



09/2023
23NHF014

CONSULTING

Evaluation des impacts hydrauliques pour le projet
d'installation de panneaux photovoltaïques flottants
à Bitry

Etude des impacts hydrauliques

Sommaire

1.....	Contexte et objectifs de l'étude.....	4
2.....	Présentation du projet	6
3.....	Données disponibles de l'état actuel	13
3.1	Données topographiques	13
3.2	Données d'occupations des sols disponibles et définition de la rugosité.....	14
3.3	Données hydrologiques	16
4.....	Modélisation hydraulique sous MIKE 2D	17
4.1	Présentation du logiciel	17
4.2	Maillage du modèle.....	17
4.3	Calage du modèle	19
5.....	Fonctionnement hydraulique en état actuel	21
5.1	Cotes maximales atteintes.....	22
5.2	Hauteurs d'eau maximales atteintes.....	23
5.3	Vitesses maximales atteintes	25
6.....	Fonctionnement hydraulique en état aménagé.....	30
6.1	Modifications apportées au modèle pour la prise en compte du projet	30
6.2	Cotes maximales atteintes.....	32
6.3	Hauteurs d'eau maximales atteintes.....	33
6.4	Différence de hauteurs d'eau maximales atteintes	35
6.5	Vitesses maximales atteintes	37
6.6	Différence de vitesses maximales atteintes	41
6.7	Différence des résultats entre les simulations avec postes sur pilotis et remblayés.....	43
6.8	Bilan surfacique et volumique.....	44
7.....	Conclusion	45

Table des illustrations

Figure 1 : Localisation du projet	4
Figure 2 : Illustration des flotteurs	6
Figure 3 : Localisation des îlots de panneaux photovoltaïques flottants	7
Figure 4 : Illustration des ancrages	8
Figure 5 : Illustration de l'emplacement des ancrages	8
Figure 6 : Localisation des ancrages des îlots	9
Figure 7 : Localisation des postes de transformation et du poste de livraison	10
Figure 8 : Localisation des clôtures autour du projet	11
Figure 9 : Localisation des mouvements de terres dans le cadre du projet	12
Figure 10 : Date des données topographiques utilisées pour reconstituer la bathymétrie des plans d'eau	13
Figure 11 : MNT en état initial au droit du site	14
Figure 12 : Occupation du sol sur l'emprise modélisée	15
Figure 13 : Equivalence en coefficients de Strickler de l'occupation des sols	15
Figure 14 : Hydrogramme de la crue de 1866	16
Figure 15 : Maillage du modèle avec un zoom au droit du projet	18
Figure 16 : Condition limite à l'aval de la zone d'étude : Loi cote-débit	19
Figure 17 : Comparaison de l'emprise de la crue de référence modélisée avec celle issue du PPRI	20
Figure 18 : Cotes maximales atteintes en état actuel lors d'une crue centennale	22
Figure 19 : Hauteurs d'eau maximales atteintes en état actuel lors d'une crue centennale	23
Figure 20 : Hauteurs d'eau maximales atteintes uniquement dues à l'inondation en état actuel lors d'une crue centennale	24
Figure 21 : Vitesses maximales atteintes en état actuel lors d'une crue centennale sur l'ensemble de la zone modélisée	25
Figure 22 : Vitesses maximales atteintes en état actuel lors d'une crue centennale au droit du projet	26
Figure 23 : Limnigramme et chronogramme en état actuel lors d'une crue centennale au droit du coin sud-Est du plan d'eau Ouest	27
Figure 24 : Zoom sur le pic du chronogramme en état actuel lors d'une crue centennale au droit du coin sud-Est du plan d'eau Ouest	27
Figure 25 : Vitesses atteintes en état actuel lors du pic d'une crue centennale au droit du projet	28
Figure 26 : Direction des vitesses en état actuel lors du pic d'une crue centennale au droit du projet	29
Figure 27 : Cotes maximales atteintes en état projet lors d'une crue centennale	32
Figure 28 : Hauteurs d'eau maximales atteintes en état projet lors d'une crue centennale	33
Figure 29 : Hauteurs d'eau maximales atteintes uniquement dues à l'inondation en état projet lors d'une crue centennale	34
Figure 30 : Différence de hauteurs d'eau maximales atteintes entre l'état projet et l'état initial lors d'une crue centennale sur l'ensemble de la zone modélisée	35
Figure 31 : Différence de hauteurs d'eau maximales atteintes entre l'état projet et l'état initial lors d'une crue centennale au droit du projet	36
Figure 32 : Vitesses maximales atteintes en état projet lors d'une crue centennale sur l'ensemble de la zone modélisée	37
Figure 33 : Vitesses maximales atteintes en état projet lors d'une crue centennale au droit du projet	38
Figure 34 : Vitesses atteintes en état projet lors du pic d'une crue centennale au droit du projet	39
Figure 35 : Direction des vitesses en état projet lors du pic d'une crue centennale au droit du projet	40
Figure 36 : Différence de vitesses maximales atteintes entre l'état projet et l'état initial lors d'une crue centennale sur l'ensemble de la zone modélisée	41
Figure 37 : Différence de hauteurs d'eau maximales atteintes entre l'état projet et l'état initial lors d'une crue centennale au droit du projet	42
Figure 38 : Différence de vitesses maximales atteintes (en haut) et de hauteurs d'eau (en bas) entre l'état projet avec postes sur pilotis (à gauche) ou avec postes sur remblai (à droite) et l'état initial lors d'une crue centennale au droit du projet	43

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

Un projet d'installation de panneaux photovoltaïques flottant est porté par l'entreprise Luxel sur les communes de Bitry et d'Attichy (60).

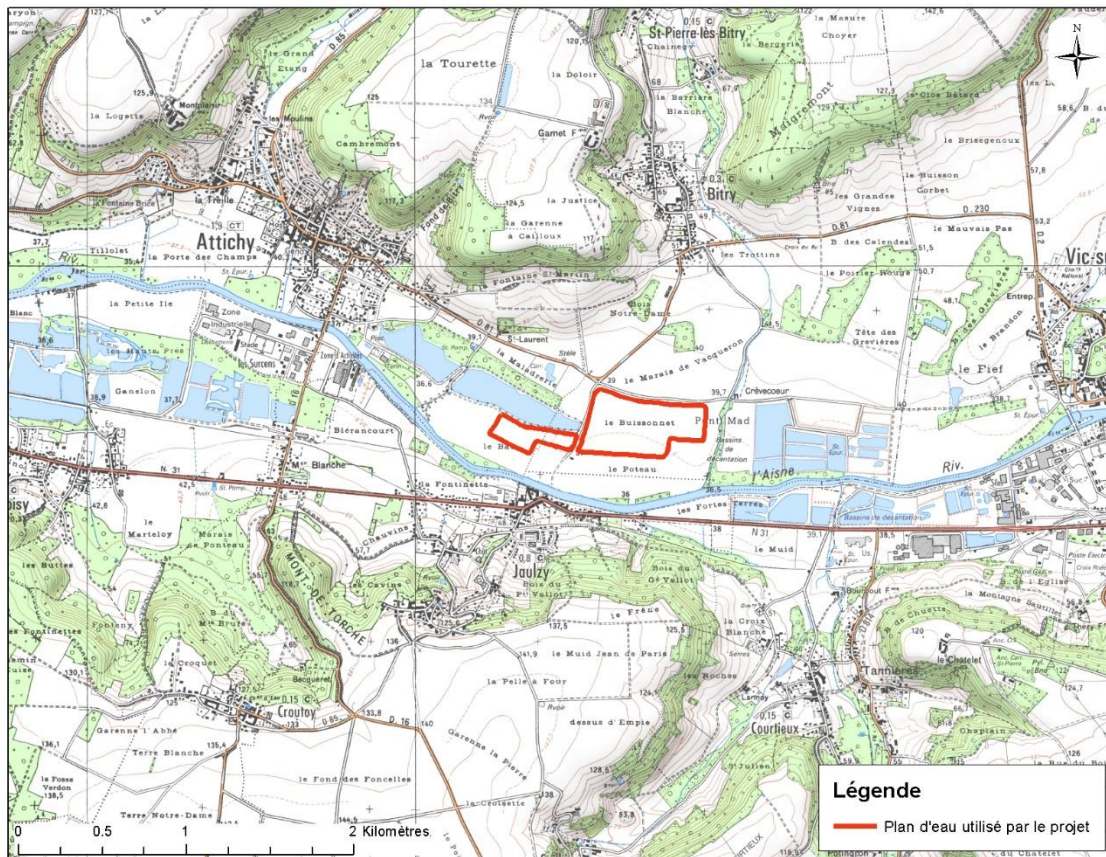


Figure 1 : Localisation du projet

Etant situé dans un secteur à une distance comprise entre 120 m et 650 m du cours d'eau de l'Aisne et à 80m du Ru de Bitry, le projet est partiellement en zone inondable.

Les communes de Bitry et d'Attichy sont soumises au Plan de Prévention des Risques d'Inondation (PPRI) de l'Oise et de l'Aisne à l'amont de Compiègne.

L'objectif de la présente étude est ainsi de confirmer ou non la faisabilité du projet au regard de la réglementation en vigueur.

La seconde phase de cette mission consiste en la **quantification des impacts d'un point de vue hydraulique**. Deux aspects sont observés :

- L'aspect **dynamique** avec **l'analyse des écoulements**
- L'aspect **statique** avec **le bilan surfacique et volumique**.

L'analyse des écoulements s'intéresse à quantifier les impacts éventuels du projet sur les vitesses et les hauteurs d'eau atteintes pour les crues de l'Aisne mais également de comparer l'enveloppe de la zone. En effet, pour répondre à la transparence hydraulique, un impact nul doit être observé sur ces 3 critères. Pour quantifier l'impact hydraulique, une modélisation hydraulique

est utilisée. Des simulations pour la crue de référence du PPRI sont réalisées pour l'état initial du projet (c'est-à-dire l'état actuel) et l'état aménagé. La comparaison des résultats entre l'état aménagé et l'état initial permet de déterminer la présence ou non d'un impact sur la hauteur d'eau maximale atteinte, la vitesse maximale atteinte et l'emprise de la zone inondée pour la crue de référence.

Le bilan surfacique et volumique s'intéresse à quantifier les surfaces et les volumes disponibles pour l'expansion de la crue de référence par tranche altimétrique de 50 cm, en état initial et en état aménagé.

En cas d'impact observé lors du bilan surfacique et volumique et/ou de l'analyse des écoulements, des mesures doivent être mises en place pour permettre la transparence du projet c'est-à-dire l'évitement et/ou la suppression ou a minima la réduction maximale des impacts observés.

2. PRESENTATION DU PROJET

Le projet est un **parc solaire constitué de panneaux photovoltaïques flottants**. Chaque panneau est fixé à un **module flottant**. Les modules sont liés entre eux pour former une structure souple **s'adaptant au mouvement des vagues**.

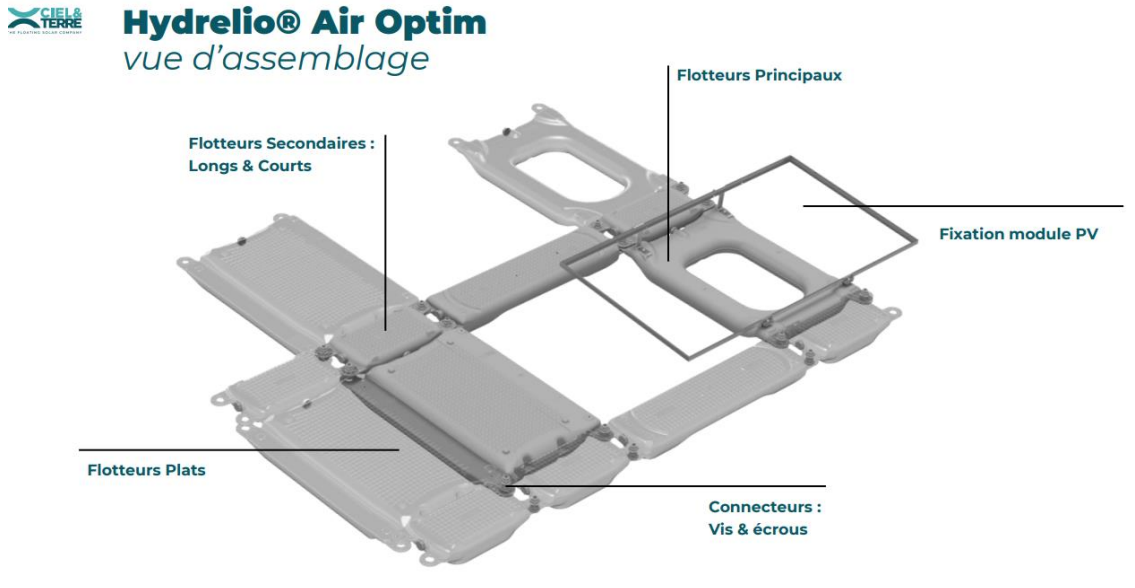


Figure 2 : Illustration des flotteurs

6 ilots répartis sur **deux gravières** sont prévus dans le cadre du projet comme le montre le plan ci-dessous.

Anchoring & Mooring **basic assembly scheme*

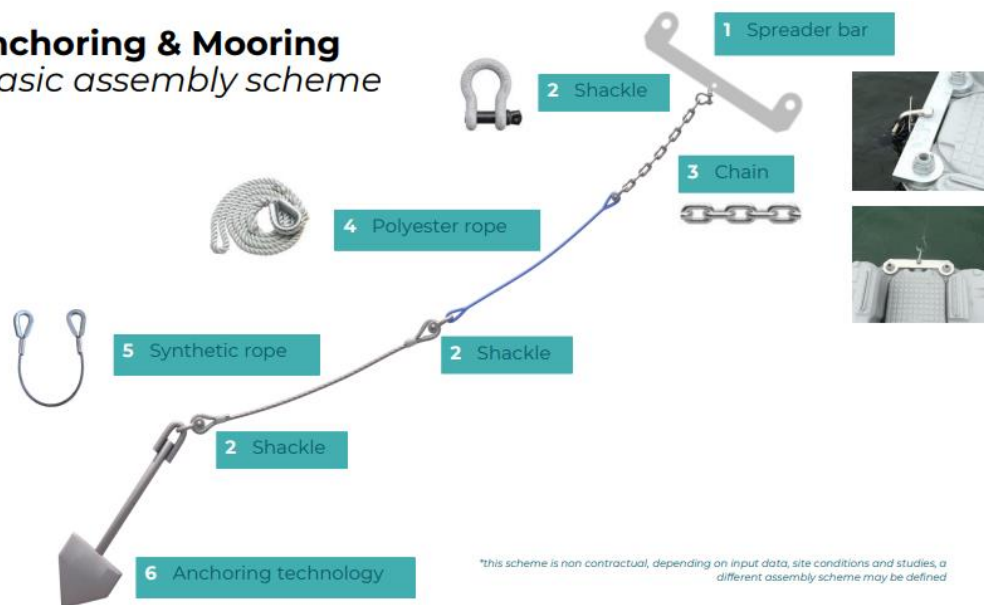


Figure 4 : Illustration des ancrages

L'emplacement des ancrages dans le cadre du présent projet peuvent être :

- **sur la berge** (il y a la possibilité que les ancrages « en berges » soient dans l'eau à quelques dizaines de centimètres du bord comme à l'opposé le plus éloigné de la limite du niveau d'eau de la gravière),
- **au fond** de la gravière (pour les parties d'ilots loin des berges).

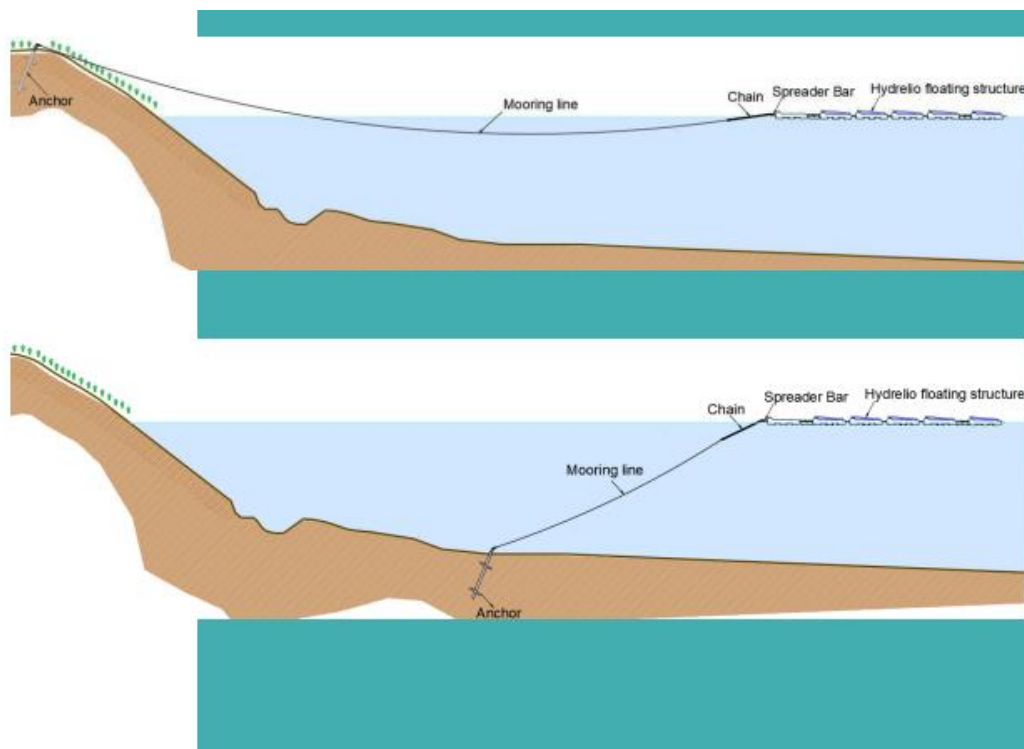


Figure 5 : Illustration de l'emplacement des ancrages

Le positionnement des ancrages est présenté sur la carte ci-dessous.



