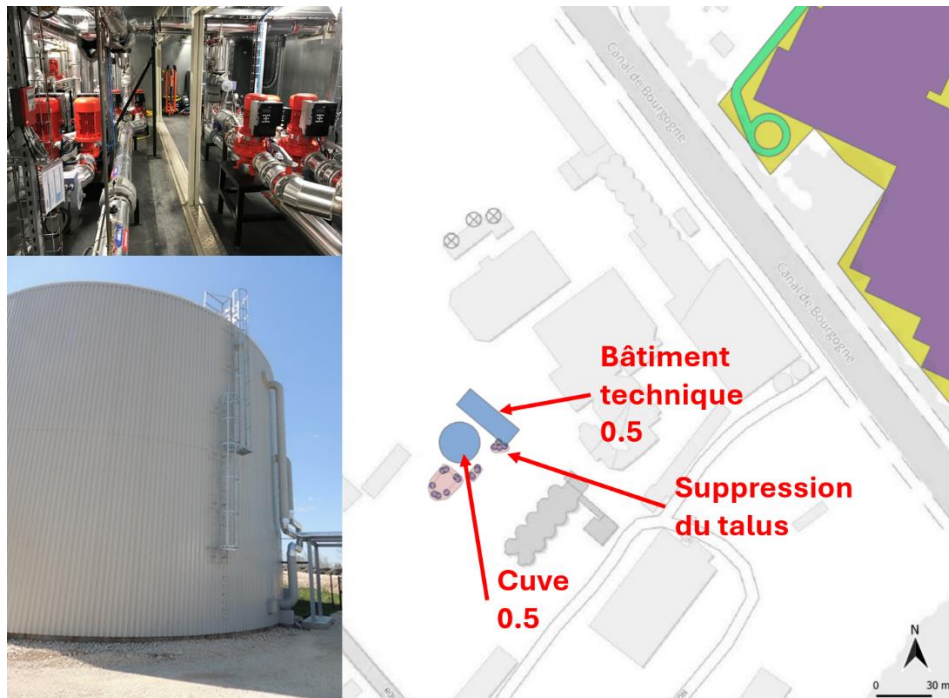


Figure 17: Coefficient de Manning associé aux bâtiments

### 2.1.5 Mare

Le projet de terrassement à la pointe Sud du champ solaire, pour l'intégration d'une mare de 50 m<sup>2</sup> et de 1.5 m de profondeur, est lui aussi intégré au modèle. Premièrement avec une modification de terrain qui creuse le mnt de 1.5m. Et deuxièmement avec l'attribution là aussi d'un Manning correspondant à une surface en eau (0.033) et non une surface en terre comme à l'état initial (0.04).

