

AMÉNAGEMENT DES ACCÈS DÉFINITIFS  
DU PONT FLAUBERT EN RIVE GAUCHE DE LA SEINE



Pièce E - Annexe 3  
Études hydrologiques, hydrogéologiques et d'assainissement





# 3. Annexe 03 Études hydrologiques, hydrogéologiques et d'assainissement





MINISTERE DE L'ECOLOGIE, DU DEVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ENERGIE



LIAISON SUD III / AUTOROUTE A150 - 6EME FRANCHISSEMENT DE LA SEINE A ROUEN -  
RACCORDEMENT DEFINITIF AU PONT GUSTAVE FLAUBERT EN RIVE GAUCHE DE LA SEINE

*Etudes hydrologiques, hydrogéologiques et d'assainissement*



Affaire 8970/2 & /3 du 2 avril 2015

## Sommaire

<b>1</b>	<b>CONTEXTE ET OBJECTIFS.....</b>	<b>9</b>
1.1	Contexte	9
1.2	Objectifs	10
<b>2</b>	<b>ÉTAT INITIAL.....</b>	<b>11</b>
2.1	Localisation du projet	11
2.2	Description du projet	11
2.2.1	Rive gauche	11
2.2.2	Rive droite	14
2.3	Inscription du projet dans la politique de développement urbain	15
2.4	Compartiment atmosphérique	18
2.4.1	Contexte météorologique	18
2.4.2	Risques naturels liés aux phénomènes atmosphériques	20
2.5	Compartiment terrestre et eaux superficielles	23
2.5.1	Topographie	23
2.6	Sol et sous-sol	27
2.6.1	Contexte géologique local	27
2.6.2	Formations superficielles - alluvions	27
2.6.3	Substratum crayeux et calcaire – structure	27
2.7	Contexte hydrogéologique	31
2.7.1	Masses d'eau souterraines	31
2.7.2	Piezométrie	32
2.8	Bassin Versant	34
2.8.1	Situation du projet au sein du réseau hydrographique	34
2.8.2	Réseau hydrographique	35

2.8.3	Bassins versants et organismes de gestion	37
<b>2.9</b>	<b>La Seine</b>	<b>39</b>
2.9.1	Approche statistique des débits de la Seine	39
2.9.2	Influence de la marée et hauteurs d'eau	42
2.9.3	Les crues historiques de la Seine	45
2.9.4	Déroulement de la crue de 1910	48
2.9.5	Impact du rehaussement du niveau global de la mer sur la Seine	50
2.9.6	Caractéristiques qualitatives locales de la Seine	52
2.9.7	Apports atmosphériques - Précipitations locales	55
2.9.8	Risques d'inondation	57
<b>2.10</b>	<b>Milieux naturels et biodiversité locale</b>	<b>60</b>
2.10.1	Milieux naturels inventoriés et protégés	60
<b>3</b>	<b>VOLET ASSAINISSEMENT PLUVIAL : DIAGNOSTIC HYDRAULIQUE DE LA SITUATION FONCTIONNELLE .....</b>	<b>64</b>
3.1	Délimitation du bassin versant étudié	64
3.2	Système de collecte et de traitement des eaux du pont Flaubert	66
3.2.1	Diagnostic	66
3.2.2	Reportage photographique au niveau du tablier du pont Flaubert	67
3.3	Détail du fonctionnement en rive gauche	69
3.3.1	Diagnostic	69
3.3.2	Reportage photographique – rive gauche	72
3.4	Détail du fonctionnement en rive droite	73
3.4.1	Diagnostic	73
3.4.2	Reportage photographique – rive droite	75
3.5	Synthèse du fonctionnement hydraulique de la situation fonctionnelle	77
<b>4</b>	<b>MODELISATIONS HYDRAULIQUES.....</b>	<b>78</b>
4.1	Objectifs	78
4.2	Principes de la modélisation hydraulique	79