Figure 6 : Localisation des ancrages des ilots

Afin de récupérer l'énergie produite par les panneaux photovoltaïques, des **onduleurs sont décentralisés** sur les structures flottantes entre les rangées de modules. Ils sont reliés par des **câbles sur flotteurs à 8 postes de transformations** eux-mêmes reliés par des **câbles enterrés à un poste de transformation**.

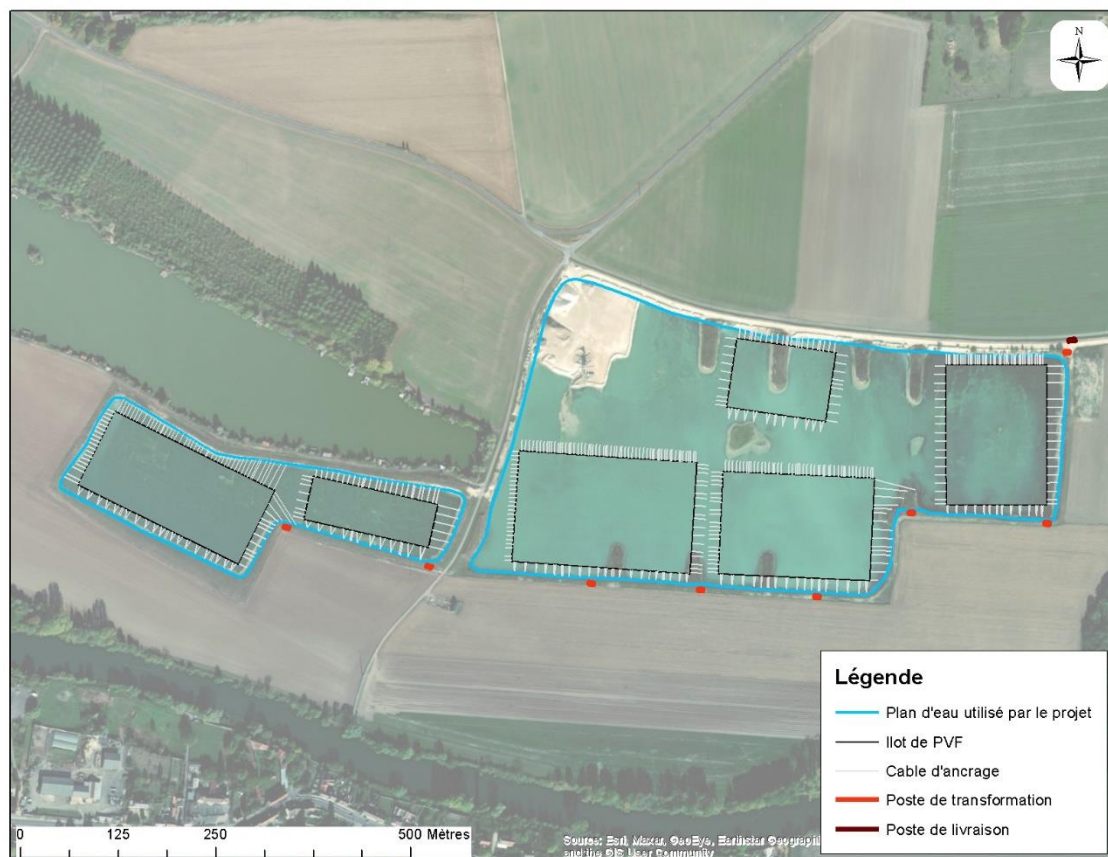


Figure 7 : Localisation des postes de transformation et du poste de livraison

Afin de limiter l'emprise au sol des postes, ces derniers seront, dans la mesure du possible, mis **sur pilotis et positionnés de manière parallèle à la direction des écoulements** (la longueur du bâtiment dans le sens de la crue) afin de réduire au maximum la surface pouvant faire obstacle aux écoulements.

Le site sera **entouré par une clôture**. La clôture sera en acier galvanisé avec des mailles plastifiées (couleur vert foncé, RAL 6011 ou équivalent) afin de **l'intégrer au mieux dans l'environnement**. De plus, la galvanisation et la plastification permettent de **prévenir la formation de la rouille**. Les **mailles de la clôture mesureront 110 x 110 mm** afin que la **clôture soit transparente sur le plan hydraulique et limite la rétention des embâcles**. Les piquets de fixation de la clôture seront ancrés dans le sol par des **soubassements bétonnés**.

La clôture sera implantée au plus proche du chemin communal et au plus loin de berges afin de préserver leurs intégrités.

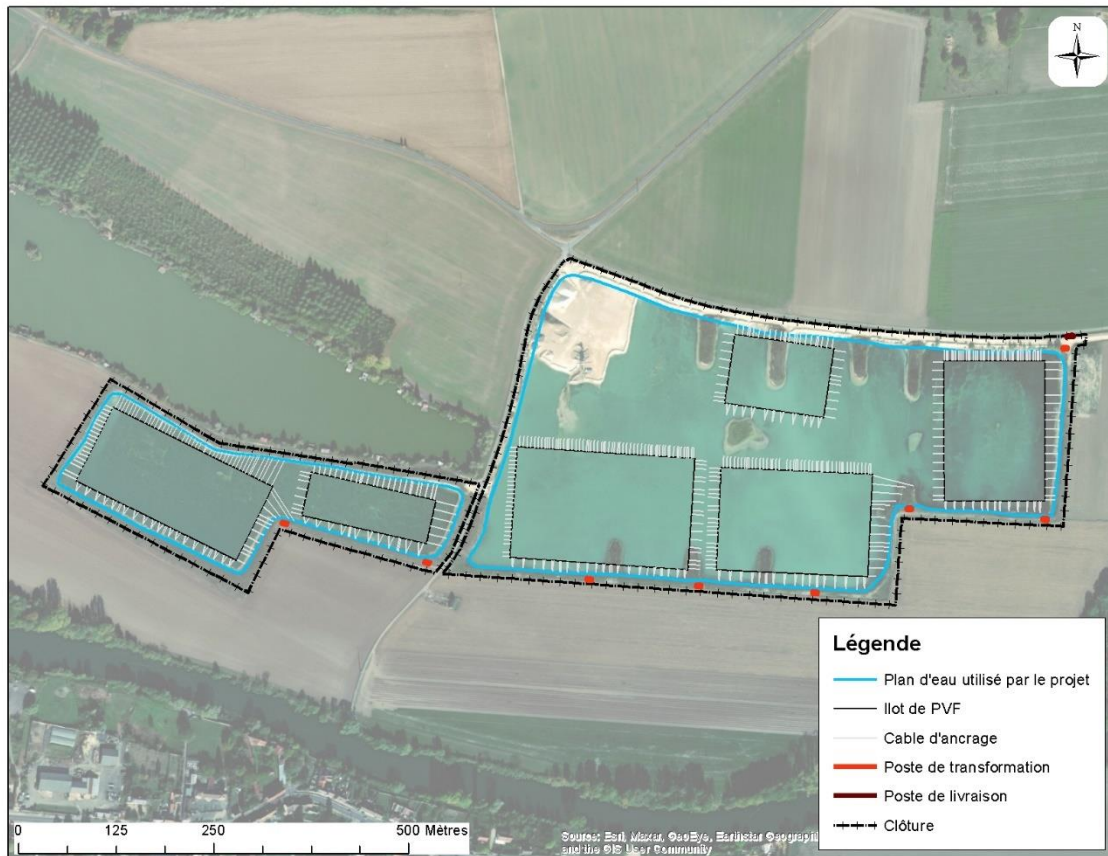


Figure 8 : Localisation des clôtures autour du projet

Pour réaliser ce projet, des mouvements de terre doivent être réalisés. En effet, comme on le constate sur les photos aériennes, le projet de panneaux photovoltaïques flottants intercepte des bandes de terre émergeant du plan d'eau Est. 4 bandes de terre vont ainsi être décaissées. Une partie des terres terrassées servira à la création d'une nouvelle île au centre du plan d'eau Est, nécessaire pour des questions de mesures de compensation faune-flore ; le reste sera évacué hors de la zone inondable.

Contrairement à ce qui est visible sur les photos aériennes, la zone émergée au Nord-Ouest du plan d'eau Est a été terrassée en 2018.

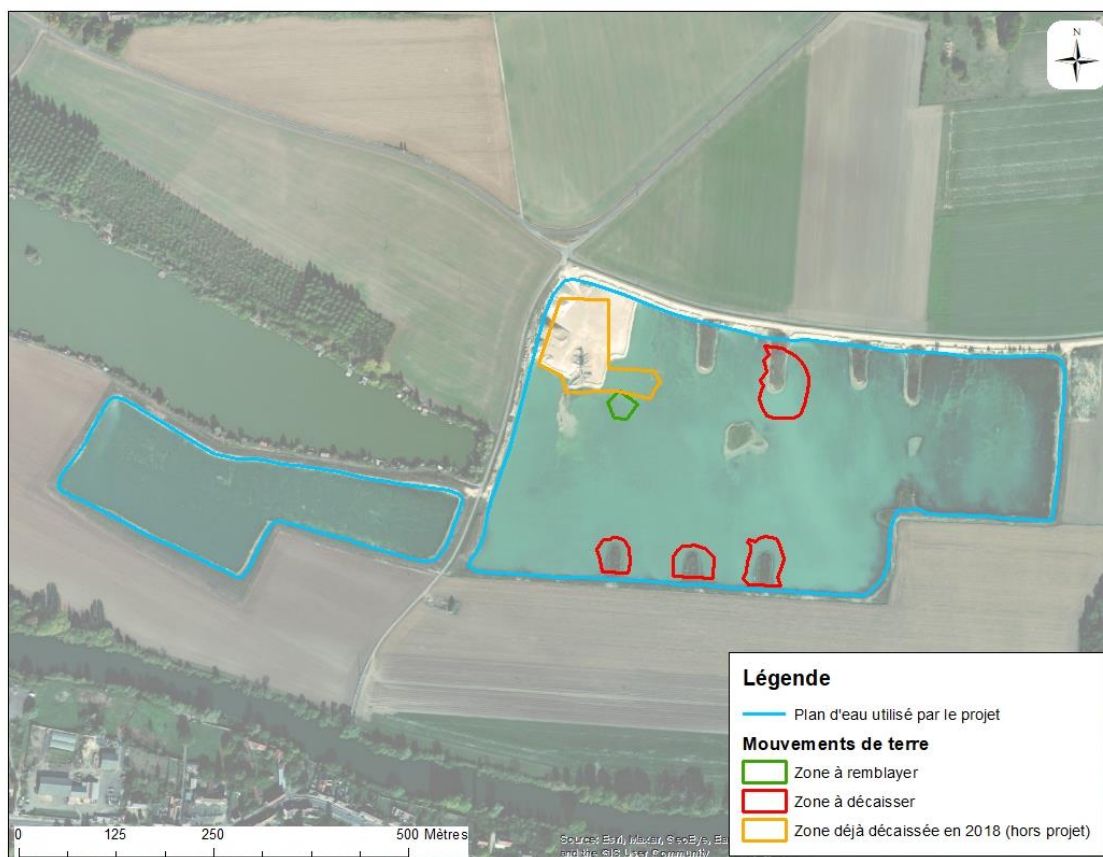


Figure 9 : Localisation des mouvements de terres dans le cadre du projet

3. DONNEES DISPONIBLES DE L'ETAT ACTUEL

Pour évaluer les impacts du projet, il est nécessaire, dans un premier temps, de préciser les connaissances de l'état actuel.

3.1 Données topographiques

Pour reconstituer la topographie de l'état actuel, plusieurs données ont été utilisées :

- Les données bathymétriques réalisées entre 2018 et 2020 par VNF. Ces levés se composent de fichiers textes de coordonnées XYZ et P (profondeurs sous le niveau normal) des levés bathymétriques réalisés sur l'Aisne entre l'écluse de Vic-sur-Aisne (60) et l'écluse d'Hérant à Trosly-Breuil (60)
- Le RGE Alti 1m disponible sur le site internet de l'IGN pour les départements de l'Aisne et de l'Oise, réalisés le 4 septembre 2020 et le 22 juillet 2019, avec une résolution en XY de 1m et une précision en Z de 0.2m.
- Les données topographiques des plans d'eau réalisés par les Géomètres-Experts S.C.P. Silvert-Caron-Petit entre 2008 et 2019. Aucun levé des plans d'eau entier n'a été réalisé. La topographie a donc été reconstituée par Suez Consulting en considérant la topographie la plus récente levée sur chaque zone. La carte ci-dessous récapitule la date des informations considérées pour chaque zone des plans d'eau.

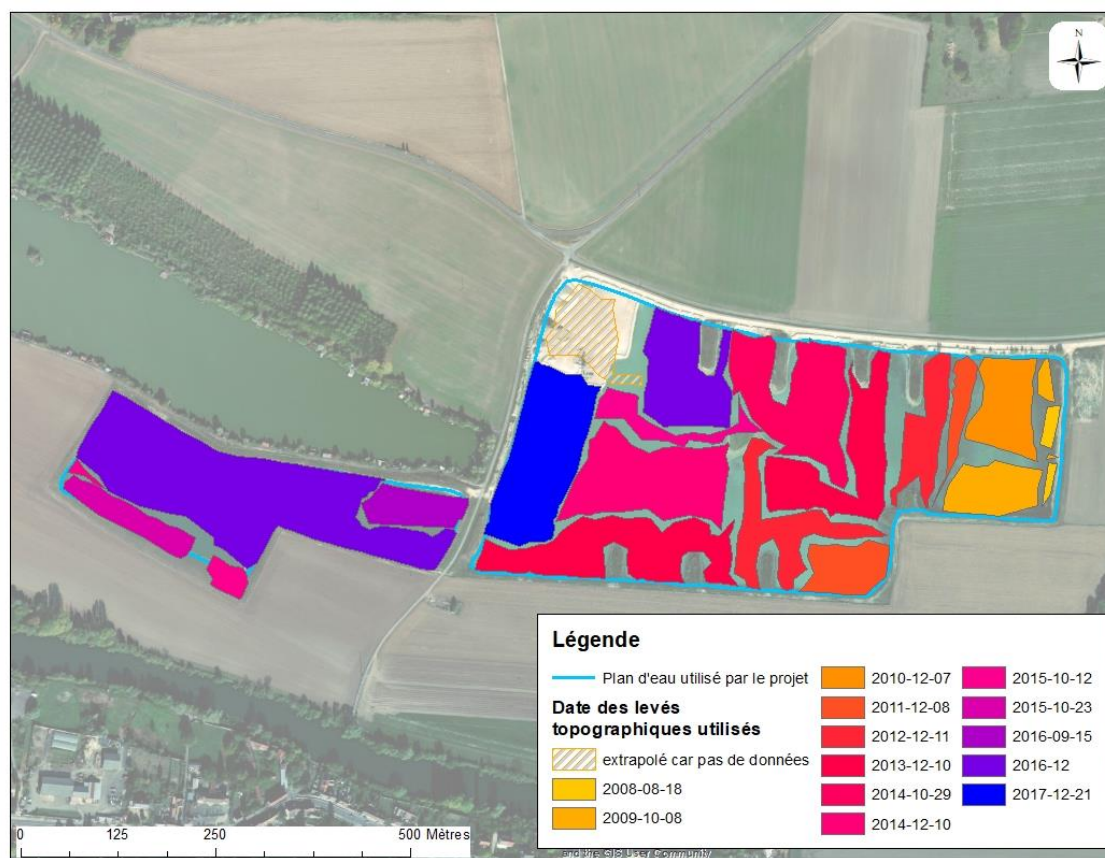


Figure 10 : Date des données topographiques utilisées pour reconstituer la bathymétrie des plans d'eau

Le Modèle Numérique de Terrain (MNT) ainsi reconstitué est présenté sur la carte ci-dessous.

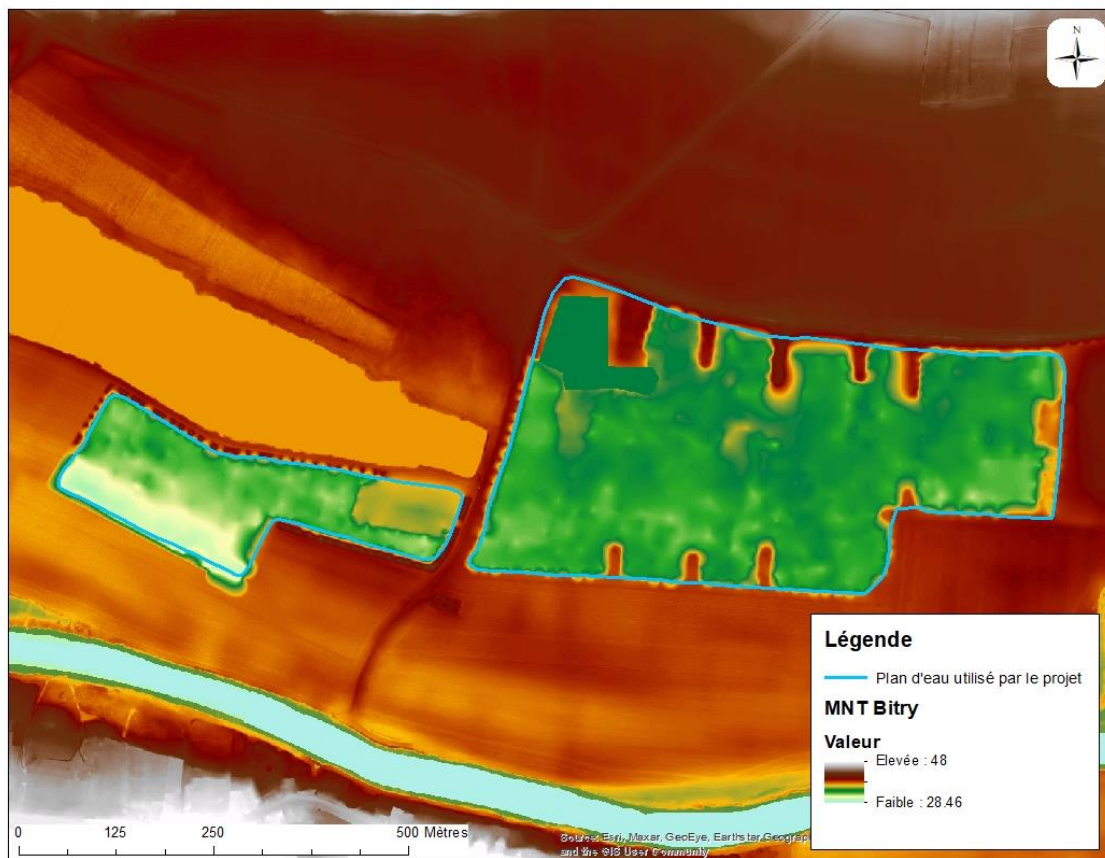


Figure 11 : MNT en état initial au droit du site

3.2 Données d'occupations des sols disponibles et définition de la rugosité

La modélisation bidimensionnelle intègre des coefficients de Strickler pour représenter les coefficients de frottement des sols en lit majeur. Ceux-ci sont définis à partir de la couche de Corine Land Cover 2019.