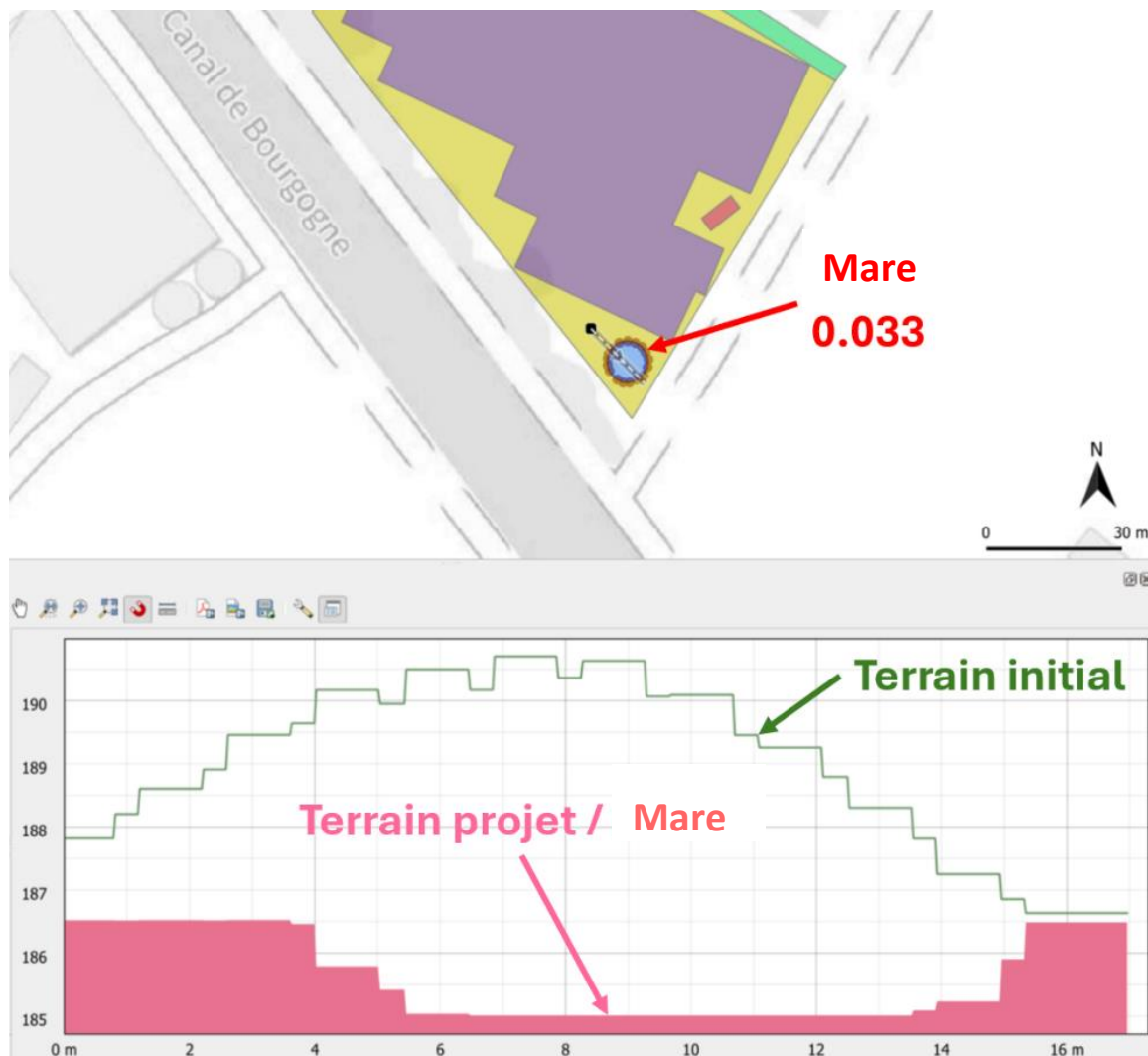


Figure 18: Intégration de la mare

## 2.2 Incidence sur l'Aléa de référence

### 2.2.1 Niveau de submersion

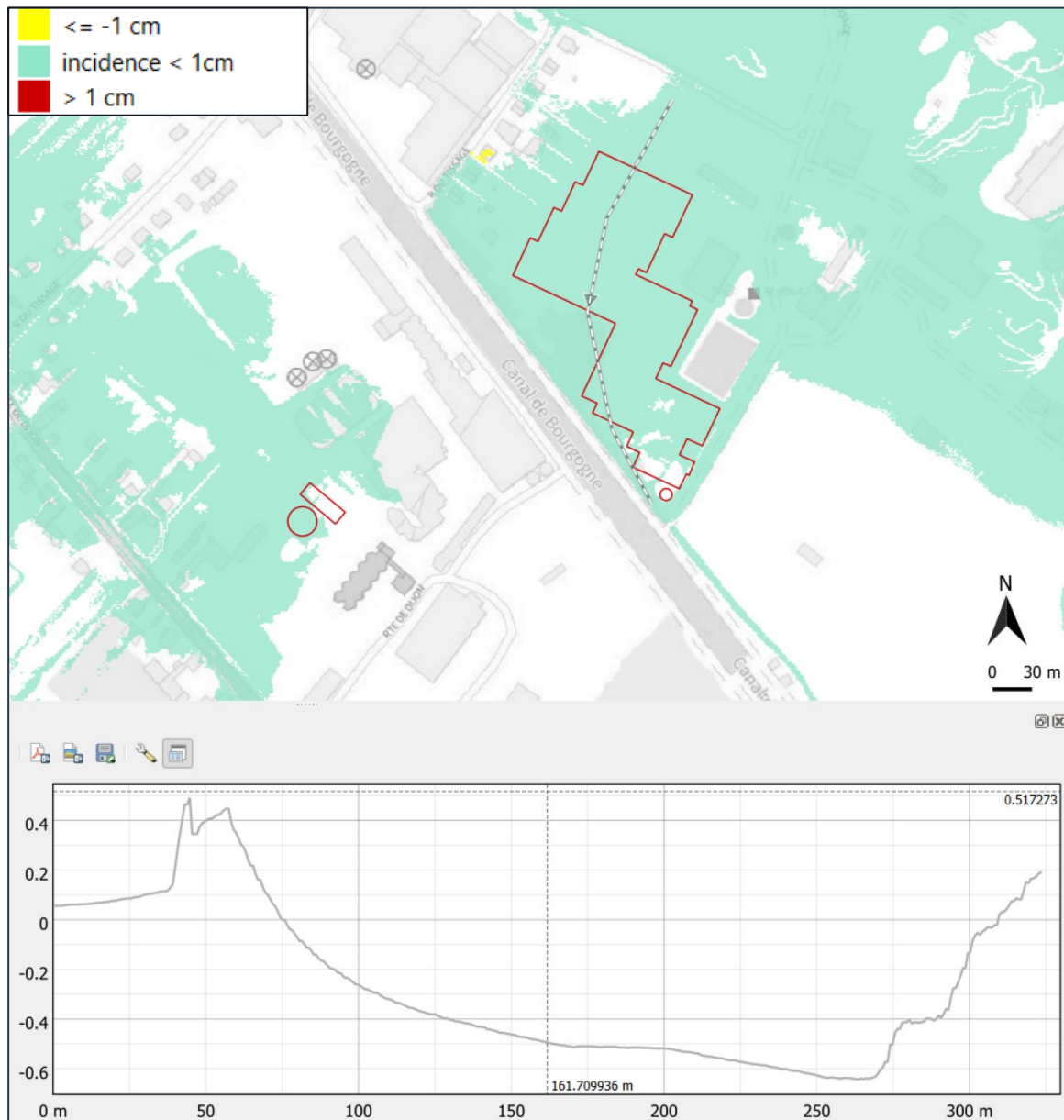


Figure 19: Carte de différence de niveau entre le projet et l'état initial (cm)

Cette carte montre l'incidence des modifications liées au projet de centrale solaire thermique sur les niveaux de submersion avec une inondation de référence. On observe aucune influence au niveau du bâtiment technique et de la cuve de stockage coté Sud du canal de bourgogne. Au nord du canal, la surface de capteurs solaires aurait un peu plus d'incidence avec un niveau réhaussé sur secteur amont. **Dans les 2 cas la différence est faible puisque globalement les valeurs sont inférieures à 1cm, comme l'illustrent la carte et le profil en long tracé sur le projet, représentant le profil de différence actuel/projet (exprimé également en cm).**

**Tableau 4: Comparaison des hauteurs d'eau entre le modèle initial et le scénario projet**

| ID         | Côte modèle état initial | Côte modèle projet | Delta (cm) |
|------------|--------------------------|--------------------|------------|
| RG_189.5   | 189.503                  | 189.503            | 0          |
| RG_189.4   | 189.3711                 | 189.3711           | 0          |
| RG_189.2   | 189.2089                 | 189.2089           | 0          |
| RG_189.1   | 189.1032                 | 189.1032           | 0          |
| RG_189     | 188.9856                 | 188.9856           | 0          |
| RG_188.5   | 188.4559                 | 188.4558           | -0.0001    |
| RG_188     | 187.955                  | 187.955            | 0          |
| RG_187.7   | 187.7152                 | 187.7152           | 0          |
| RG_187.5   | 187.4749                 | 187.4749           | 0          |
| RG_187     | 187.0281                 | 187.0281           | 0          |
| RG_186.5   | 186.07                   | 186.07             | 0          |
| RD_188.5   | 188.5145                 | 188.5145           | 0          |
| RD_188.2   | 188.2169                 | 188.2169           | 0          |
| RD_188     | 187.8318                 | 187.8318           | 0          |
| RD_187.5   | 187.4161                 | 187.4161           | 0          |
| RD_187     | 186.986                  | 186.986            | 0          |
| RD_186.9   | 186.6674                 | 186.6674           | 0          |
| RD_186.7   | 186.5989                 | 186.5989           | 0          |
| RD_186.6   | 186.5335                 | 186.5335           | 0          |
| RD_186.5   | 186.5204                 | 186.5203           | -0.0001    |
| RG_187_b   | 186.9454                 | 186.9454           | 0          |
| RG_187_c   | 187.1344                 | 187.1344           | 0          |
| RG_186_a   | 185.8553                 | 185.8553           | 0          |
| RG_186_b   | 185.8748                 | 185.8747           | -0.0001    |
| RG_185.8_a | 185.8555                 | 185.8555           | 0          |
| RG_185.8_b | 185.8532                 | 185.8532           | 0          |
| RG_185.5_a | 185.4864                 | 185.4864           | 0          |
| RG_185.2_a | 185.3366                 | 185.3366           | 0          |
| RG_185.1_a | 185.3278                 | 185.3278           | 0          |
| RG_185_a   | 185.2672                 | 185.2672           | 0          |
| RG_184.5_a | 184.5766                 | 184.5766           | 0          |
| RD_184_a   | 184.3292                 | 184.3292           | 0          |
| RD_186_a   | 185.851                  | 185.851            | 0          |
| RD_185.8_a | 185.7115                 | 185.7115           | 0          |
| RG_185.8_c | 185.6985                 | 185.698            | -0.0005    |
| RD_186.6_b | 186.5373                 | 186.5373           | 0          |
| RD_186.6_c | 186.5337                 | 186.5337           | 0          |
| RD_186_b   | 185.9844                 | 185.9844           | 0          |
| RD_187.2_a | 187.0585                 | 187.0585           | 0          |
| RD_187.3_a | 187.1575                 | 187.1575           | 0          |
| RD_187.4_a | 187.2064                 | 187.2064           | 0          |
| RD_187.7_a | 187.631                  | 187.631            | 0          |
| RD_187.7_b | 187.6578                 | 187.6578           | 0          |
| RD_185.7_a | 185.6101                 | 185.6101           | 0          |
| RG_187.5_b | 187.4919                 | 187.4919           | 0          |
| RG_187.7_b | 187.7234                 | 187.7234           | 0          |
| RG_188_a   | 188.0315                 | 188.0315           | 0          |



## ANNEXE N°1 - LOCALISATION DES COMPENSATIONS DE VOLUMES DE DEBLAIS/REMBLAIS EN ZONE INONDABLE

La mise en place de bâtiments ou d'équipements techniques sur remblais en zone inondable pour des surfaces supérieures à 200 m<sup>2</sup> nécessite de démontrer, outre la transparence hydraulique, que les volumes soustraits à l'inondation par les remblais soient compensés, à l'identique (au même niveau de référence) et sur l'emprise de l'opération.