4.2.1 Principes	79
4.2.2 Présentation du logiciel	79
4.2.3 Architecture des modèles	79
4.2.4 Choix de la crue de projet	80
4.2.5 Choix de la crue de sécurité	81
4.2.6 Conditions aux limites	81
4.3 Vérification de la pertinence du modèle (calage)	83
4.3.1 Création du maillage dans l'état de référence	83
4.3.2 Calage	84
<b>5 MODELISATIONS DE LA CRUE DE PROJET (EVENEMENT 1910).....</b>	<b>86</b>
5.1 Modélisation de la situation actuelle	86
5.2 Modélisation de la situation future 1	90
5.3 Modélisation de la situation Future 2	94
5.4 Conclusion	97
<b>6 MODELISATION DE LA CRUE DE SECURITE PRISE EN COMPTE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE.....</b>	<b>99</b>

## Table des illustrations

### Liste des planches

Planche 1 (hors texte) : Localisation du projet (Fond de plan IGN)	11
Planche 2 (hors texte) : Le patrimoine naturel inventorié et protégé à proximité du projet (DREAL de Haute-Normandie)	60

### Liste des tableaux

Tableau 1 : Données hydrologiques de synthèse sur les trois stations hydrométriques de la Seine en aval de Poses (Source Banque HYDRO)	40
Tableau 2 : Plus hautes eaux enregistrées au marégraphe de Rouen	42
Tableau 3 : Principales crues de la Seine (Source Port Autonome de Rouen -2010)	47
Tableau 4 : Chronologie de la crue de la Seine en janvier-février 1910	48
Tableau 5 : Principales actions à mettre en œuvre sur la masse d'eau Seine estuaire amont dans le cadre de la DCE (AESN)	54
Tableau 6 : Hauteurs moyennes des précipitations mensuelles et annuelles (Météo France, Station Rouen-Boos, Années 1971-2000)	55
Tableau 7 : Valeur intensité-durée-fréquence (Rouen)	56
Tableau 8 : Nombre de jours de précipitations annuel moyen	56
Tableau 9 : Tableau comparatif des résultats (m NGF) du modèle pour l'état initial et des seuils de référence du PPRI	85



Tableau 10	: Récapitulatif des résultats (m NGF) des situations « référence » et « actuelle »	88
Tableau 11	: Récapitulatif des résultats (m NGF) des situations « actuelle » et « future 1 »	91
Tableau 12	: Récapitulatif des résultats (m NGF) des situations « actuelle » et « future 2 »	95
Tableau 13	: Récapitulatif des résultats des modélisations (m NGF)	98
Tableau 14	: Récapitulatif des résultats des modélisations (m NGF) – Crue de sécurité	103

### Liste des Schémas

Schéma 1	: Variante Aérienne	12
Schéma 2	: Variante en tranchée ouverte ou semi-enterrée	13
Schéma 3	: Projet fonctionnel en rive droite	14
Schéma 4	: Hiérarchisation du réseau viaire (SCoT, arrêté du 13 octobre 2014)	15
Schéma 5	: Programme d'action du Plan de Déplacements Urbains (PDU, 2014)	16
Schéma 6	: Les régions climatiques françaises (Météo France)	19
Schéma 7	: Tempêtes d'octobre 1987, de février 1990 et de décembre 1999 (Météo France)	21
Schéma 8	: Topographie de la vallée de la Seine et du Cailly autour du Pont Flaubert	23
Schéma 9	: Topographie locale (MNT)	26
Schéma 10	: Extrait de la carte géologique de la boucle de la Seine à Rouen	28
Schéma 11	: Carte géologique sous alluvions aux abords immédiats du Pont Flaubert	29
Schéma 12	: Coupes géologiques synthétiques de la boucle de Seine aux abords du pont Flaubert	30
Schéma 13	: Esquisse piézométrique de la nappe de la Craie à Rouen (m NGF)	33
Schéma 14	: Caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère crayeux dans la vallée de la Seine	34