Le tableau suivant indique la correspondance entre occupation des sols et coefficients de Strickler utilisés :

Tableau 1 : Correspondance entre coefficients de Strickler et code du Corine Land Cover

	N°	Description	Coefficient de Strickler
	112	Tissu urbain discontinu	18
	121	Zones industrielles ou commerciales et installations publiques	20
	211	Terres arables hors périmètres d'irrigation	10
	231	Prairies et autres surfaces toujours en herbe à usage agricole	10
	242	Systèmes culturaux et parcellaires complexes	10
	243	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants	9
	311	Forêts de feuillus	6
	512	Plans d'eau	20

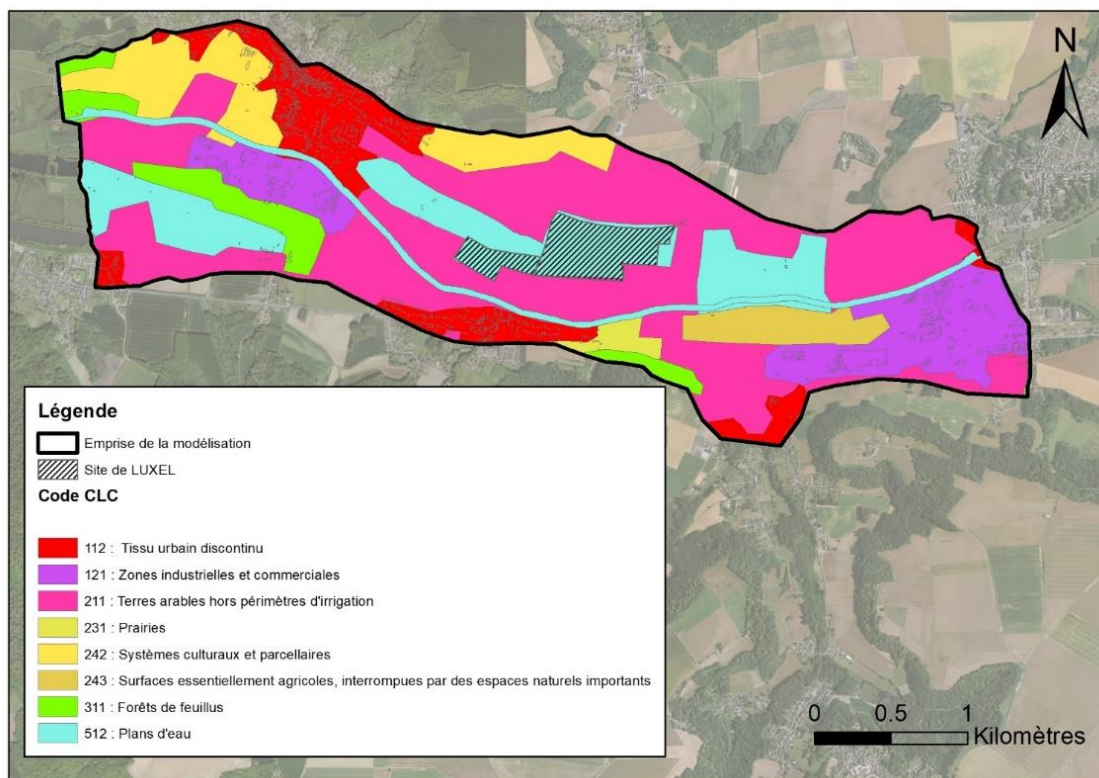


Figure 12 : Occupation du sol sur l'emprise modélisée

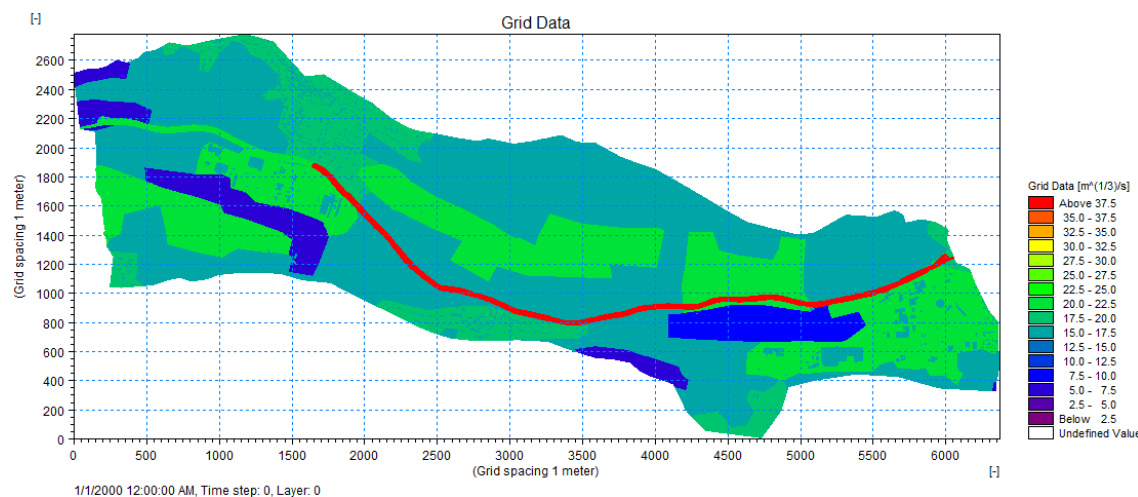


Figure 13 : Equivalence en coefficients de Strickler de l'occupation des sols

Les coefficients de Strickler retenus présentent des différences avec ceux correspondant à l'occupation du sol. C'est lors du calage du modèle que ces valeurs ont été ajustées pour faire correspondre les résultats avec ceux du PPRI de l'Oise.

3.3 Données hydrologiques

Les données hydrologiques d'entrée sont issues du modèle du PPRI de l'Oise. L'hydrogramme au niveau de l'écluse en amont de la zone d'étude (PK : 21205) est ainsi récupéré :

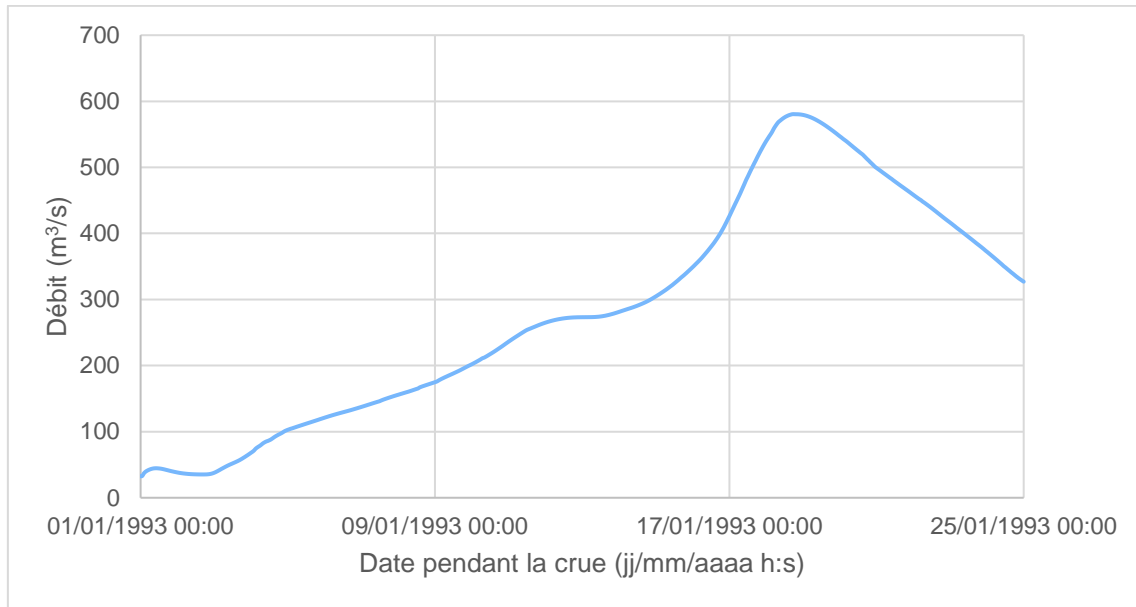


Figure 14 : Hydrogramme de la crue de 1866

4. MODELISATION HYDRAULIQUE SOUS MIKE 2D

4.1 Présentation du logiciel

La modélisation hydraulique a été réalisée grâce à la suite MIKE Powered by DHI. La gamme de logiciels MIKE Powered by DHI permet depuis plus de 25 ans aux professionnels de l'eau du monde entier de profiter d'un grand nombre de connaissances sur les secteurs de l'eau.

Compte-tenu des données à disposition, nous avons retenu de modéliser l'ensemble de la zone en bidimensionnel. La modélisation des écoulements bidimensionnels à surface libre est donc réalisée à l'aide du logiciel MIKE21.

MIKE 21 est un modèle 2D permettant la modélisation des écoulements à surface libre en régime transitoire. Il dispose de plusieurs types de maillage. Nous privilégions ici un maillage triangulaire, offrant ainsi la possibilité de s'adapter au mieux à la précision souhaitée, mais aussi aux conditions d'écoulement locales. La taille des mailles peut être variable dans l'espace : ceci a pour intérêt de permettre de densifier la résolution du maillage sur les zones à enjeux ainsi que sur les zones nécessitant une description fine pour reproduire de fortes variations d'écoulement. MIKE 21 résout intégralement les équations de Saint-Venant, par la méthode des volumes finis.

Ce logiciel est capable d'intégrer l'effet d'ouvrages hydrauliques tels que des buses, des seuils, des ponts ou des digues, qui sont alors représentées par un calcul de perte de charge ponctuelle. La topographie des digues peut par ailleurs être simulée de manière dynamique, afin notamment de représenter des brèches dans les digues.

4.2 Maillage du modèle

Il est retenu un maillage triangulaire de dimensions variables :

- Lâche dans les zones sans enjeux, avec une surface de maille maximale égale à 10 000 m²,
- Ajusté au droit des enjeux ou des pentes topographiques fortes :
 - D'au maximum 4m² au droit des postes électriques,
 - D'au maximum 50 m² au droit des panneaux photovoltaïques avec des côtés de mailles en moyenne égaux à 10 m,
 - D'au maximum 200 m² au droit des plans d'eau avec des côtés de mailles en moyenne égaux à 25 m.

Chaque maille est un nœud de calcul utilisant la topographie des données LIDAR pour déterminer le niveau d'eau.

Ce maillage permet de représenter 6.6 km de l'Aisne depuis l'écluse de Vic-sur-Aisne (60) jusqu'à l'écluse de Couloisy (60).

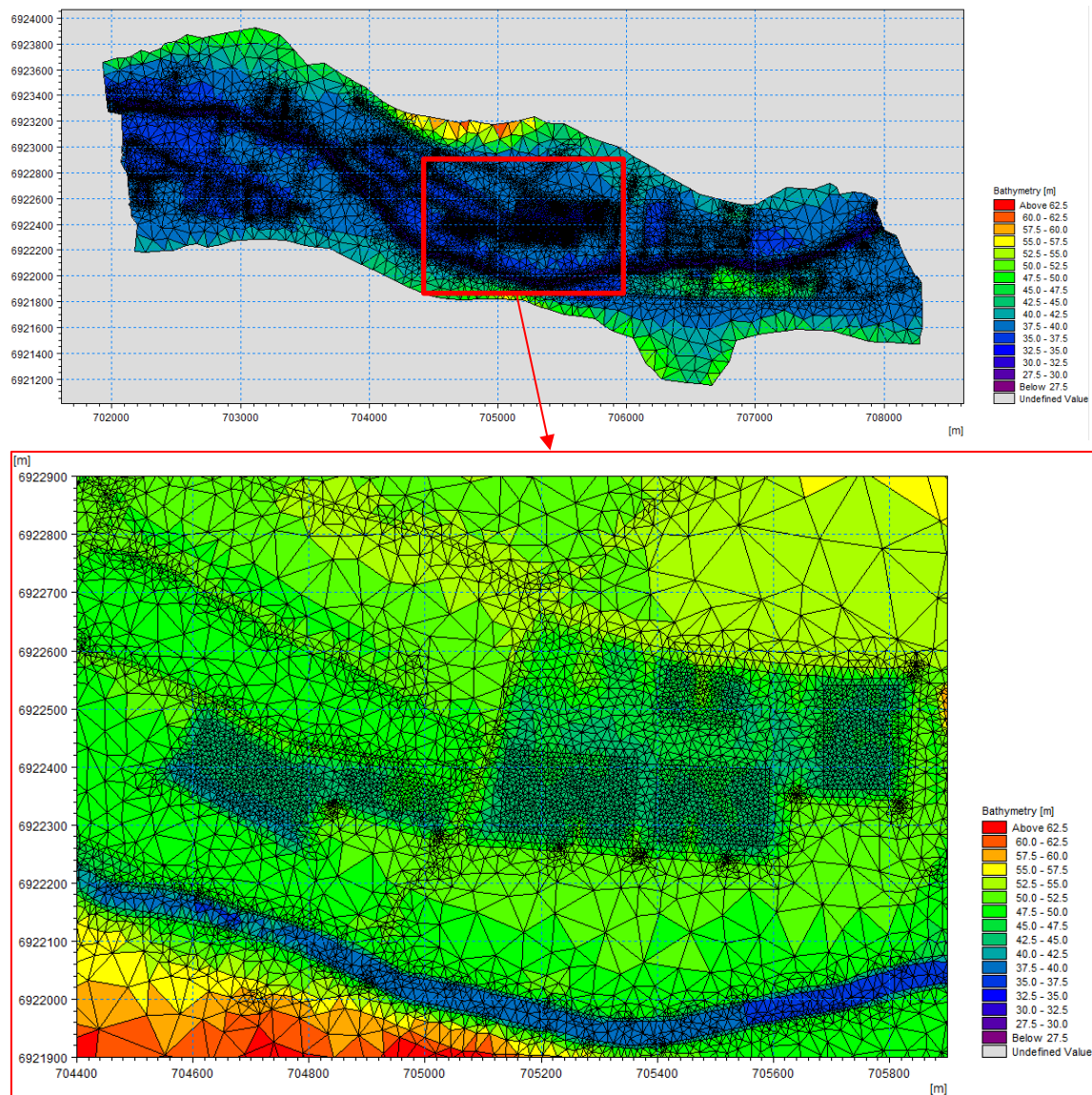


Figure 15 : Maillage du modèle avec un zoom au droit du projet

4.2.1 Condition à la limite amont

La condition à la limite amont est l'hydrogramme de la crue issue du PPRI de l'Oise présenté en partie 3.3.

4.2.2 Condition à la limite aval

Une relation hauteur-débit est utilisée pour déterminer la condition limite aval, elle aussi issue des résultats hydrauliques du PPRI de l'Oise au niveau de l'écluse en aval de la zone d'étude (PK : 27633).

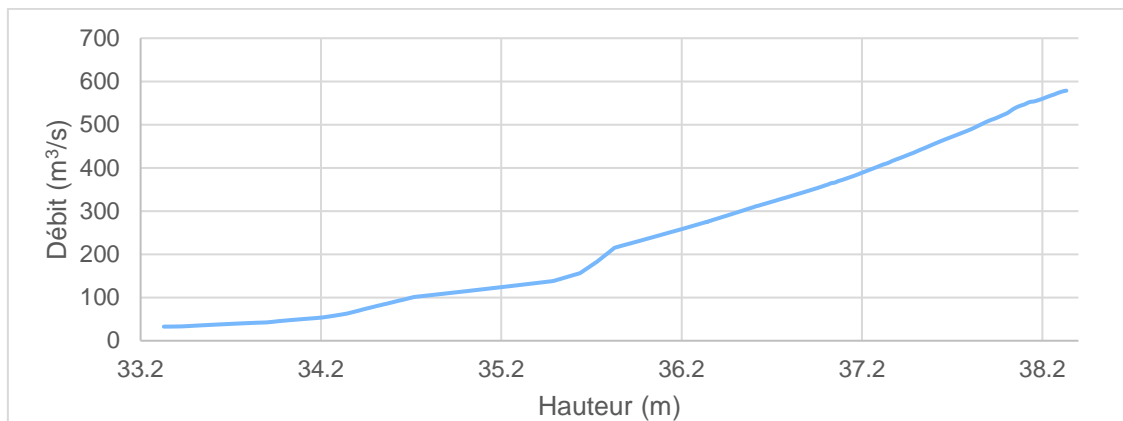


Figure 16 : Condition limite à l'aval de la zone d'étude : Loi cote-débit

4.3 Calage du modèle

Le modèle est calé sur l'emprise de la crue de référence du PPRI de l'Oise en amont de Compiègne.

Les coefficients de Strickler, qui représentent les frottements sur une surface, sont utilisés comme paramètres de calage. Ces coefficients sont choisis en adéquation avec ceux utilisés dans le PPRI. C'est donc pour rester cohérent qu'ils n'ont pas été accentués au droit des bâtiments.

La zone inondable modélisée diffère légèrement de celle du PPRI sur les limites. Cela peut s'expliquer par la différence de technique de modélisation : un modèle 2D va mieux représenter les écoulements qu'un modèle 1D et peut donc entraîner des écarts dans les cartes finales.

Les deux emprises sont donc relativement proches et attestent du bon calage du modèle.