La cote prise comme référence pour les calculs est donnée par les documents du PPRI : 186.50 mNGF, c'est également, à la marge d'incertitude près, la cote maximale calculée par le modèle hydraulique exploité dans le cadre de la présente étude (186.52 m NGF).

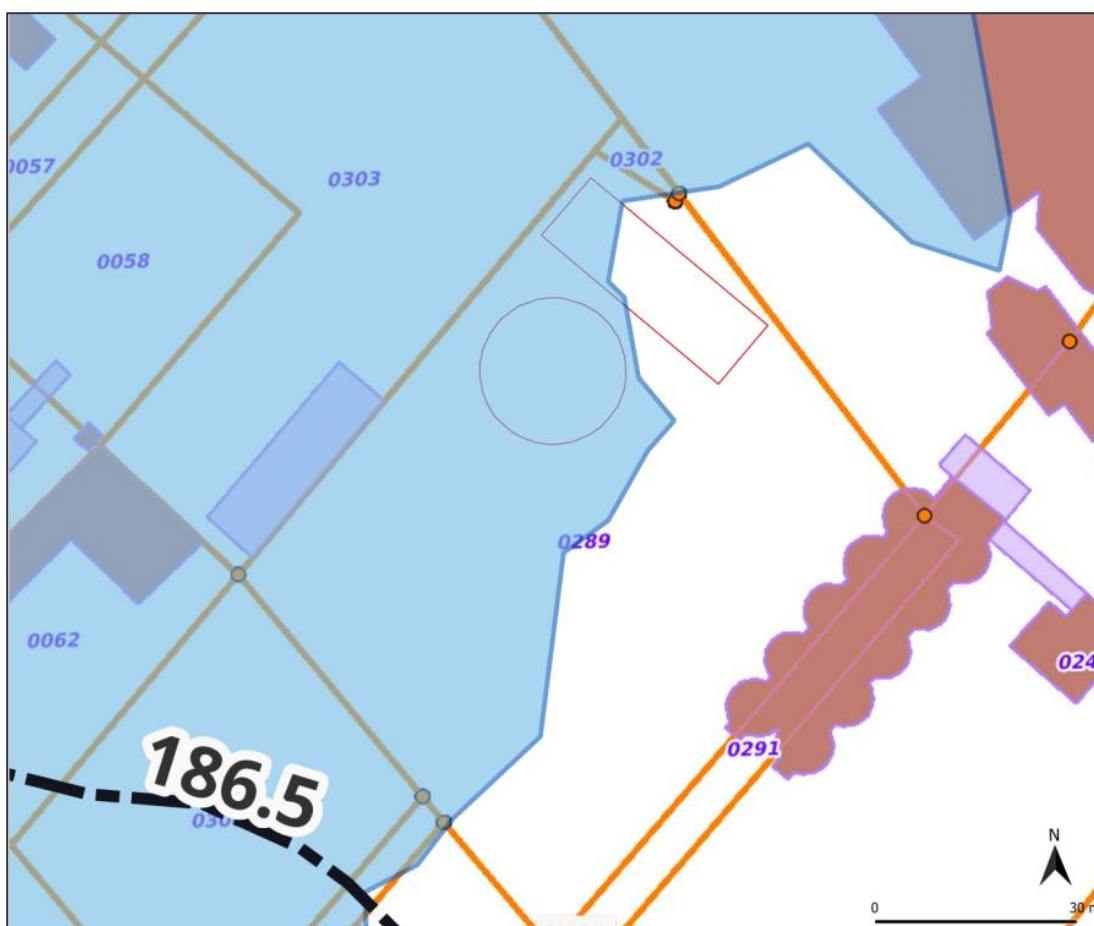
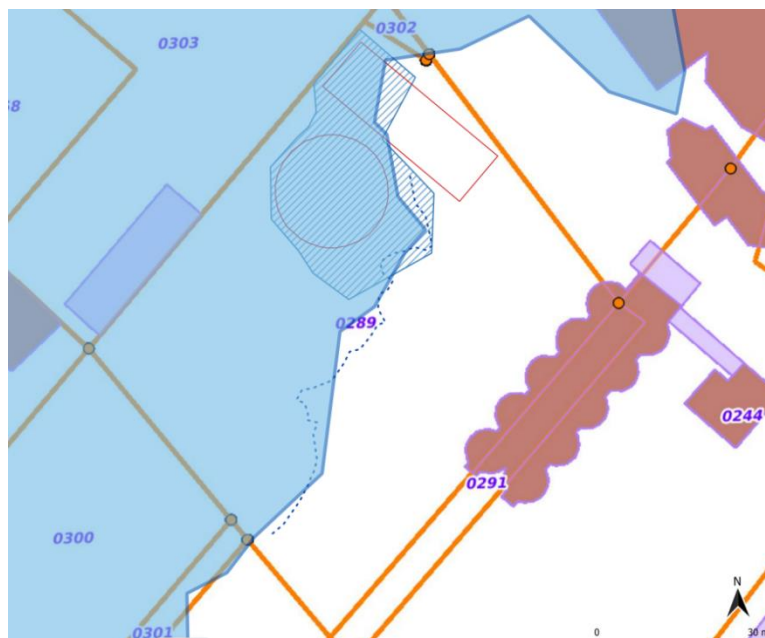


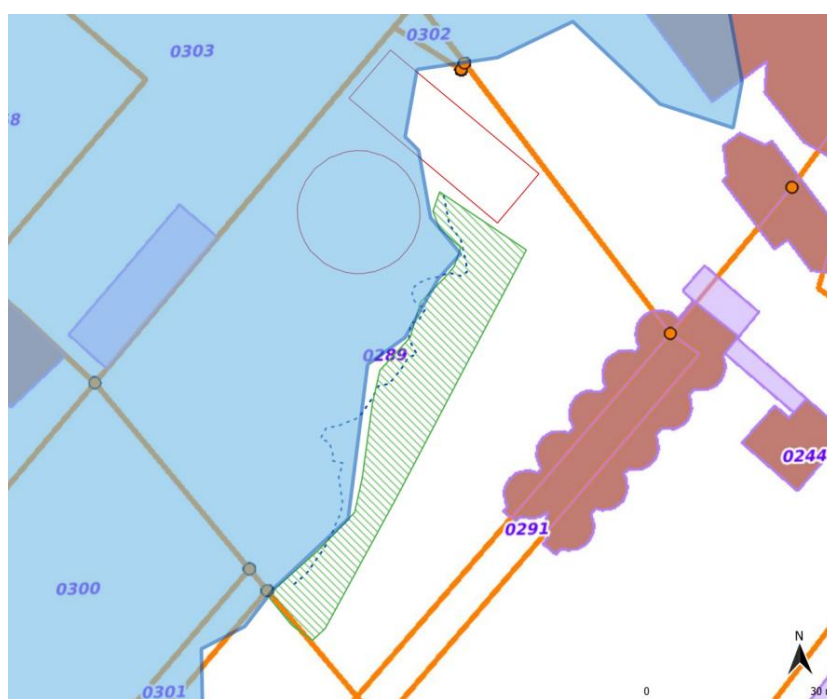
Figure 21 – cote de référence au droit des installations nécessitant une installation sur remblai

L'emprise de calcul (hachurée sur l'extrait ci-dessous) est évaluée à environ 790 m<sup>2</sup>, en prenant en compte les bâtiments ainsi qu'une marge de sécurité.