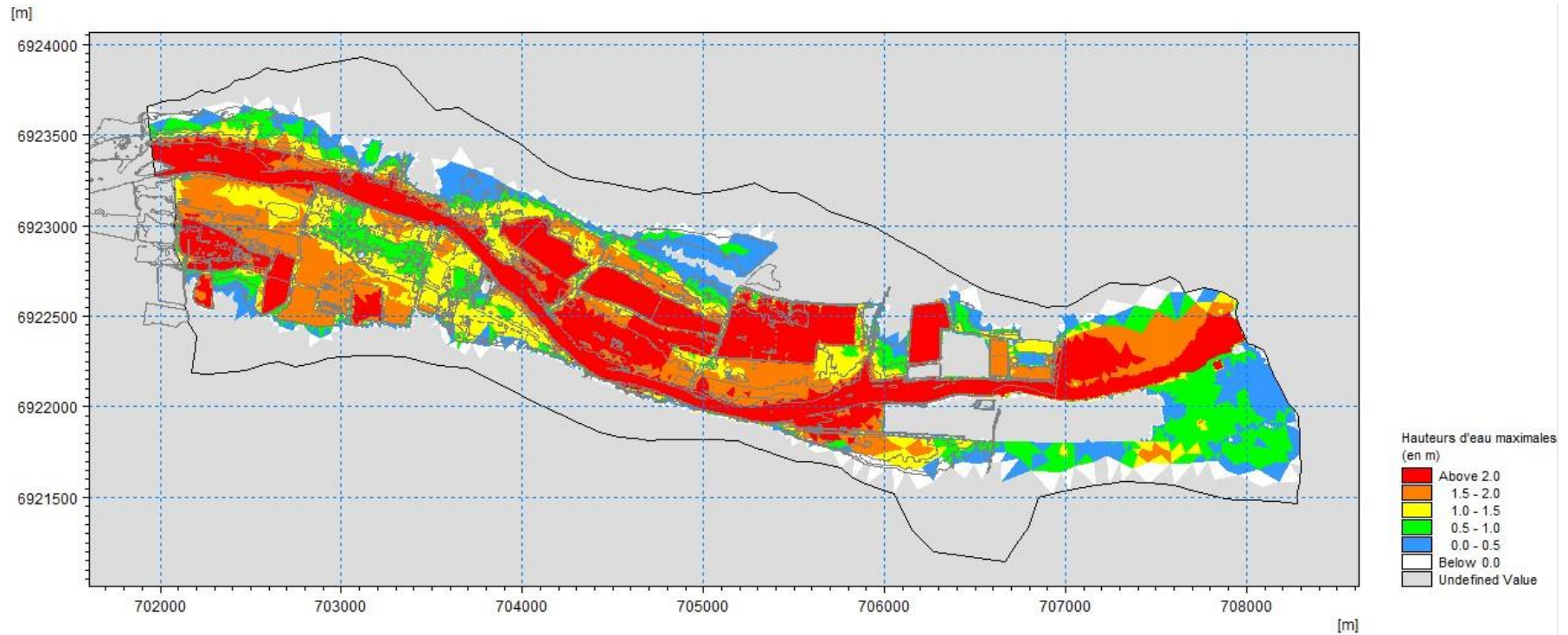


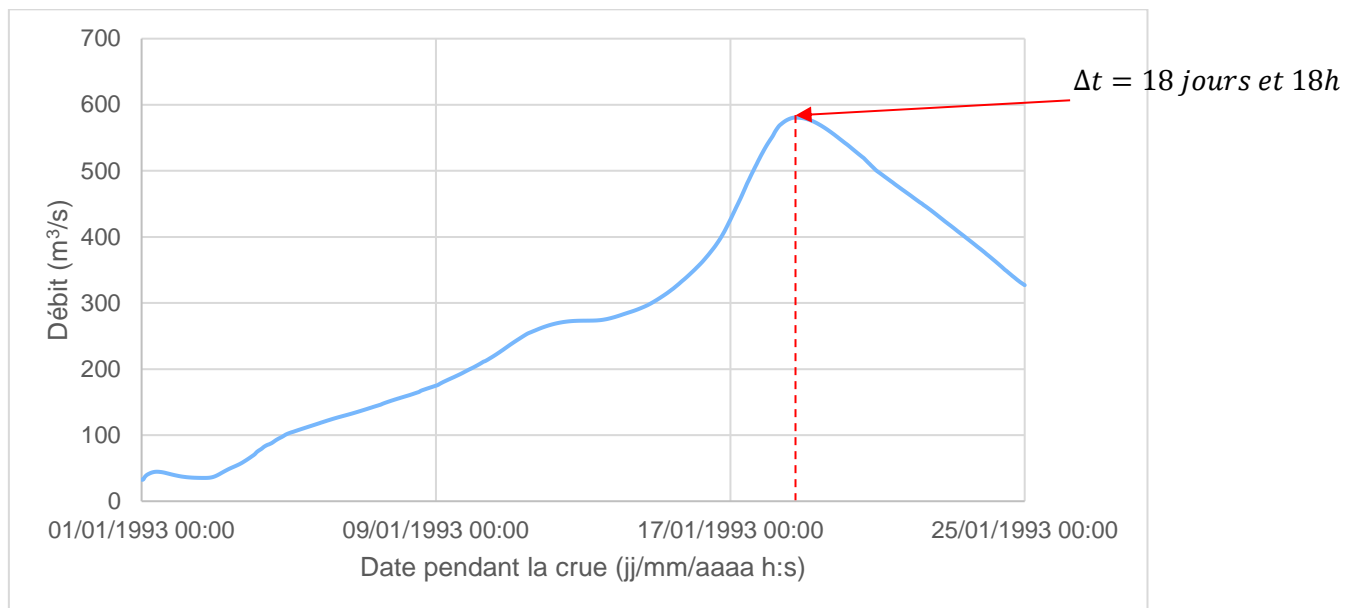
Figure 17 : Comparaison de l'emprise de la crue de référence modélisée avec celle issue du PPRI

5. FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE EN ETAT ACTUEL

Le modèle hydraulique calcule la cote, la hauteur d'eau et les vitesses d'écoulements au droit de chaque maille pour chaque pas de temps.

Les résultats sont présentés au pas de temps correspondant au maximum de l'hydrogramme de crue soit un débit de 580 m³/s, correspondant à une crue centennale.

Le temps de simulation retenu est donc de 20 jours.



5.1 Cotes maximales atteintes

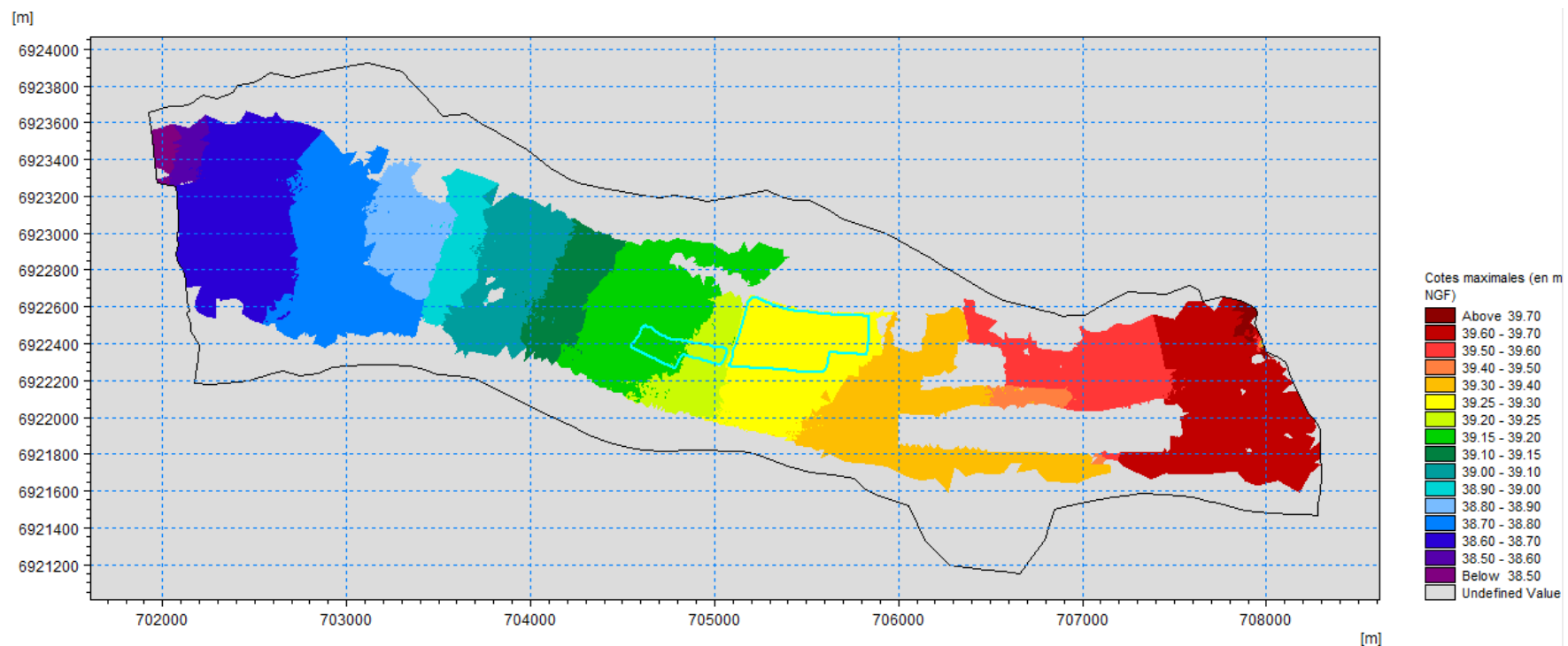


Figure 18 : Cotes maximales atteintes en état actuel lors d'une crue centennale

Au maximum de la crue, l'eau atteint une cote comprise entre 39.25 et 39.30 m NGF au droit du plan d'eau à l'Est et comprise entre 39.15 et 39.25 m NGF au droit du plan d'eau à l'Ouest.

5.2 Hauteurs d'eau maximales atteintes

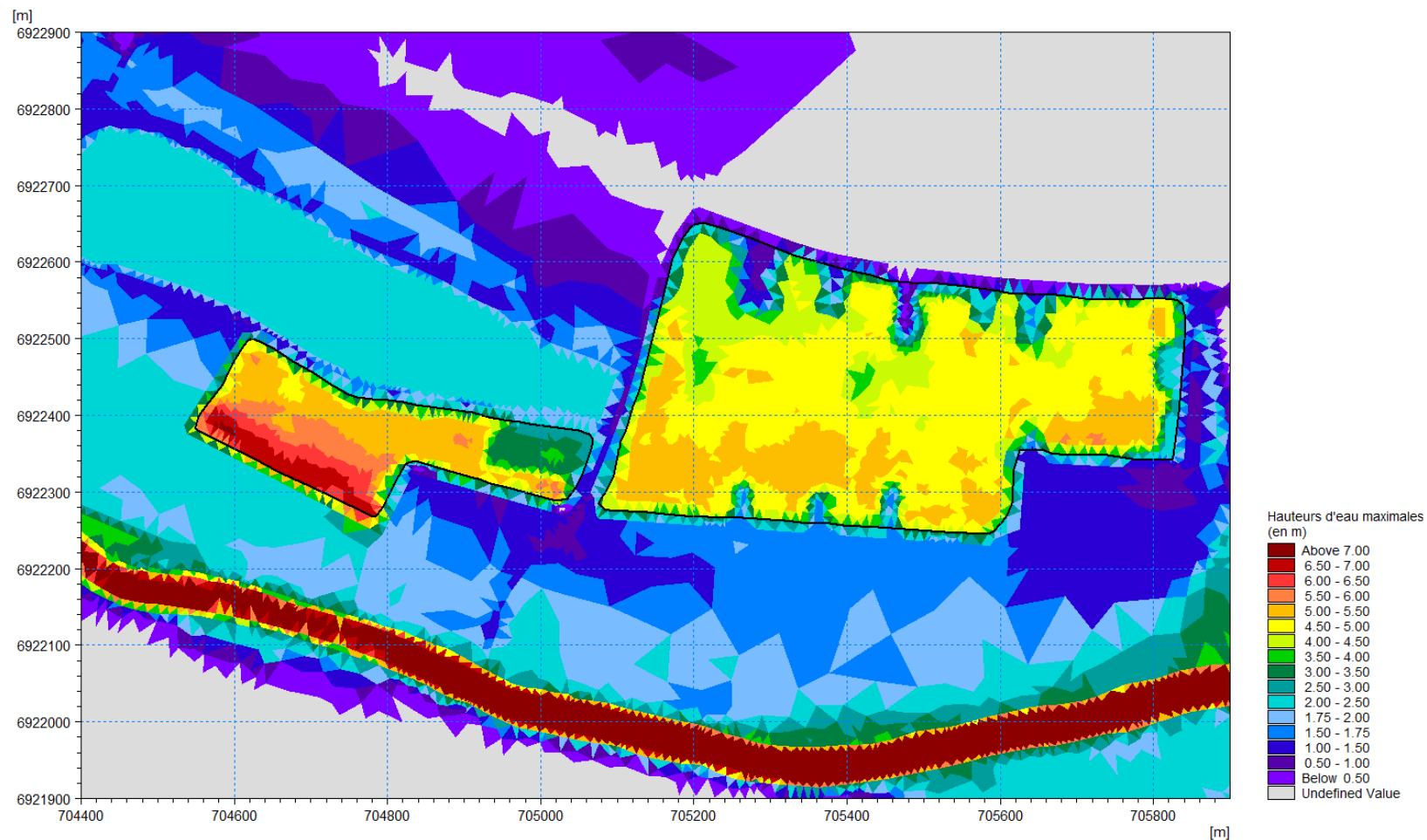


Figure 19 : Hauteurs d'eau maximales atteintes en état actuel lors d'une crue centennale

Au maximum de la crue, l'eau atteint des hauteurs d'eau d'en moyenne 5 m au droit du plan d'eau à l'Est et 5.5 m au droit du plan d'eau à l'Ouest.

Cette hauteur d'eau inclut le niveau d'eau déjà présent dans les plans d'eau. La hauteur d'eau uniquement due à l'inondation est égale à 1.8 m dans le plan d'eau Est et de 2.8 m dans le plan d'eau Ouest.

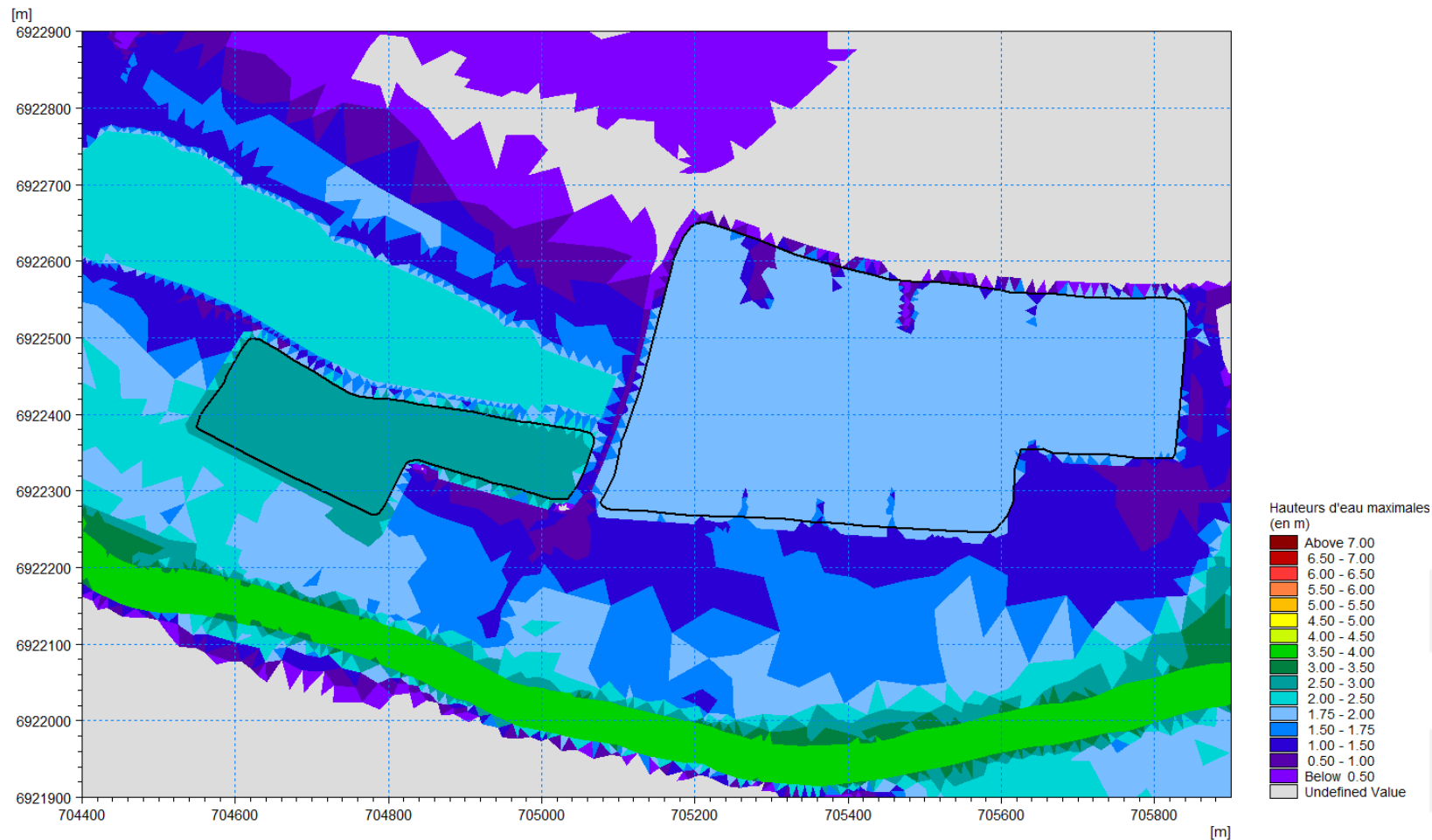


Figure 20 : Hauteurs d'eau maximales atteintes uniquement dues à l'inondation en état actuel lors d'une crue centennale

*Les quelques différences observables hors des plans d'eau et du lit mineur de l'Aisne proviennent exclusivement des arrondis lors du calcul réalisé par le logiciel qui peuvent provoquer un changement de classe.