D'après les résultats de simulation, le volume soustrait à l'inondation est de l'ordre de  $80 \text{ m}^3$ , il est calculé en faisant la différence, sur l'emprise mise hors d'eau, entre les niveaux m NGF atteints par l'inondation (186.50 m NGF) et le modèle numérique de terrain disponible (LIDAR).

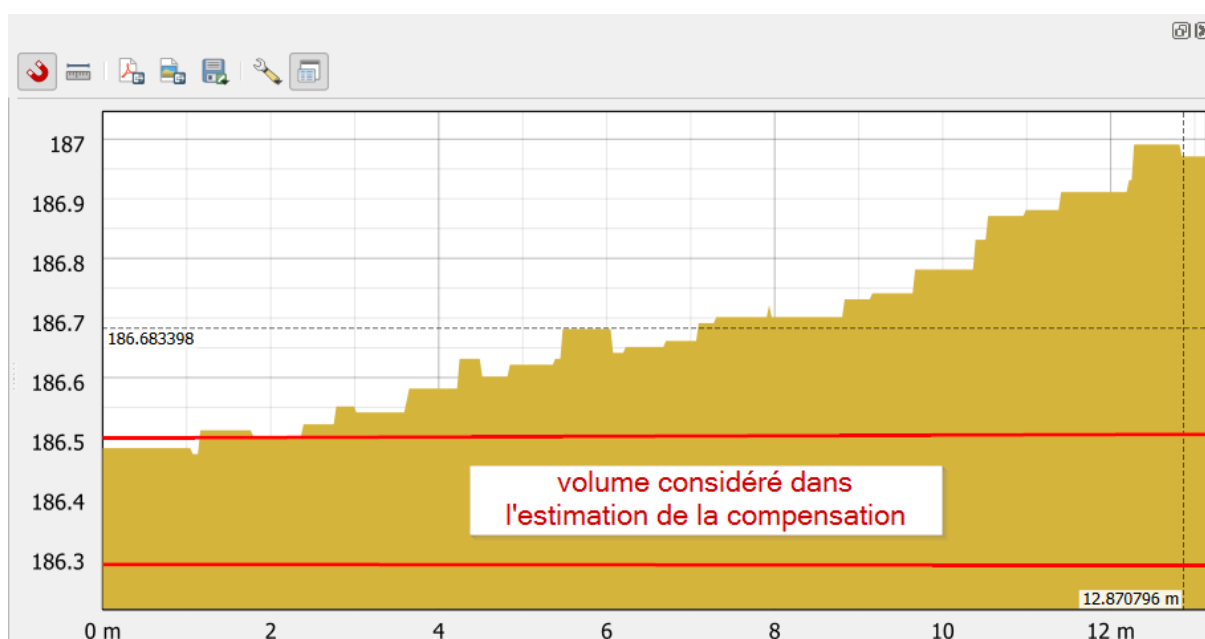
La surface de compensation suivante possible (hachures vertes) est identifiée à proximité des installations, elle n'est pas concernée, d'après les plans du projet, par l'aménagement de nouvelles installations.



Sur cette zone, d'une superficie de l'ordre de  $810 \text{ m}^2$ , les altitudes sont situées, d'après la donnée LIDAR, entre 186.39 et 187.08 m NGF. Afin d'équilibrer le volume de  $80 \text{ m}^3$  de remblai évalué plus haut, il serait nécessaire sur cette emprise de décaisser le terrain entre la cote 186.35 m NGF et la cote 186.30 m NGF, pour disposer respectivement d'environ 75 à  $150 \text{ m}^3$  de déblais de compensation,

obtenus au même niveau que le volume soustrait à l'inondation par l'installation des deux équipements en remblai. Cette fourchette de décaissement à mettre en œuvre générerait un volume total de matériaux à déplacer compris entre 230 et 270 m<sup>3</sup>. Ces calculs se basent sur la donnée LIDAR disponible sur le secteur. A noter qu'une superficie plus importante peut être exploitée pour la compensation selon les disponibilités dans le secteur, afin de permettre un décaissement plus faible, sous réserve de décaisser sous la cote de référence de 186.5 m NGF.

La figure ci-dessous illustre le principe de calcul sur une section de la zone de compensation.



## ANNEXE N°2 -PRESENTATION DU LOGICIEL TUFLOW

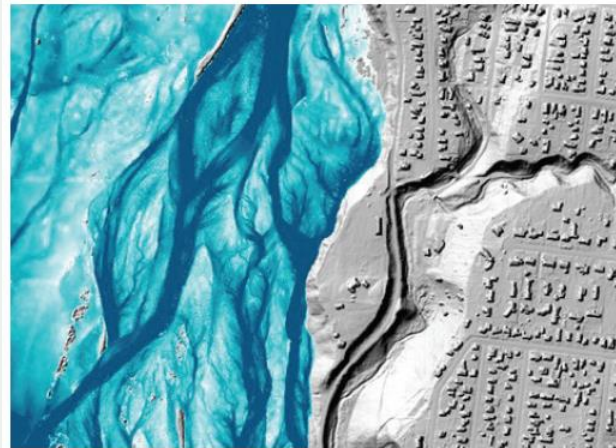
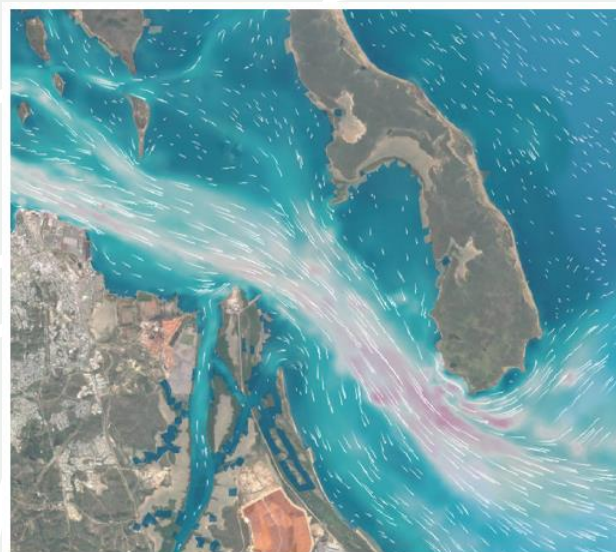
---

# TUFLOW

Arnaud Koch  
TUFLOW - Distributeur Francophone



SURFACE LIBRE



# TUFLOW Classic/HPC

## Une solution de modélisation intégrée 1D/2D complète

Un moteur de calcul 1D complet :

- 1D fluvial
- 1D conduites

Un modèle 2D stable et performant :

- Optimisation GPU (carte graphique)
- Un maillage optimisé :
  - Affinage des mailles « Quadtree »
  - Topographie infra mailles (Sub Grid Sampling)