5.3 Vitesses maximales atteintes

Les zones avec les vitesses les plus importantes sont localisées au niveau du lit mineur. Les vitesses à l'entrée du modèle sont surestimées puisque c'est à cet endroit que le débit est injecté de manière ponctuelle.

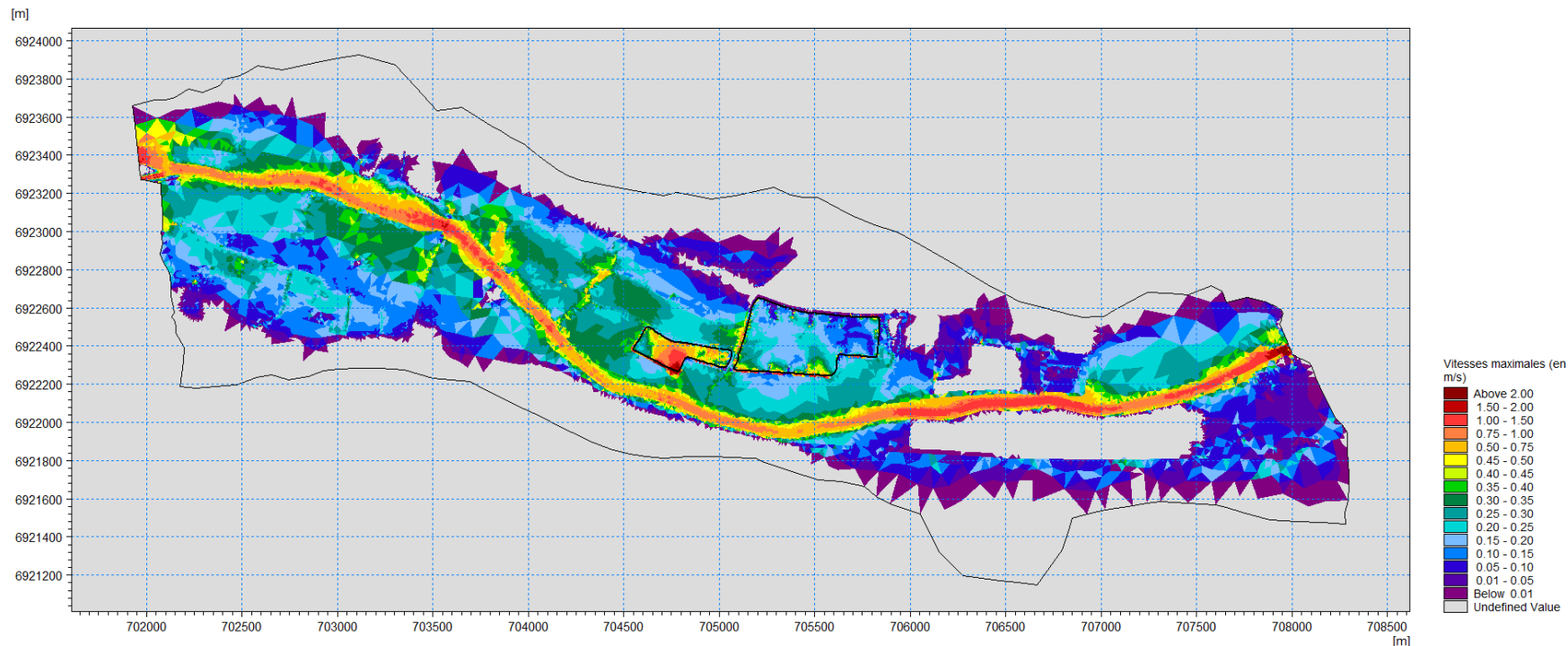


Figure 21 : Vitesses maximales atteintes en état actuel lors d'une crue centennale sur l'ensemble de la zone modélisée

Lors de la mise en eau du lit majeur, l'eau atteint des vitesses comprises entre 0.05 et 0.5 m/s au droit du plan d'eau à l'Est et 0.25 et 2 m/s au droit du plan d'eau à l'Ouest. Il est important de noter que ces vitesses maximales se produisent lors de l'inondation des plans d'eau. En effet, l'eau présente sur les berges s'écoule brusquement dans le plan d'eau et s'étale dans les plans d'eau en générant une onde. Ainsi, les vitesses maximales observées sont situées à proximité des berges et forment des arcs de cercles au droit des parties en eau (pour le plan d'eau Est, les zones de terre sont les zones à côté des berges avec les vitesses faibles – inférieures à 0.1 m/s).

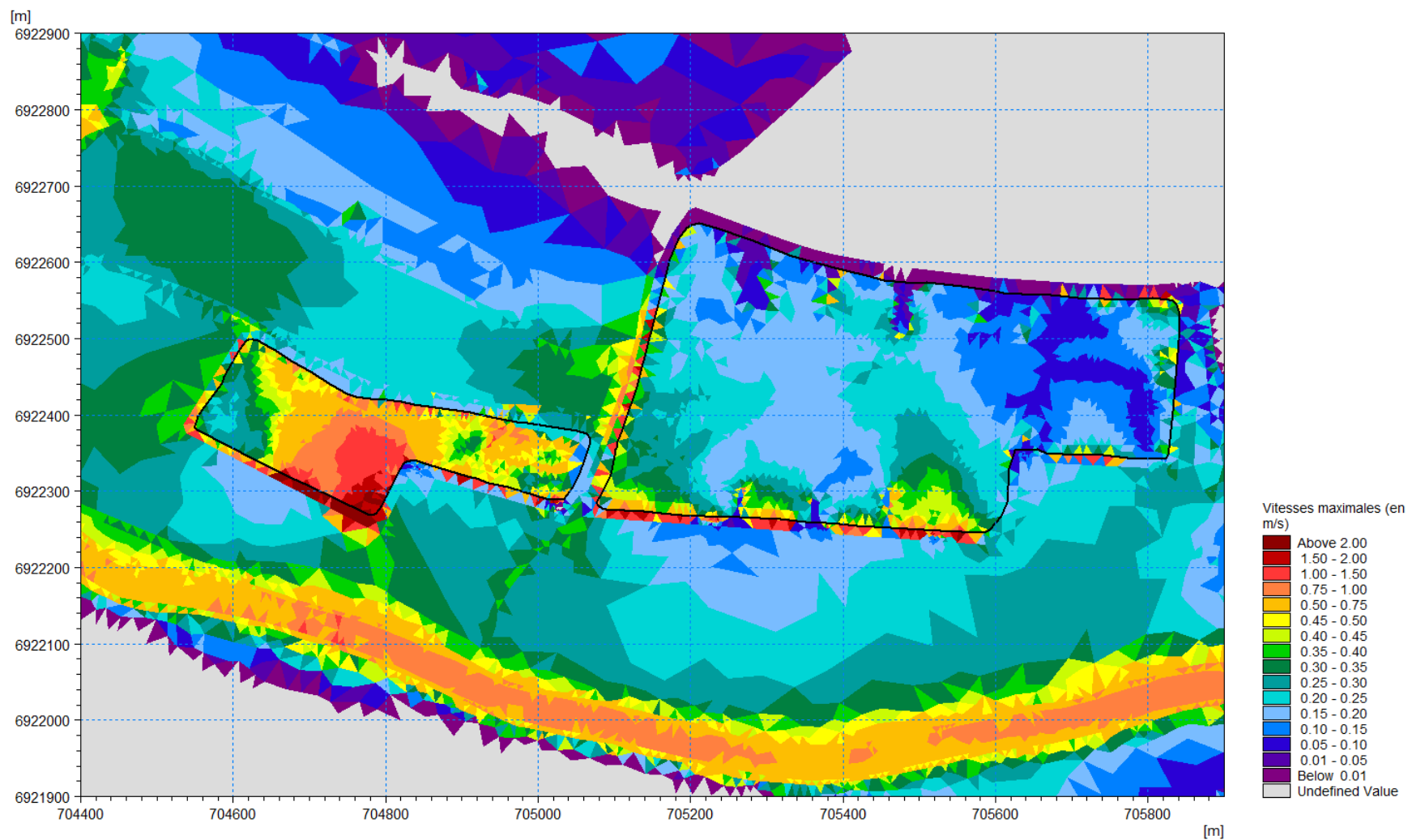


Figure 22 : Vitesses maximales atteintes en état actuel lors d'une crue centennale au droit du projet

Une extraction de la hauteur d'eau et de la vitesse en fonction du temps au droit du coin Sud-Est du plan d'eau Ouest est présenté ci-dessous. On observe que la hauteur d'eau (en bleu) est constante (du fait de la présence d'eau dans le plan d'eau) jusqu'à 151 h puis augmente progressivement du fait du débordement de l'Aisne ; la vitesse (en orange) est nulle jusqu'à 151h puis augmente brusquement lors de l'inondation du plan d'eau pour ensuite diminuer brusquement et remonter progressivement pour finir jusqu'au pic de la crue.

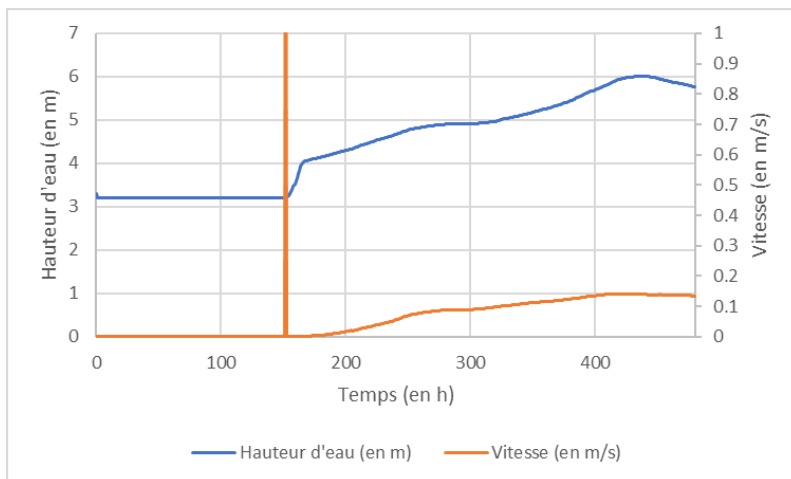


Figure 23 : Limnigramme et chronogramme en état actuel lors d'une crue centennale au droit du coin sud-Est du plan d'eau Ouest

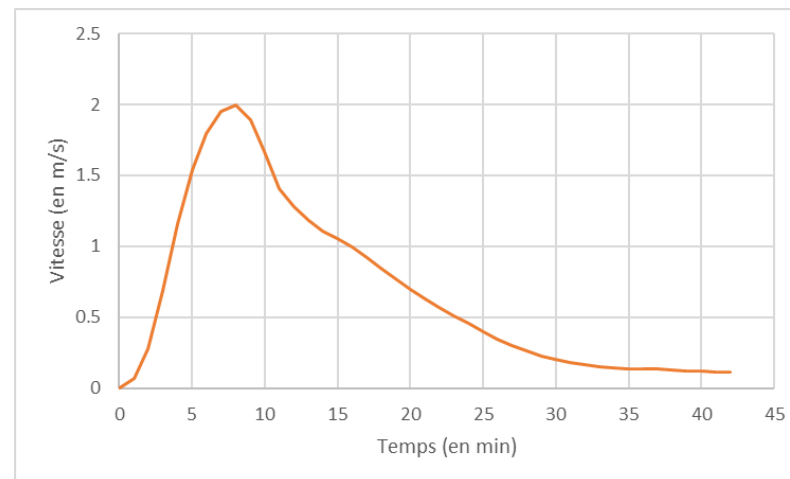


Figure 24 : Zoom sur le pic du chronogramme en état actuel lors d'une crue centennale au droit du coin sud-Est du plan d'eau Ouest

Les vitesses observées lors du pic de crue sont inférieures à 0.25 m dans les plans d'eau.

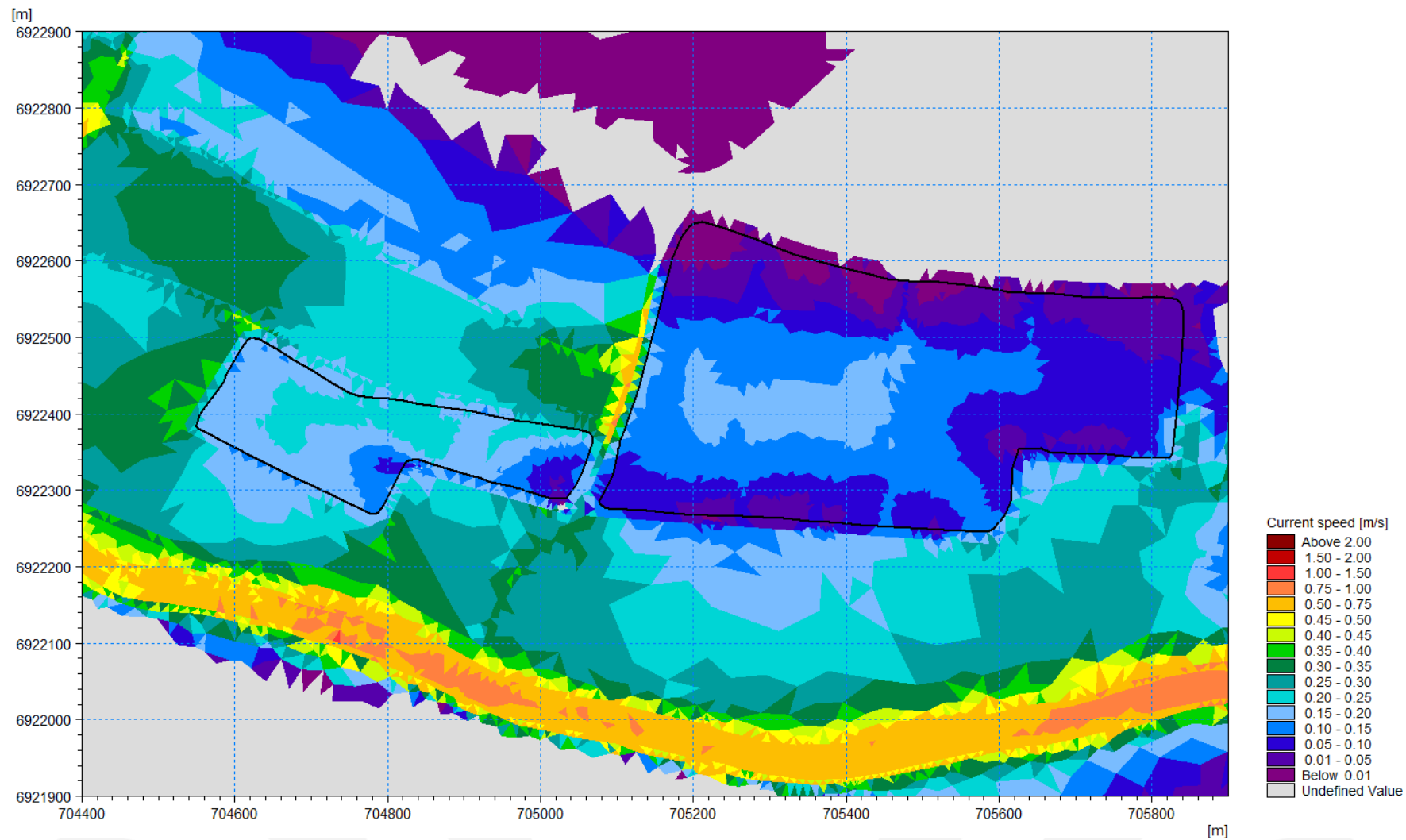


Figure 25 : Vitesses atteintes en état actuel lors du pic d'une crue centennale au droit du projet

Sur les deux plans d'eau, les écoulements sont majoritairement de l'Est vers l'Ouest comme le montre la figure ci-dessous.

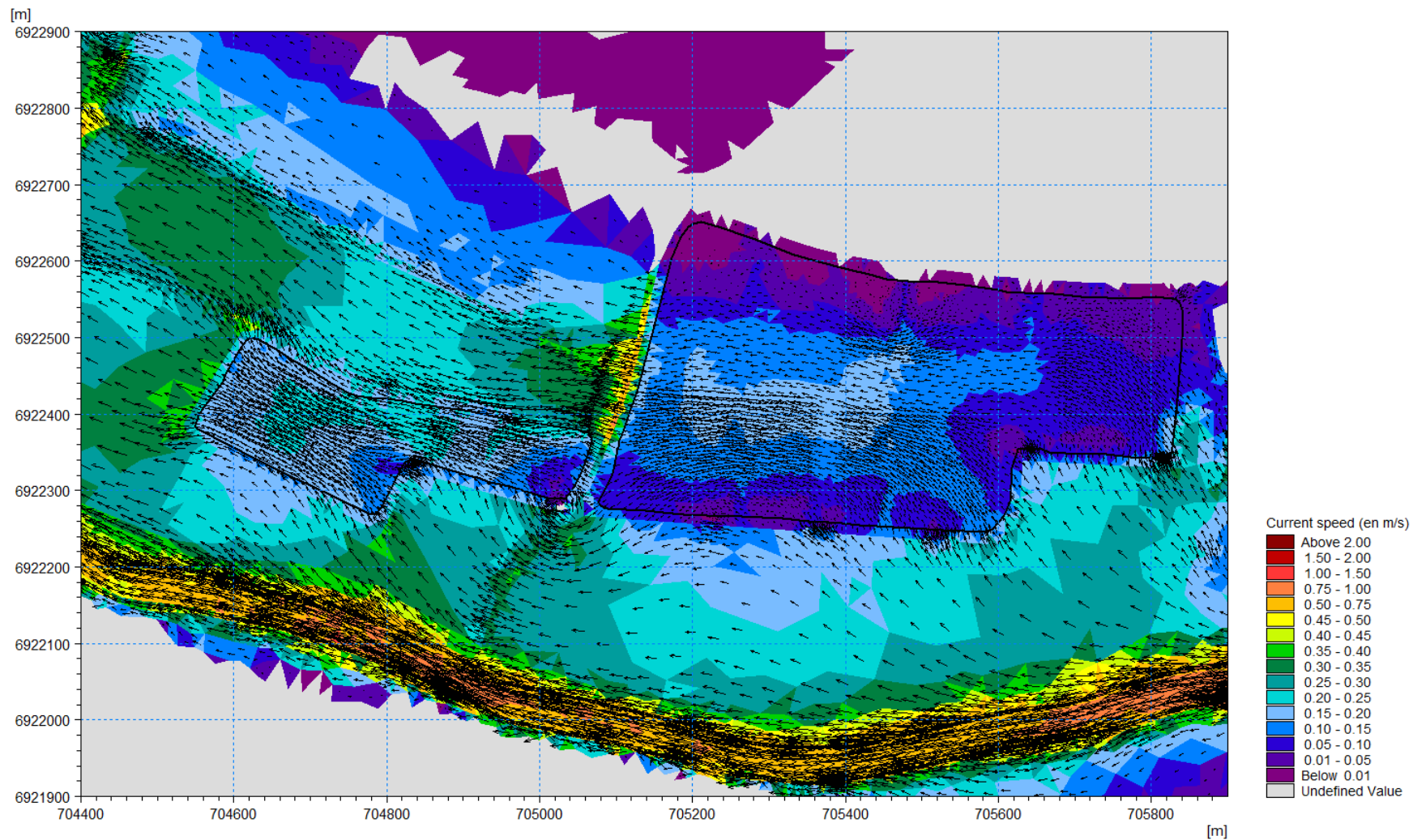


Figure 26 : Direction des vitesses en état actuel lors du pic d'une crue centennale au droit du projet

6. FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE EN ETAT AMENAGE

6.1 Modifications apportées au modèle pour la prise en compte du projet

Si la structure du modèle hydraulique reste identique, la topographie au droit du projet est modifiée pour prendre en compte des mouvements de terres indiquées en partie 2. Par ailleurs, deux simulations ont été réalisées pour prendre en compte la mise sur pilotis des postes (prévus dans le cadre du projet) et le remblaiement (non prévus dans le cadre du projet mais pouvant être causé par la présence d'embâcles en cas de crue).