**Pas de limite de nombre de nœuds/conduites  
1D ou d'éléments 2D dans la licence**



# TUFLOW Classic/HPC

## Une solution 1D complète rivière / conduites

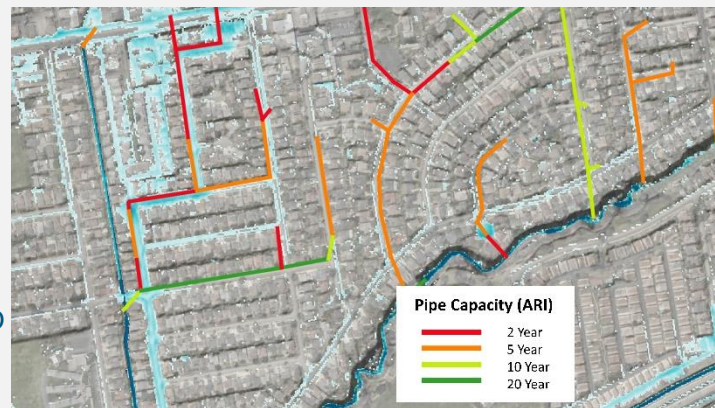
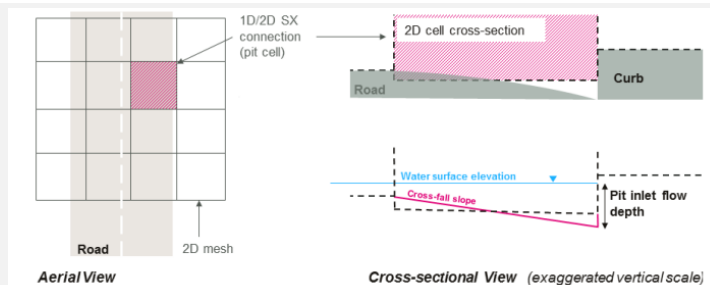
Résolution complète des équations de Barré de St Venant  
1D (inertie incluse)

### Une large palette de structures hydrauliques

- Ponts; plusieurs types de seuils; conduits circulaires, rectangulaires, fossés,
- Ouvrages hydrauliques (seuils et déversoirs fermés, écluses, stations de pompage)
- Ouvrages pilotés
- **Ajustement automatique des pertes de charge à chaque pas de temps selon les vitesses d'entrée et de sortie**

### Réseaux d'assainissement & eaux pluviales

- Réseaux simples et complexes
- Différentes options pour la représentation des avaloirs et l'engouffrement 2D/1D
- Plusieurs méthodes de calcul des pertes de charge de regards, dont **Engelund avec les coefficients recalculés à chaque pas de temps**

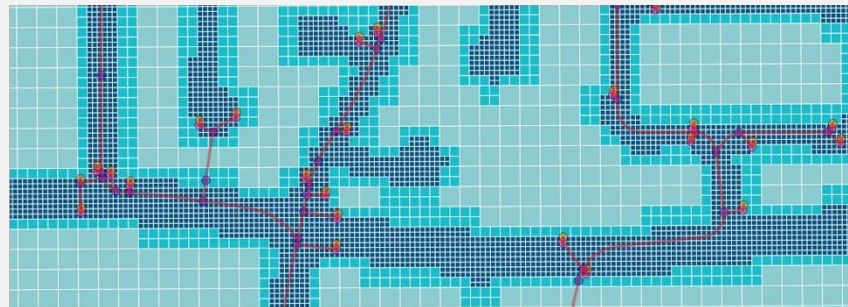


# TUFLOW Classic/HPC

## Une reference sur le couplage 1D/2D

### Le couplage 1D/2D TUFLOW

- Fluvial et/ou réseau
- Facile et pratique à mettre en place
- Extrêmement stable
- Préservation de la quantité de mouvement au couplage
- Le seul logiciel à ajuster les pertes de charge basées sur les vitesses d'entrée et de sorties 2D aux structures (fonctionnalité beta en 2020)
- Résultats 1D et 2D affichés simultanément

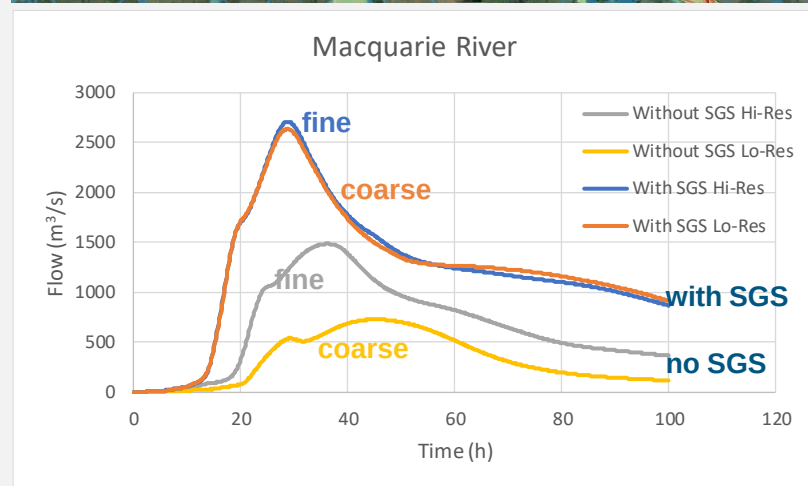
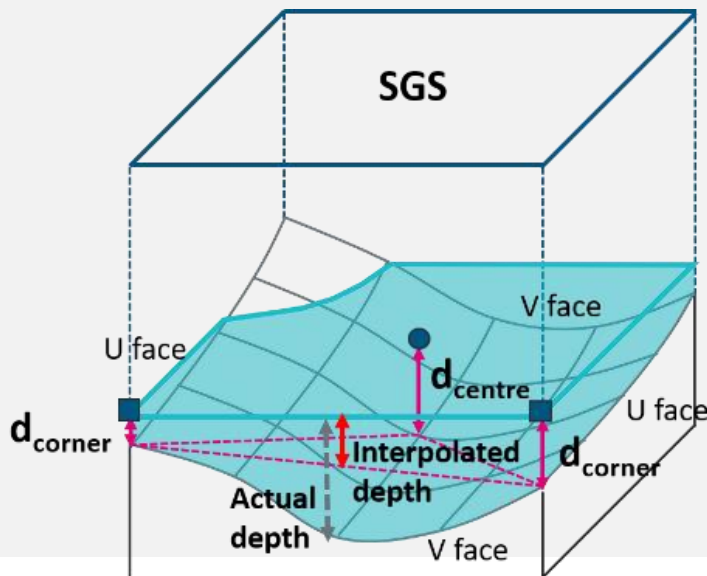


# TUFLOW Classic/HPC

## 2D Topographie infra mailles : Sub-Grid Sampling (SGS)

Modéliser avec précision, même avec des cellules plus larges :

- Prise en compte des détails à l'échelle infra mailles, en topographie (version 2020) et en Manning également (2021)