Outre les modifications de topographie, les coefficients de rugosité sont également modifiés au droit des îlots de panneaux photovoltaïques flottants. En effet, on peut représenter l'effet du système sur l'écoulement par une augmentation des frottements, en appréciant le niveau d'obstruction (diminution de la section d'écoulement) correspondant au projet. Le « Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains » édité par l'USGS propose une méthode de correction des coefficients de frottements en fonction de l'obstruction estimée :

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m \quad (6)$$

where

n_b = a base value of n for the flood plain's natural bare soil surface,

n_1 = a correction factor for the effect of surface irregularities on the flood plain,

n_2 = a value for variations in shape and size of the flood-plain cross section, assumed to equal 0.0,

n_3 = a value for obstructions on the flood plain,

n_4 = a value for vegetation on the flood plain, and

m = a correction factor for sinuosity of the flood plain, equal to 1.0.

Table 3. Adjustment values for factors that affect roughness of flood plains
[Modified from Aldridge and Garrett, 1973, table 2]

Flood-plain conditions	<i>n</i> value adjustment	Example	
Degree of irregularity (<i>n</i> ₁)	Smooth	0.000	Compares to the smoothest, flattest flood plain attainable in a given bed material.
	Minor	0.001–0.005	Is a flood plain slightly irregular in shape. A few rises and dips or sloughs may be visible on the flood plain.
	Moderate	0.006–0.010	Has more rises and dips. Sloughs and hummocks may occur.
	Severe	0.011–0.020	Flood plain very irregular in shape. Many rises and dips or sloughs are visible. Irregular ground surfaces in pastureland and furrows perpendicular to the flow are also included.
Variation of flood-plain cross section (<i>n</i> ₂)	0.0	Not applicable.	
Effect of obstructions (<i>n</i> ₃)	Negligible	0.000–0.004	Few scattered obstructions, which include debris deposits, stumps, exposed roots, logs, or isolated boulders, occupy less than 5 percent of the cross-sectional area.
	Minor	0.005–0.019	Obstructions occupy less than 15 percent of the cross-sectional area.
	Appreciable	0.020–0.030	Obstructions occupy from 15 to 50 percent of the cross-sectional area.
Amount of vegetation (<i>n</i> ₄)	Small	0.001–0.010	Dense growth of flexible turf grass, such as Bermuda, or weeds growing where the average depth of flow is at least two times the height of the vegetation, or supple tree seedlings such as willow, cottonwood, arrowweed, or saltcedar growing where the average depth of flow is at least three times the height of the vegetation.
	Medium	0.011–0.025	Turf grass growing where the average depth of flow is from one to two times the height of the vegetation, or moderately dense stemmy grass, weeds, or tree seedlings growing where the average depth of flow is from two to three times the height of the vegetation; brushy, moderately dense vegetation, similar to 1- to 2-year-old willow trees in the dormant season.
	Large	0.025–0.050	Turf grass growing where the average depth of flow is about equal to the height of the vegetation, or 8- to 10-year-old willow or cottonwood trees intergrown with some weeds and brush (none of the vegetation in foliage) where the hydraulic radius exceeds 2 ft, or mature row crops such as small vegetables, or mature field crops where depth of flow is at least twice the height of the vegetation.
	Very large	0.050–0.100	Turf grass growing where the average depth of flow is less than half the height of the vegetation, or moderate to dense brush, or heavy stand of timber with few down trees and little undergrowth where depth of flow is below branches, or mature field crops where depth of flow is less than the height of the vegetation.
	Extreme	0.100–0.200	Dense bushy willow, mesquite, and saltcedar (all vegetation in full foliage), or heavy stand of timber, few down trees, depth of flow reaching branches.
Degree of meander (<i>m</i>)	1.0	Not applicable.	

Dans le cadre du présent projet, la topographie et la végétation étant modifiée de façon négligeable, seul l'effet d'obstruction a été pris en compte. Afin d'être sécuritaire, nous avons considéré une obstruction de 50% de l'aire du profil en travers soit le maximum proposé par la formule.

Le coefficient de Strickler au droit des îlots de panneaux photovoltaïques flottants passe donc de 20 à 12.5.

6.2 Cotes maximales atteintes

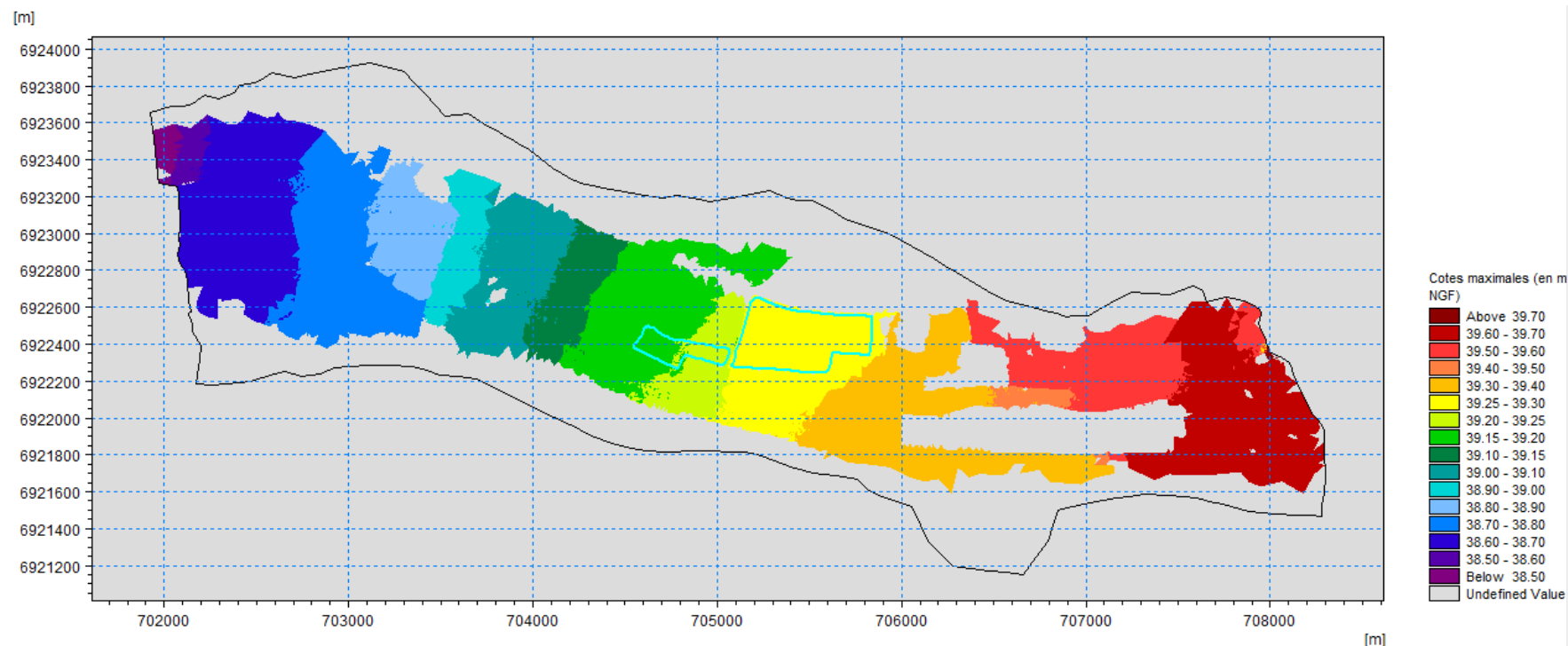


Figure 27 : Cotes maximales atteintes en état projet lors d'une crue centennale

Au maximum de la crue, l'eau atteint une cote comprise entre 39.25 et 39.30 m NGF au droit du plan d'eau à l'Est et comprise entre 39.15 et 39.25 m NGF au droit du plan d'eau à l'Ouest. On ne note pas de modification de l'emprise de la zone inondée du fait du projet.

6.3 Hauteurs d'eau maximales atteintes

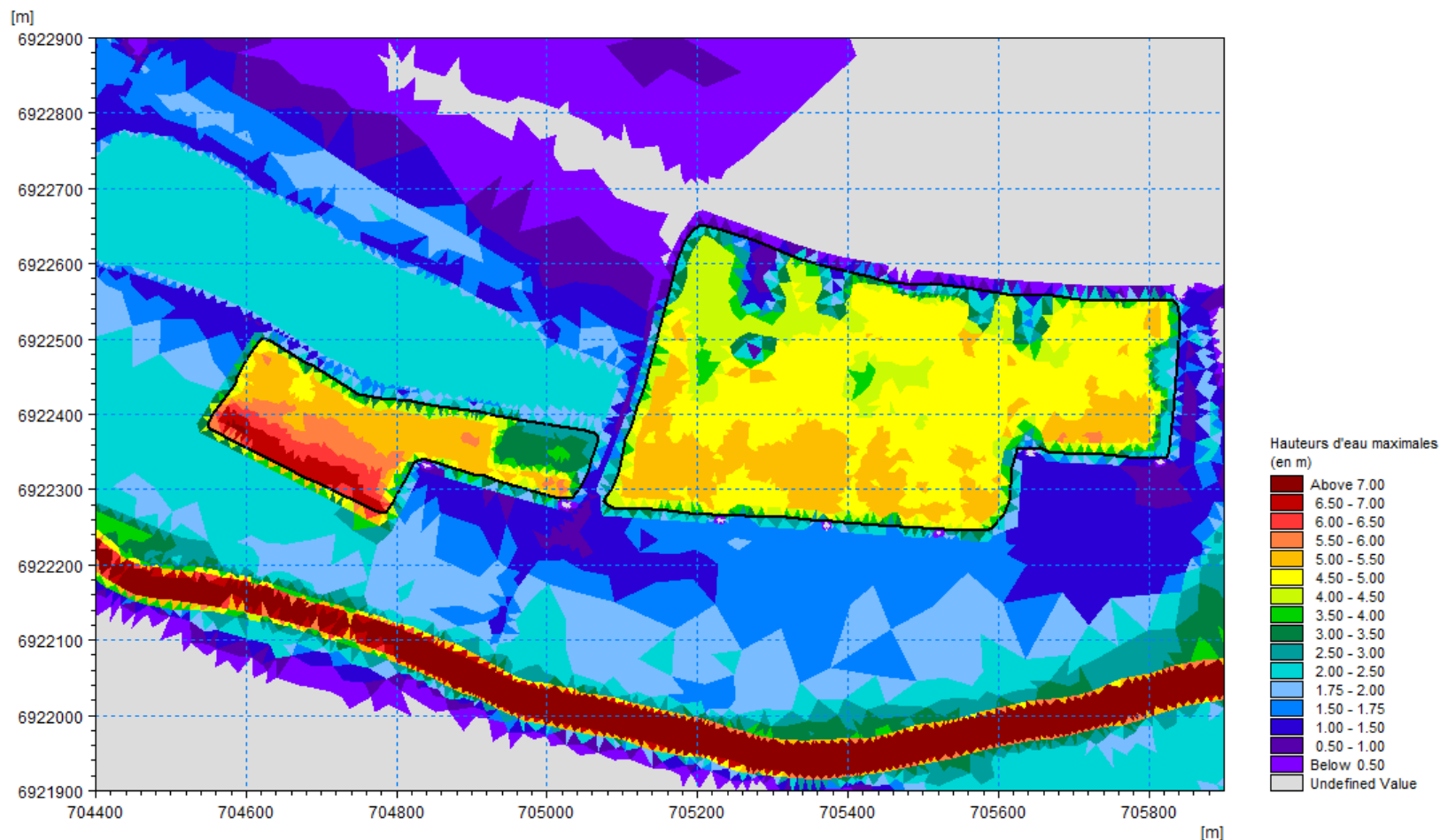


Figure 28 : Hauteurs d'eau maximales atteintes en état projet lors d'une crue centennale

Au maximum de la crue, l'eau atteint des hauteurs d'eau d'en moyenne 5 m au droit du plan d'eau à l'Est et 5.5 m au droit du plan d'eau à l'Ouest.

Cette hauteur d'eau inclut le niveau d'eau déjà présent dans les plans d'eau. La hauteur d'eau uniquement due à l'inondation est égale à 1.8 m dans le plan d'eau Est et de 2.8 m dans le plan d'eau Ouest.

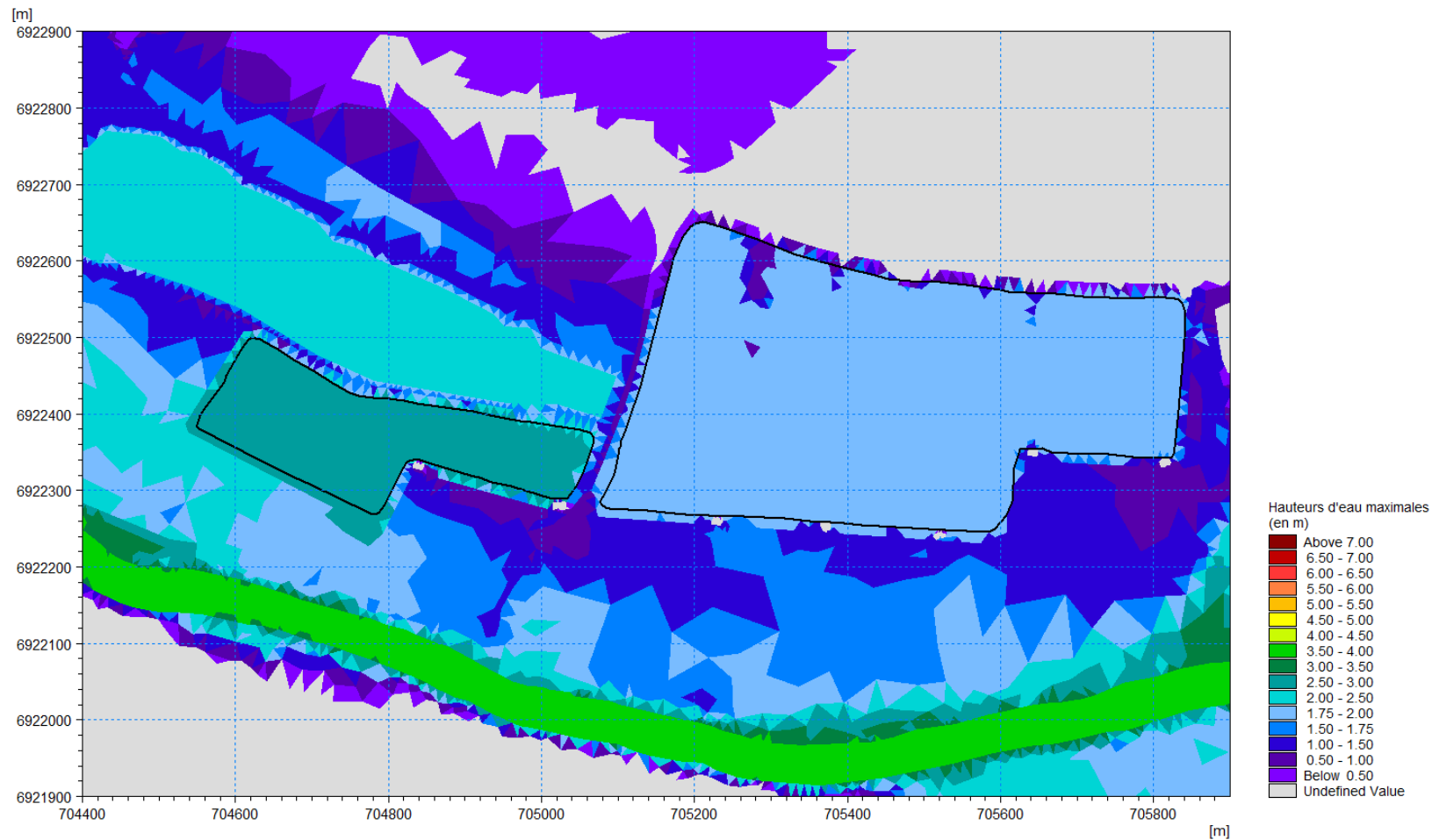


Figure 29 : Hauteurs d'eau maximales atteintes uniquement dues à l'inondation en état projet lors d'une crue centennale

*Les quelques différences observables hors des plans d'eau et du lit mineur de l'Aisne proviennent exclusivement des arrondis lors du calcul réalisé par le logiciel qui peuvent provoquer un changement de classe.