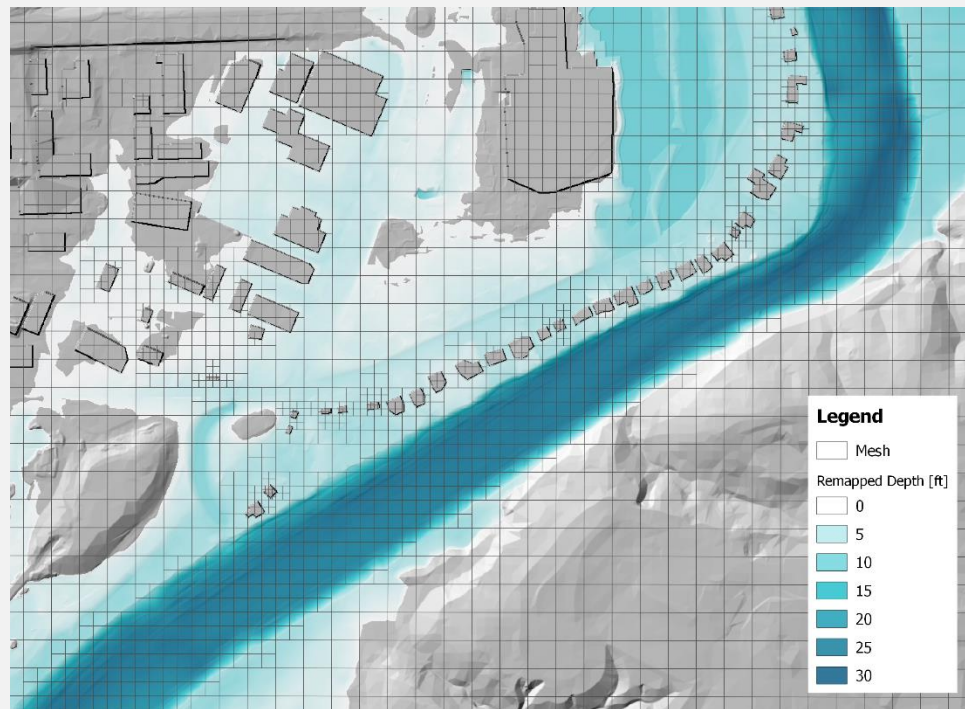


# TUFLOW Classic/HPC

## Topographie “infra mailles : Sub-Grid Sampling (SGS)”

### Nouveauté pour 2021

- Sous échantillonnage des résultats en cohérence avec l'échantillonnage SGS pour des résultats hydrauliques à une définition plus fine que la grille de calcul.
- La finesse des résultats est définie dans le fichier de configuration ou gérée en post traitement via les utilitaires fournis.



# TUFLOW Classic/HPC

## 2D : le maillage Quadtree\*

**TUFLOW Classic est basé sur une grille à mailles carrées**

**Version 2020 : affinage optimisé de la grille par subdivision des cellules (approche Quadtree\*)**

- Variation aisée de la grille fixe de résolution
- Conversion d'une à quatre cellules, etc.
- Configuration en quelques minutes
- Combinaison de Quadtree et SGS très puissante pour obtenir le meilleur compromis temps de calcul/précision

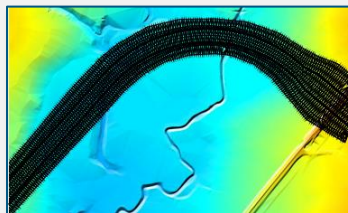


\* Option de licence spécifique

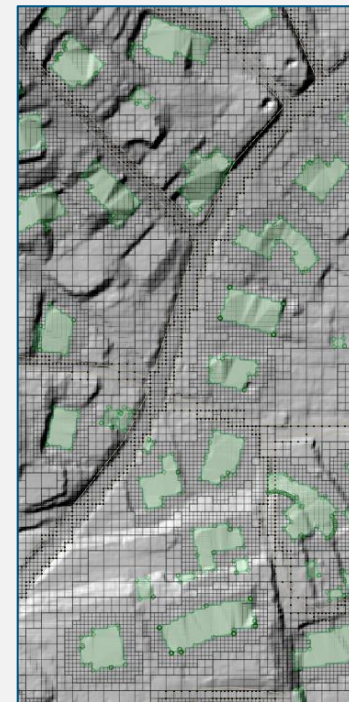
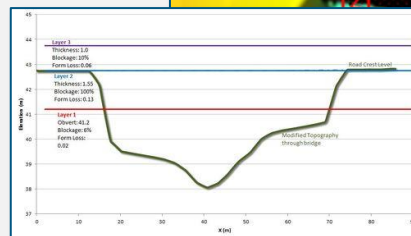
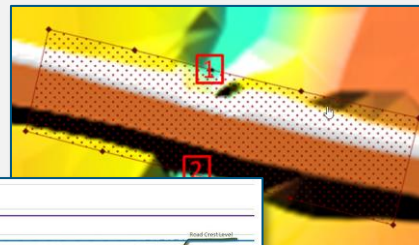
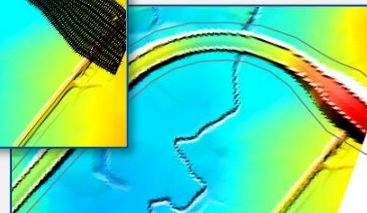
# TUFLOW Classic/HPC

## 2D : de nombreuses possibilités de façonnage des maillages

- ✓ Différenciation de la rugosité en fonction de l'occupation des sols avec prise en charge de couches SIG complexes
- ✓ Prise en compte de vides
- ✓ Prise en compte de modifications d'altimétrie :
  - ✓ Ponctuelles
  - ✓ Linéaires
  - ✓ Surfiques via notamment des TIN 3D
- ✓ **Modifications complexes** : porosité, réduction de volume dans les cellules, ponts 2D complets avec blocages différenciés en fonction de la hauteur (tablier plein, parapet ajouré, etc...).



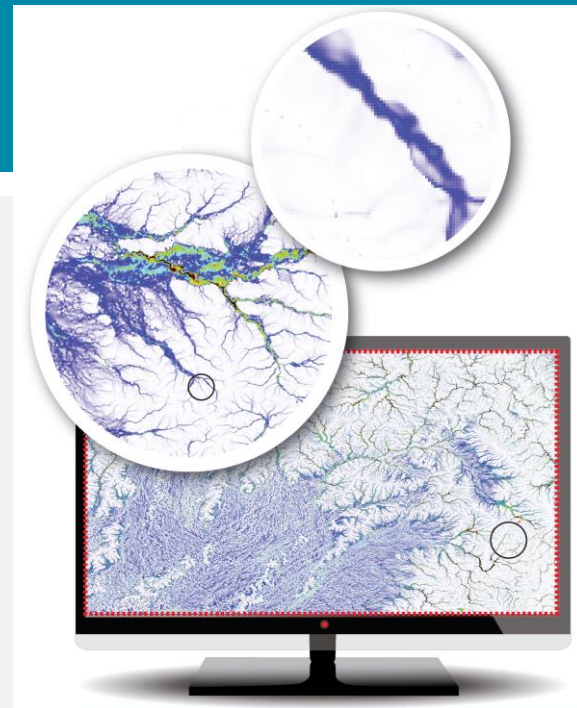
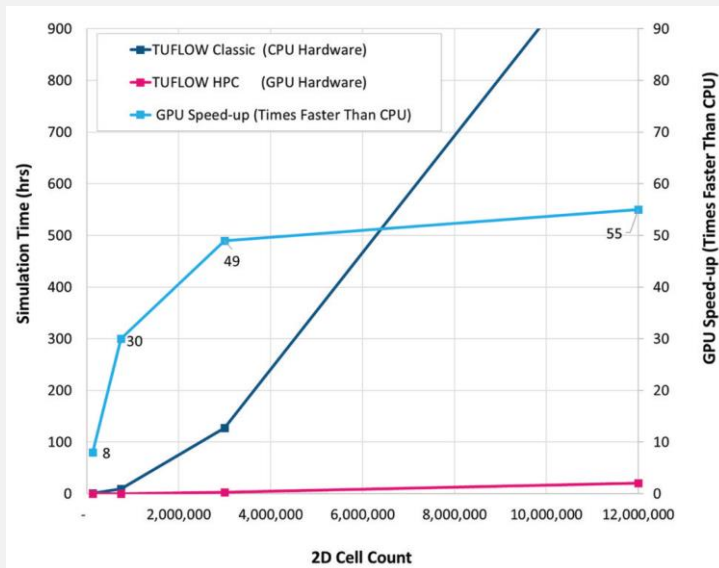
Modification Z via un TIN



# TUFLOW Classic/HPC

## 2D : Rapidité et efficacité

- Des modèles construits avec + de 100 millions de cellules
- Bientôt 1 milliard !