6.4 Différence de hauteurs d'eau maximales atteintes

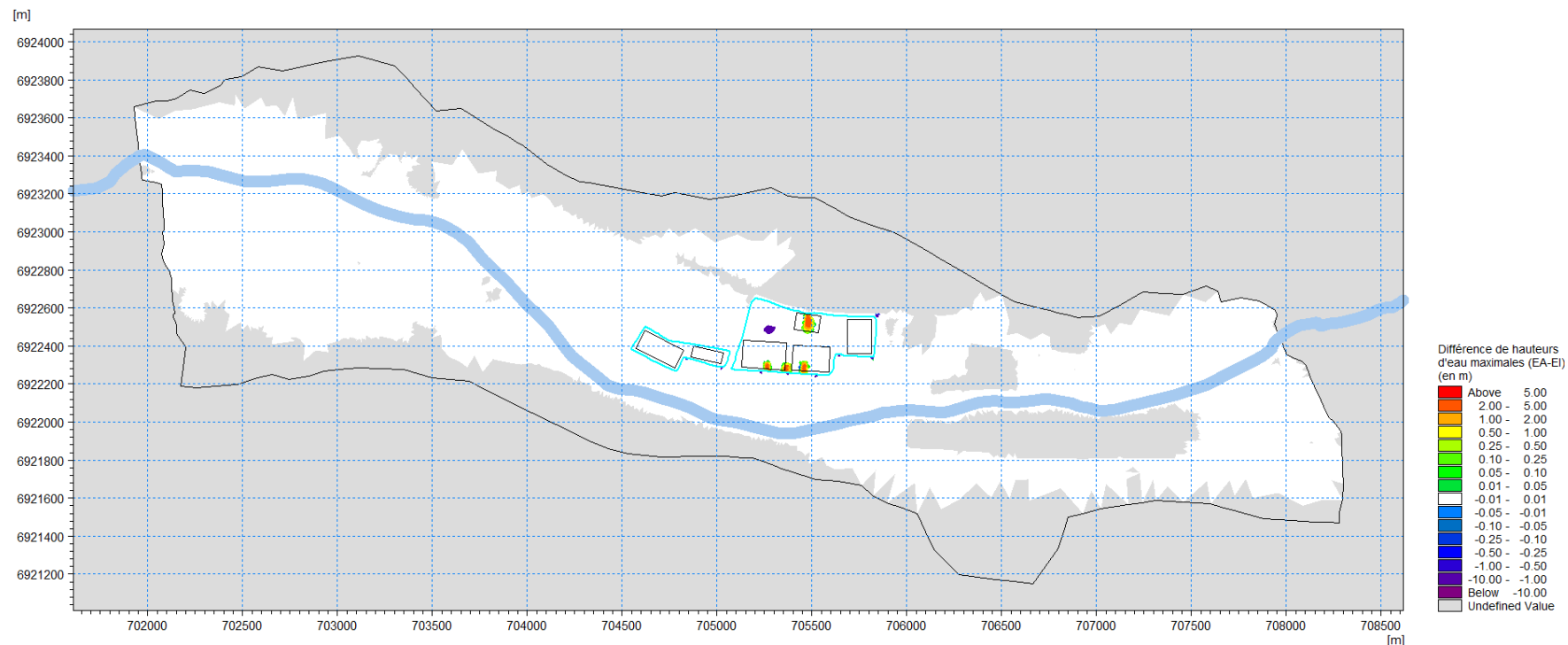


Figure 30 : Différence de hauteurs d'eau maximales atteintes entre l'état projet et l'état initial lors d'une crue centennale sur l'ensemble de la zone modélisée

En considérant que les postes sont remblayés, les différences de hauteurs d'eau obtenues entre l'état projet et l'état initial se situent uniquement au droit du projet.

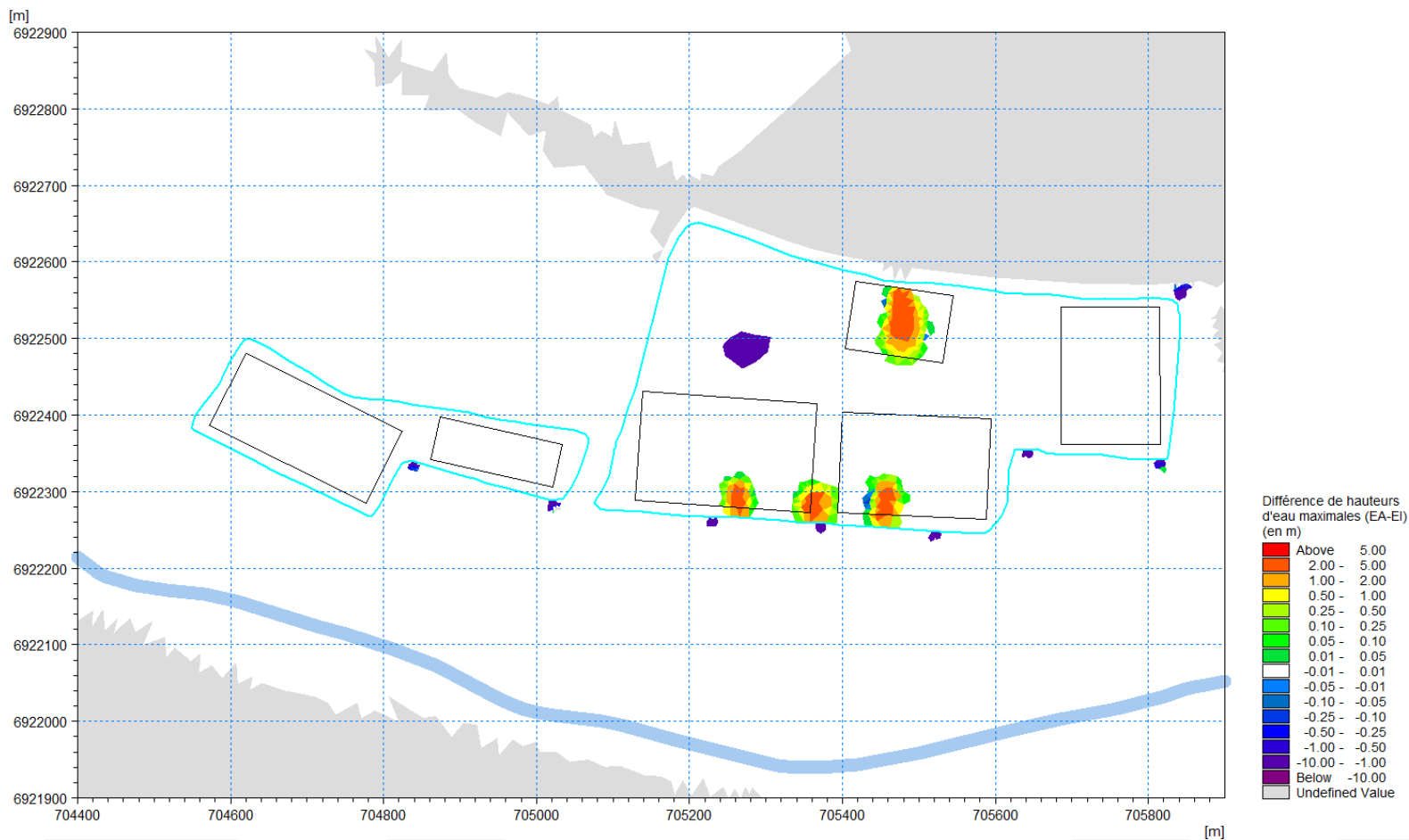


Figure 31 : Différence de hauteurs d'eau maximales atteintes entre l'état projet et l'état initial lors d'une crue centennale au droit du projet

La différence au droit de la zone projet est uniquement liée aux mouvements de terres et au remblaiement des postes. Aucun impact sur les hauteurs d'eau maximales atteintes n'est observé en dehors du projet.

6.5 Vitesses maximales atteintes

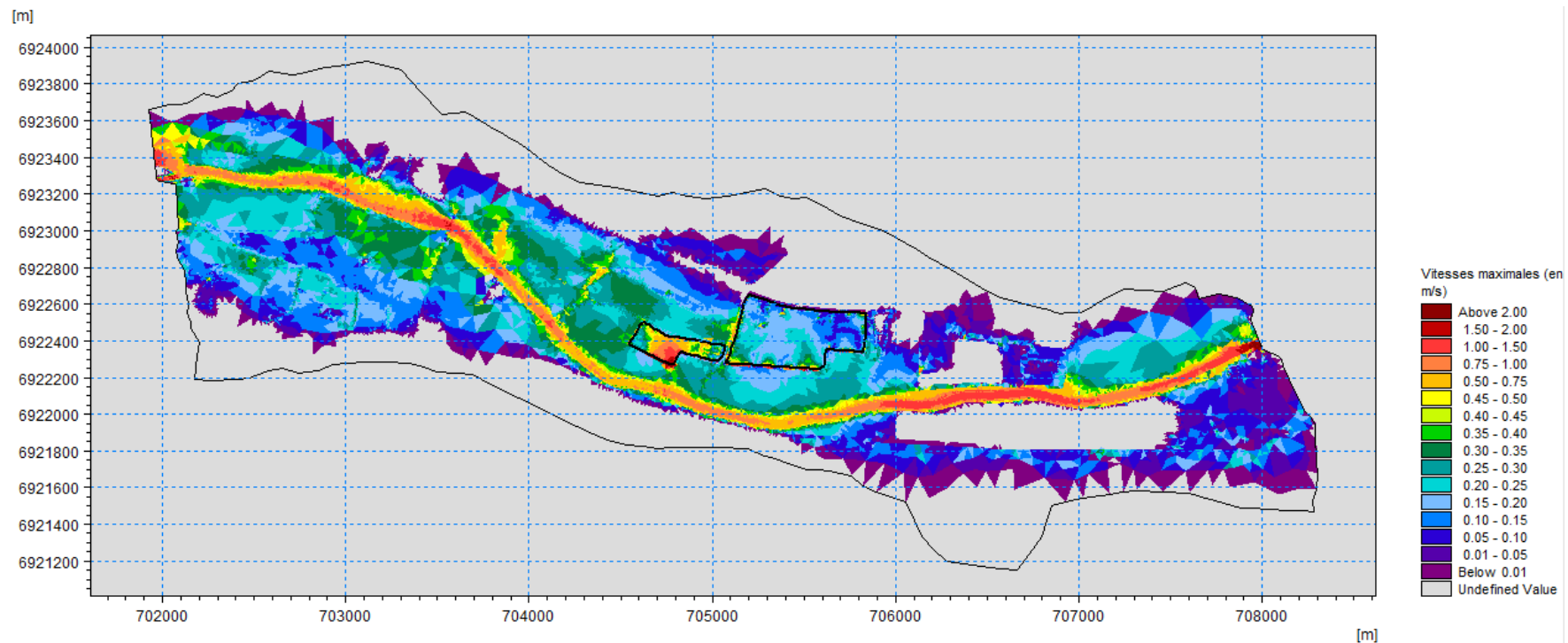


Figure 32 : Vitesses maximales atteintes en état projet lors d'une crue centennale sur l'ensemble de la zone modélisée

Comme en état initial, les vitesses maximales sont atteintes lors de la mise en eau du lit majeur.

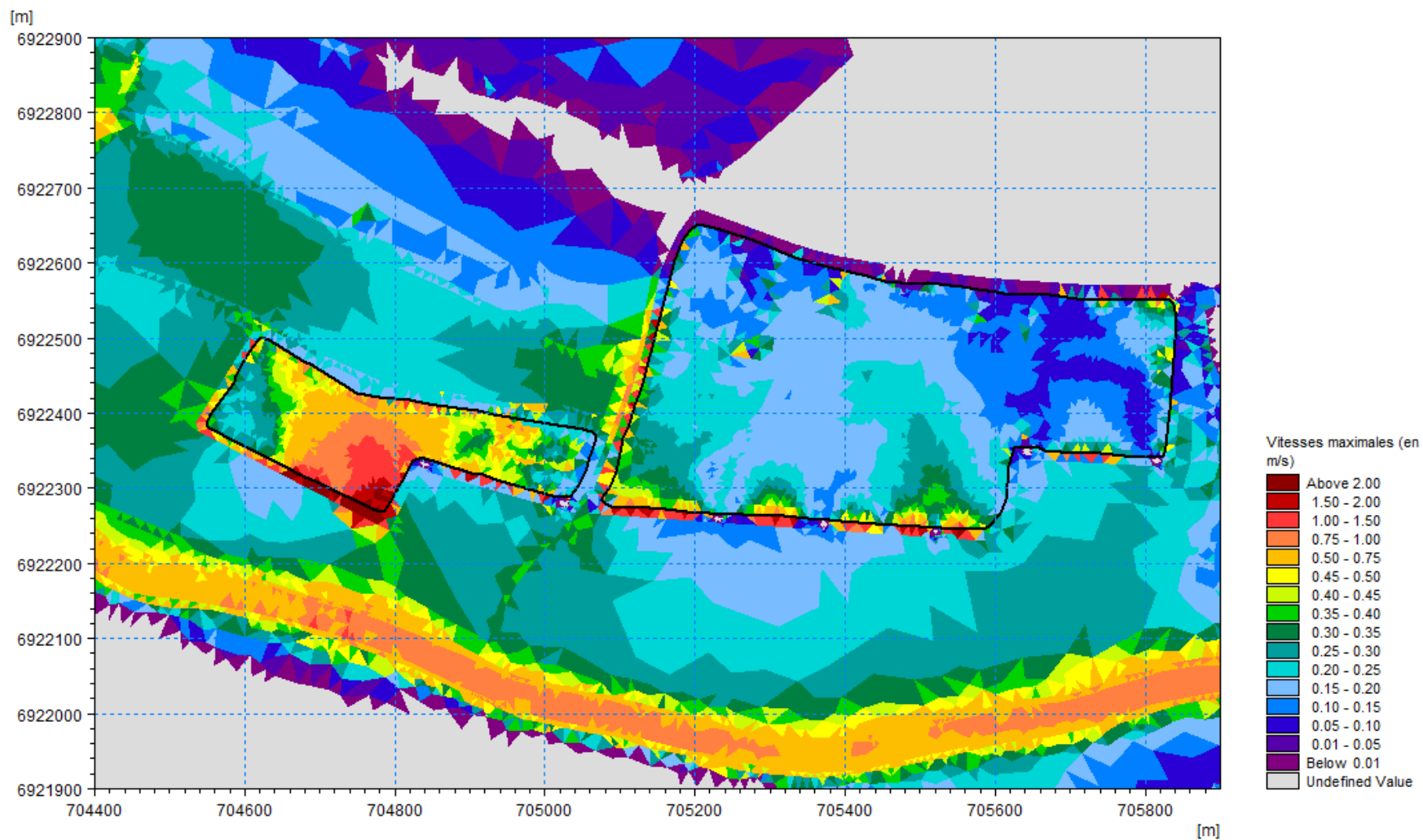


Figure 33 : Vitesses maximales atteintes en état projet lors d'une crue centennale au droit du projet

Les vitesses observées lors du pic de crue sont inférieures à 0.25 m dans les plans d'eau.

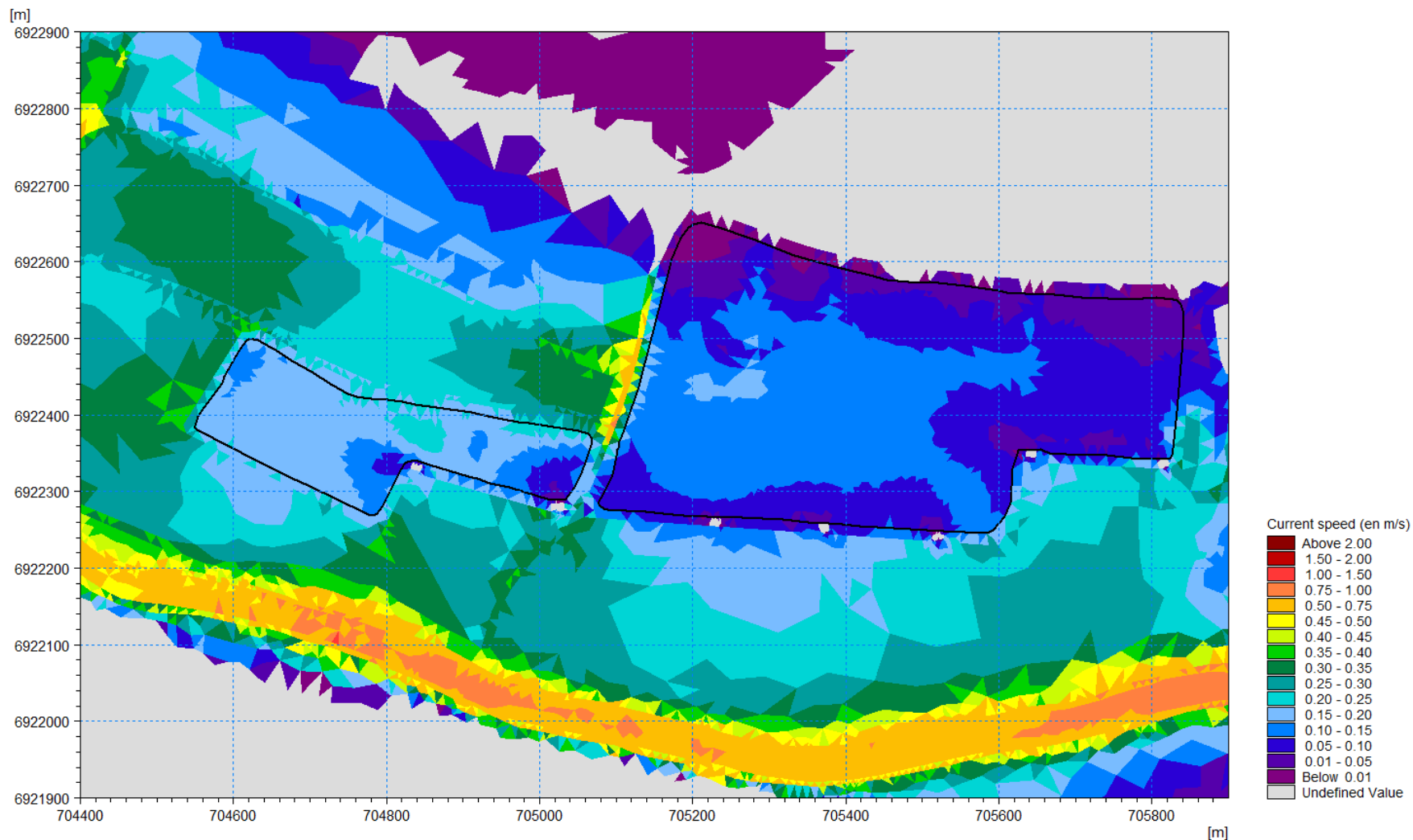


Figure 34 : Vitesses atteintes en état projet lors du pic d'une crue centennale au droit du projet

Sur les deux plans d'eau, les écoulements sont majoritairement de l'Est vers l'Ouest comme le montre la figure ci-dessous.