# TUFLOW Classic/HPC

## un focus sur la precision

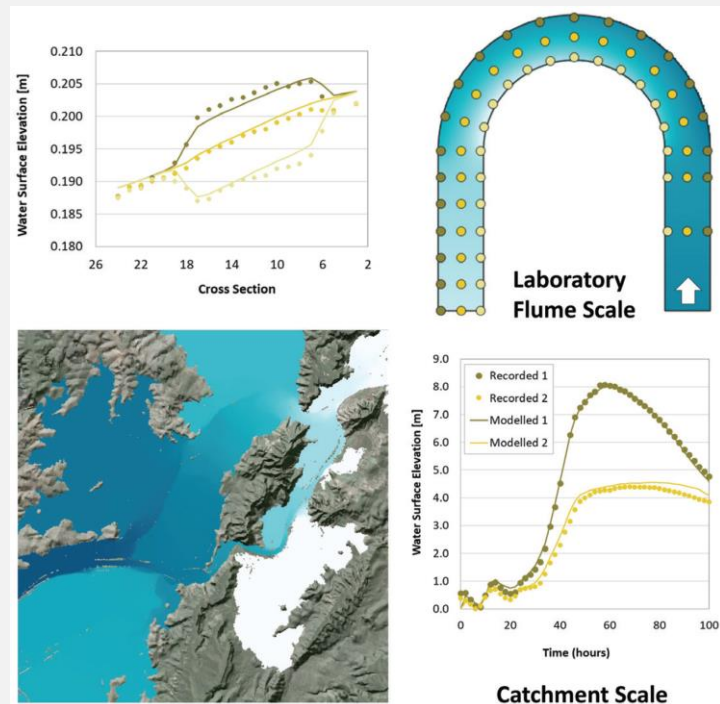
### Solveur 2D parallélisé sur GPU\* ou CPU

- Excellents résultats de convergence pour différentes tailles de cellules
- **Les profondeurs peuvent être  $\gg$  à la taille des cellules**
- Résoud TOUS les termes des équations (gravité, inertie, turbulence, résistance, etc)

### Nombreux benchmarks, à tout type d'échelle :

- Physique théorique
- Mesures de canal
- Étalonnages en conditions réelles

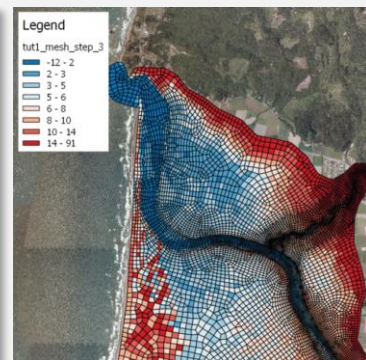
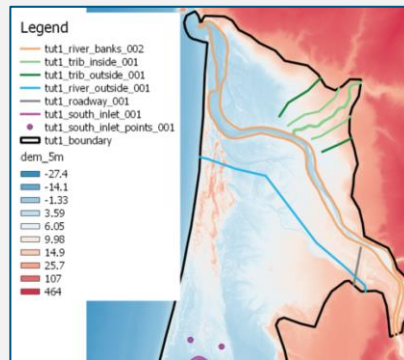
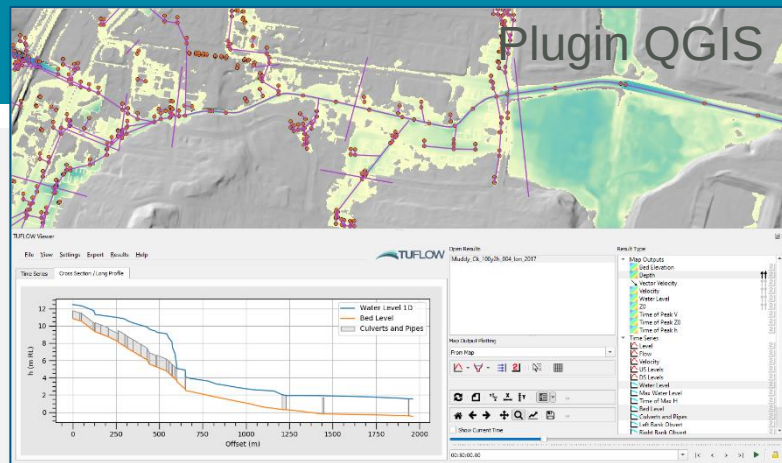
\* Option de licence spécifique



# La philosophie TUFLOW

## Efficience

- Modèles basés sur des couches SIG (shp ou geopackage) et des fichiers textes
  - pas d'effet de verrou dans un outil spécifique
- Intégration dans la majorité des outils SIG
  - QGIS, ArcGIS, (MapInfo)
- Facilement scriptable (e.g. python)
- **Un plugin QGIS gratuit** comme point central de votre process de modélisation :
  - Préparation des couches
  - Post traitement, visualisation des résultats 1D et 2D
- **La construction des modèles et la consultation des résultats ne nécessite pas de licence**
- Compatibilité avec des interfaces externes
  - 12D, Flood Modeller, GIS Mesher, SMS, waterRIDE, XP-2D



# TUFLOW Classic/HPC

## Efficiency of the modelling process

### ✓ Gestion des configurations géométriques par “couches” successives :

- ✓ Optimise la construction du modèle
- ✓ Permet une grande souplesse dans la gestion des scenarios à tester, exemple :
  - ✓ Une couche SIG décrit les tronçons de conduit en situation actuelle
  - ✓ Une couche SIG reprenant seulement les tronçons modifiés (diameter, matériaux, etc...) est lue ensuite, elle vient modifier localement le modèle dans un scenario alternatif à tester.

### ✓ Prise en compte facilitée des scenarios :

- ✓ Hydrologiques
- ✓ Géométriques
- ✓ Possibilités de scripting facilities pour automatiser les runs
  - ✓ Voir l'article suivant : [2021\\_12-scenarios-events-and-variables](#)

```
! définition des cellules actives dans le modele  
  
Set Code == 0 ! Sets all cells to inactive  
  
Read GIS Code == gis\2d_code_actif.shp ! lecture d'un premier jeu de polygones  
définissant les zones actives du maillage  
Read GIS Code == gis\2d_code_bati.shp ! lecture d'un deuxième jeu de polygones  
désactivant les cellules (code =0)
```

### ✓ Lancement des runs :

- ✓ Via le plugin Qgis
- ✓ Via l'éditeur de texte
- ✓ En ligne de commande pour scripter l'ensemble (utilisation possible de “wildcards” pour lancer des simulations par lots très facilement.

# TUFLOW Classic/HPC

## High Performance Computing

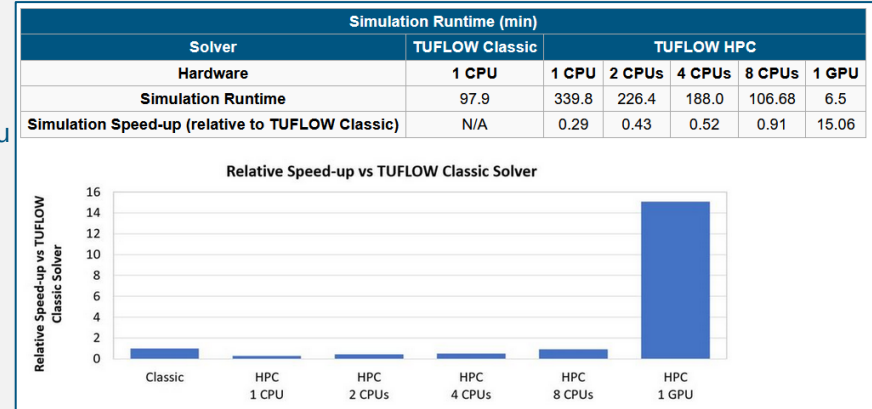
### ✓ Parallélisation massive sur :

- ✓ CPU (processeur) multicoeur
- ✓ GPU : cartes graphiques compatibles CUDA Nvidia, avec support du multi-GPU
  - des modèles sont disponibles pour tester votre hardware, sans nécessiter de licence TUFLOW pour tourner.
  - Visitez la page : [Tuflow Benchmarking](#)

### ✓ Desktop

### ✓ Cloud

- ✓ Avec le service dédié Cloud Simulation Service fourni par BMT
- ✓ Avec le service FloodCloud
- ✓ Sur votre propre infrastructure Cloud sous réserve de disposer d'une licence réseau



# TUFLOW Classic/HPC

## des options de licences flexibles

### ✓ **Format :**

- ✓ Acquisition
- ✓ Location annuelle
- ✓ Location mensuelle

### ✓ **Support :**

- ✓ Clef physique
- ✓ Clef logicielle (dédiée à une machine)
- ✓ Licence reseau

- ✓ **Pas de limitation de taille de modèle** (autre que les capacités de votre infrastructure)

### ✓ **Une licence nécessaire seulement pour le moteur de calcul pendant les simulations :**

- ✓ Pas de frais associés à la construction des modèles
- ✓ Les resultats peuvent être librement consultés, via notamment le plugin QGIS, sans licence

### ✓ **Des options souples pour n'utiliser que ce qui est nécessaire, par exemple :**

- ✓ Licence de base +
  - ✓ Option **GPU** pour du calcul 2D performant
  - ✓ Option **Quadtree** pour optimiser les maillages

# TUFLOW Classic/HPC Formation / montée en compétence

- ✓ Des Tutoriels gratuits accessibles [ici](#)
- ✓ Une plateforme e-learning, avec un partie gratuite et certains modules payants (tarifs : nous consulter)
- ✓ Des sessions de formation online organisées par l'éditeur BMT (tarifs : nous consulter)
- ✓ Des sessions personnalisées, organisées soit avec l'éditeur BMT soit avec Surface Libre, qui est organisme de formation\*, soit une combinaison des deux.

+ une base documentaire très fournie : manuels, wiki, articles de blog et webinaires disponibles sur la chaine YouTube de TUFLOW et sur le site de l'Australian Water School.

\*SURFACE LIBRE est prestataire de formation enregistré sous le numéro 84691479469. (Cet enregistrement ne vaut pas agrément de l'Etat).




## TUFLOW Wiki Homepage

This Wiki contains information relating to the flood and coastal simulation software TUFLOW Classic and TUFLOW HPC (Heavily Parallelised Compute). It is designed to be used in conjunction with the TUFLOW Manual and Website.

### TUFLOW Set-up and use

- TUFLOW
  - How to install TUFLOW
  - How to configure a licence
  - How to build a TUFLOW model (tutorial)
  - How to run a TUFLOW model
  - Free pre/post-processing utilities
  - Result Viewing - TUFLOW Viewer
- TUFLOW Benchmarks
  - TUFLOW Solution Accuracy Benchmarks
  - Computer Hardware Speed Benchmarks
- Best Practice Guidance
  - Webinar Recordings
  - TUFLOW Modelling Guidance

### HPC Tutorial Models

- Tutorial Model Introduction
- Module 1 - 3D Base Model
- Module 2 - Topography Updates
- Module 3 - 1D Culverts
- Module 4 - 2D Bridges
- Module 5 - Integrated Urban Drainage
- Module 6 - Direct Rainfall
- Module 7 - Quadtree
- Module 8 - Scenario Management
- Module 9 - Event Management
- Module 10 - Dam Break
- Module 11 - 1D Open Channel

**NEW for 2022**

- Flood Modeller Introduction
- FM Module 1 (Linking Flood Modeller to TUFLOW)
- FM Module 2 (Linking Flood Modeller to ESTRY)

### TUFLOW Troubleshooting

Error/Warning Message Database

- About This Database
- xxxx TUFLOW Messages
- xxxx TUFLOW Messages
- xxxx TUFLOW Messages
- xxxx TUFLOW Messages
- xxxx TUFLOW Messages

- TUFLOW Check Files
- Support@tuflow.com

| Webinar Title                                                                | Date             | Time   |
|------------------------------------------------------------------------------|------------------|--------|
| <a href="#">Urban Pipe Network modelling</a>                                 | Wednesday 16 Feb | 1:00pm |
| <a href="#">3D Coastal Modelling 101</a>                                     | Wednesday 16 Mar | 1:00pm |
| <a href="#">Operational Structure Modelling using TUFLOW</a>                 | Wednesday 13 Apr | 1:00pm |
| <a href="#">Coastal Water Quality Modelling 101</a>                          | Wednesday 18 May | 1:00pm |
| <a href="#">Theory vs practice – the challenges of flood risk management</a> | Wednesday 15 Jun | 1:00pm |
| <a href="#">Applied Hydrodynamic Modelling – Part 1</a>                      | Wednesday 20 Jul | 1:00pm |
| <a href="#">Applied Hydrodynamic Modelling – Part 2</a>                      | Wednesday 21 Sep | 1:00pm |
| <a href="#">Flood Modelling Quality Control</a>                              | Wednesday 19 Oct | 1:00pm |
| <a href="#">1D, 2D and 3D Hydraulic Modelling of Bridges</a>                 | Wednesday 16 Nov | 1:00pm |



<https://awschool.com.au/tufLOW-sponsored-webinars-2022/>

# TUFLOW

Arnaud Koch

TUFLOW - distributeur francophone

[Arnaud.Koch@surfacelibre.fr](mailto:Arnaud.Koch@surfacelibre.fr)

+336 63 00 94 98

[www.surfacelibre.fr](http://www.surfacelibre.fr)

N'hésitez pas à nous contacter pour  
une démonstration



SURFACE LIBRE