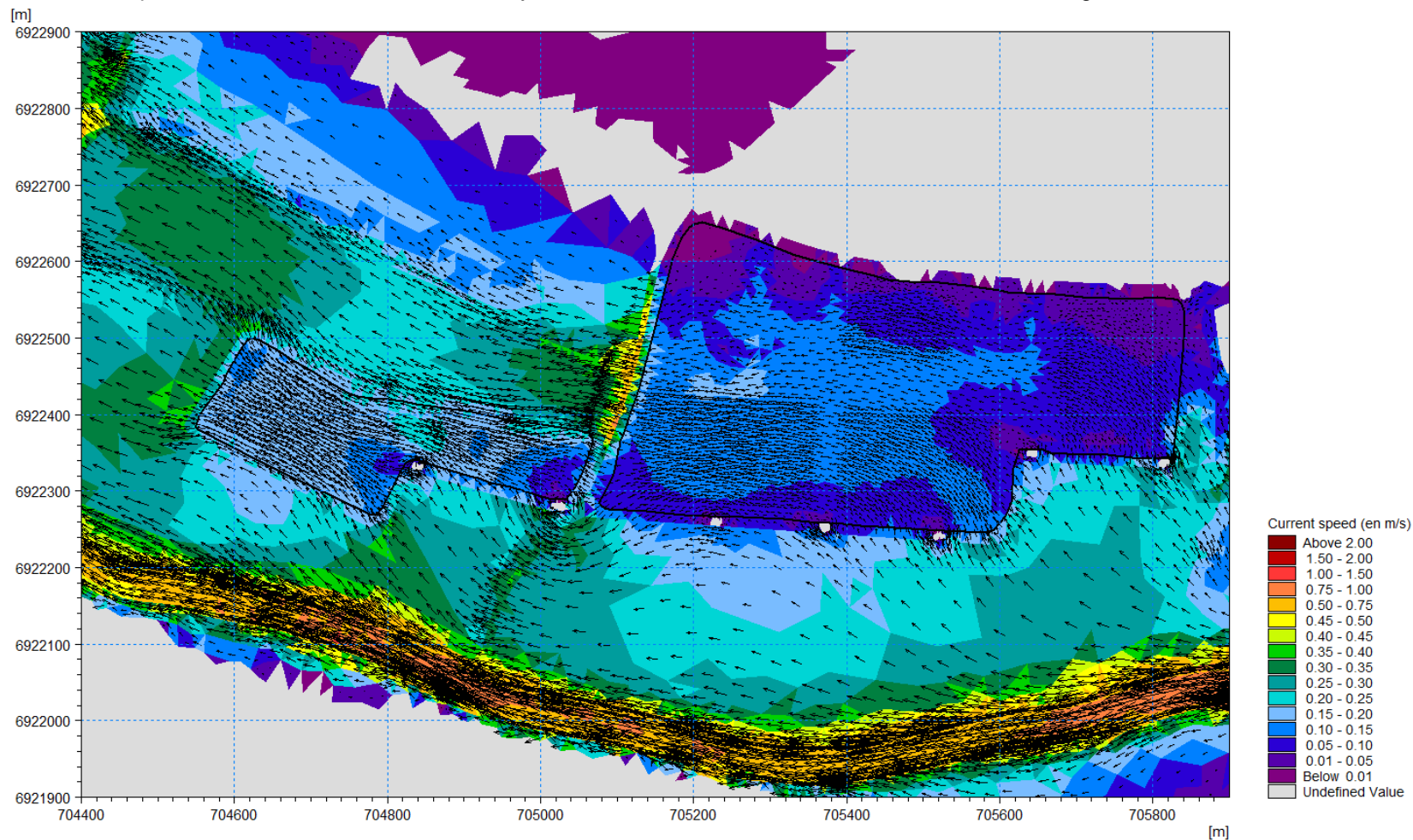


Figure 35 : Direction des vitesses en état projet lors du pic d'une crue centennale au droit du projet

Les directions des écoulements ne semblent pas être modifiées entre l'état initial et l'état aménagé en dehors de la zone projet.

6.6 Différence de vitesses maximales atteintes

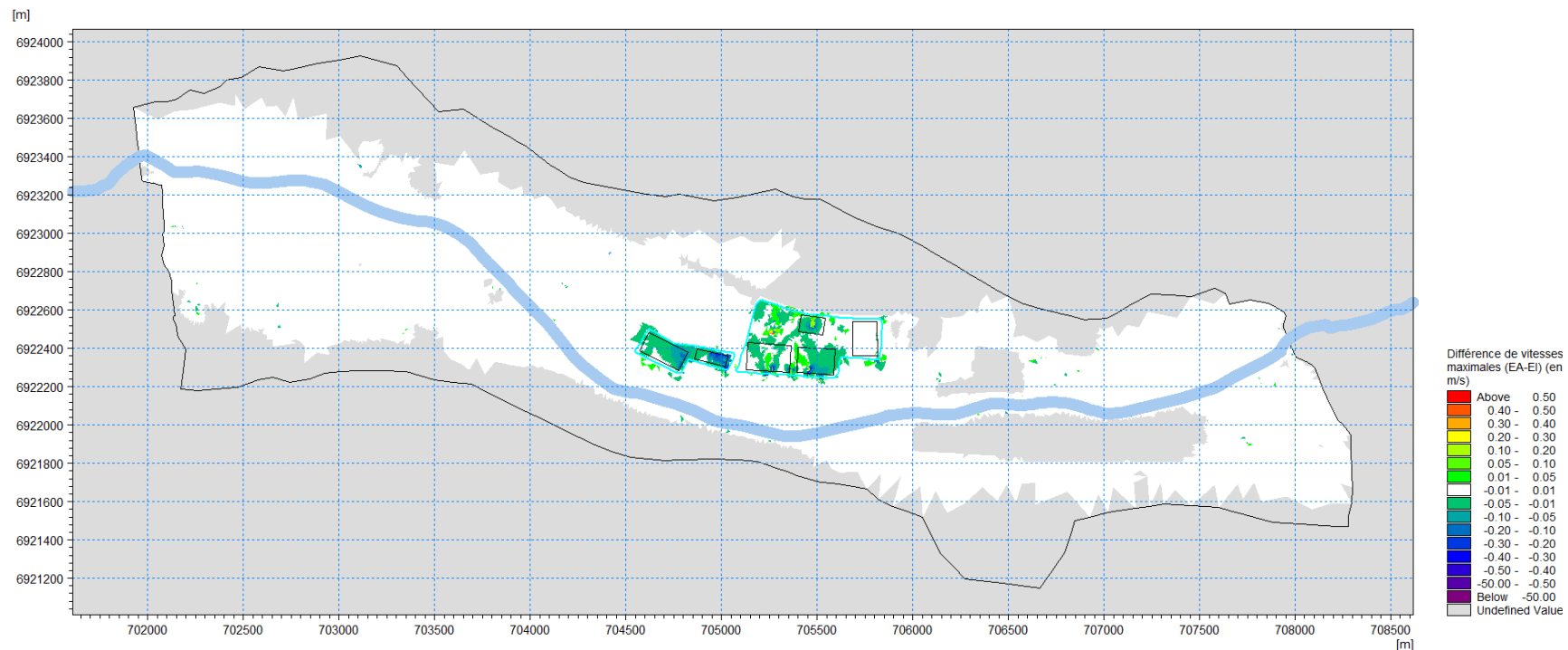


Figure 36 : Différence de vitesses maximales atteintes entre l'état projet et l'état initial lors d'une crue centennale sur l'ensemble de la zone modélisée

En considérant que les postes sont remblayés, les différences de vitesses obtenues entre l'état projet et l'état initial se situent uniquement au droit du projet.

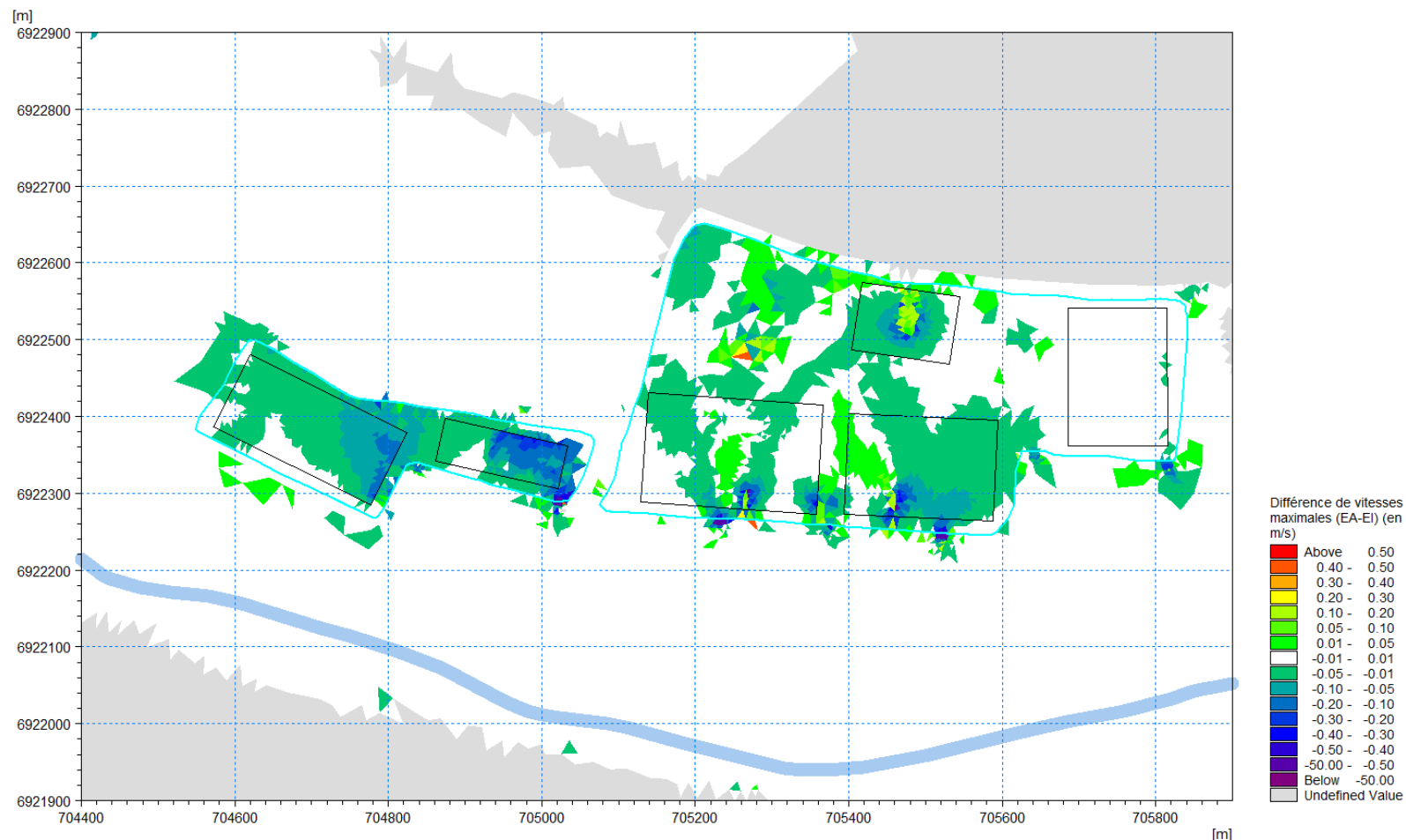


Figure 37 : Différence de hauteurs d'eau maximales atteintes entre l'état projet et l'état initial lors d'une crue centennale au droit du projet

La différence au droit de la zone projet s'étend sur l'ensemble des deux plans d'eau. Des hausses de vitesses sont observées au droit des zones décaissées ainsi que sur la limite Nord-Ouest du plan d'eau Est. Des impacts négligeables (entre -0.05 et +0.05 m/s) sont observés en dehors du projet et ce, essentiellement au droit des postes (considérés comme remblayés).

6.7 Différence des résultats entre les simulations avec postes sur pilotis et remblayés

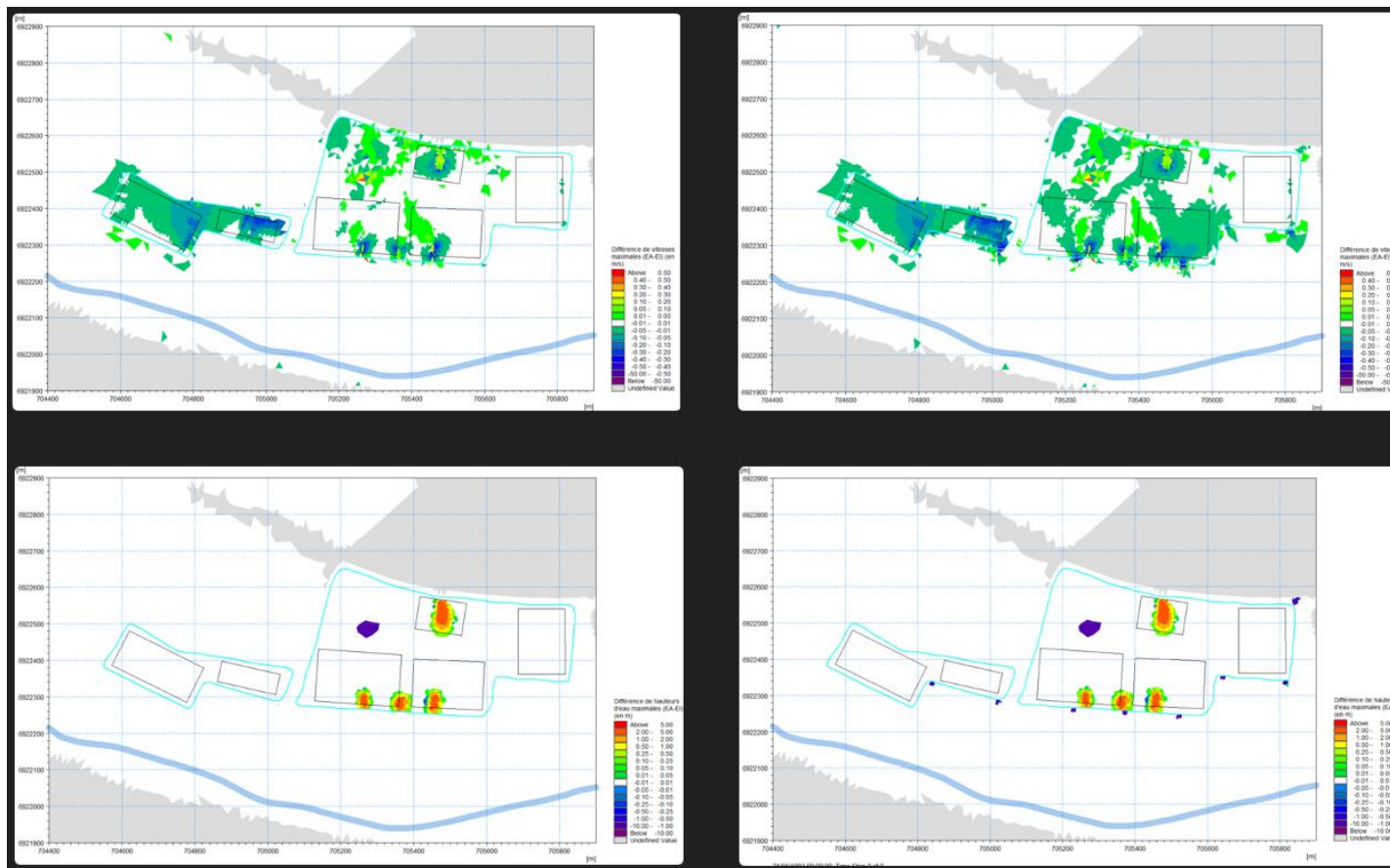


Figure 38 : Différence de vitesses maximales atteintes (en haut) et de hauteurs d'eau (en bas) entre l'état projet avec postes sur pilotis (à gauche) ou avec postes sur remblai (à droite) et l'état initial lors d'une crue centennale au droit du projet

Les différences de vitesses sont du même ordre de grandeur avec des postes sur pilotis que sur remblai. Les différences de hauteurs d'eau sont limitées à la zone des postes et des mouvements de terre.

6.8 Bilan surfacique et volumique

Le projet n'est à ce stade pas défini de manière suffisamment précise pour calculer de manière fine le bilan surfacique et volumique. Toutefois au regard du projet, le bilan surfacique et volumique sera positif au global puisque les mouvements de terre ont un impact nul et que les terres décaissées restantes seront évacuées hors zone inondable.

7. CONCLUSION

Au regard des informations actuellement disponibles sur le projet de parc de panneaux photovoltaïques flottants sur les communes de Bitry et Attichy, **le projet ne génère pas d'impact hydraulique en dehors de la zone du projet** que ce soit au regard des écoulements (emprise de la zone inondée, cotes, hauteurs d'eau et vitesses maximales atteintes) ou au regard du bilan surfacique et volumique global.

CONSULTING

SUEZ Consulting (SAFEGE SAS)
Parc de l'île
15-27, Rue du Port
92022 NANTERRE CEDEX
Tel. : + 33 1 46 14 71 00
www.suez.com/fr/consulting-conseil-et-ingenierie