Schéma 15	: Les six bassins hydrographiques français	35
Schéma 16	: Le bassin Seine-Normandie	35
Schéma 17	: Bassin versant de la Seine	36
Schéma 18	: Localisation SAGE Cailly, Aubette, Robec	38
Schéma 19	: Localisation des stations hydrométriques sur la Seine	39
Schéma 20	: Présentation de la Seine et de ses affluents principaux	45
Schéma 21	: Qualité de la Seine sur la masse d'eau Seine-Estuaire-Amont	53
Schéma 22	: Objectifs de qualité de la masse d'eau Seine-Estuaire-Amont (AESN)	54
Schéma 23	: Carte des aléas du PPRI Vallée de Seine – Boucle de Rouen (DDTM 76)	58
Schéma 24	: Carte du zonage du PPRI Vallée de Seine – Boucle de Rouen (DDTM 76)	59
Schéma 25	: Localisation de l'impluvium étudié	65
Schéma 26	: Schéma de principe du fonctionnement du système de traitement à l'exutoire du réseau de collecte rive gauche	71
Schéma 27	: Schéma de principe du fonctionnement du système de traitement à l'exutoire du réseau de collecte rive droite	74
Schéma 28	: Extrait du PPRI de la Seine aval – Crue de 1910	80
Schéma 29	: Maillage et conditions aux limites	82
Schéma 30	: Maillage & MNT de l'état de référence	83
Schéma 31	: Superposition des hauteurs d'eau maximales calculées pour un événement similaire à celui de 1910 et des limites du PPRI Seine aval	84
Schéma 32	: Maillage & MNT du modèle en situation actuelle	87
Schéma 33	: Résultats de la modélisation de la situation actuelle – Hauteurs maximales – Crue 1910	88
Schéma 34	: Maillage & MNT du modèle en situation future 1	90
Schéma 35	: Résultats de la modélisation (m NGF) de la situation « future 1 » – Hauteurs maximales	92
Schéma 36	: Maillage & MNT du modèle en situation future 2	94
Schéma 37	: Résultats de la modélisation de la situation « future 2 » – Hauteurs maximales	95

Schéma 38	: Résultats de la modélisation de la situation actuelle et lors de la crue sécurité retenue— Hauteurs maximales	100
Schéma 39	: Résultats de la modélisation de la situation future 1 et lors de la crue sécurité retenue— Hauteurs maximales	101
Schéma 40	: Résultats de la modélisation de la situation future 2 et lors de la crue sécurité retenue— Hauteurs maximales	102

## Liste des photos

Photo 1 (vues a et b)	: Relief	26
Photo 2(vues a et b)	: Photographies de Rouen inondé (source : arehn)	49
Photo 3(vues a et b)	: Collecte des eaux de ruissellement dans le tablier levant	67
Photo 4(vues a et b)	: Raccordement partie levante/partie fixe	68
Photo 5(vues a, b et c)	: Collecte des eaux de ruissellement	68
Photo 6(vues a, b et c)	: Transfert des eaux de ruissellement	69
Photo 7(vues a, b et c)	: Collecte des eaux de ruissellement	72
Photo 8(vues a, b et c)	: Dysfonctionnement au niveau de la gouttière rive gauche	72
Photo 9(vues a, b et c)	: Système de traitement au niveau du CEI	72
Photo 10	: Exutoire rive gauche	73
Photo 11(vues a, b et c)	: Collecte des eaux de ruissellement – rive droite	75
Photo 12(vues a, b et c)	: Ouvrage de traitement – rive droite	75
Photo 13(vues a, b et c)	: Système de confinement – rive droite	76
Photo 14	: Exutoire rive droite	76



## 1

## Contexte et objectifs

### 1.1 Contexte

L'opération « voiries définitives du 6<sup>ème</sup> pont » consiste à raccorder définitivement le pont Flaubert aux 2 rives de la Seine.

Cette opération fait partie du programme de liaison entre les autoroutes A150 et A13, lui-même inscrit au PDU et en projet du SCOT de la Métropole Rouen Normandie.

Le projet comprend tous les ouvrages nécessaires pour relier le Pont Flaubert :

- à la Sud III au niveau de la commune de Petit-Quevilly (rive gauche de la Seine) ;
- à l'A150 au niveau du viaduc des barrières du Havre (rive droite de la Seine).

Il comprend également tous les échanges, qui se feront par des carrefours dénivelés, entre la voie rapide à 2x2 voies créée et la voirie urbaine actuelle et projetée (Eco-Quartier Flaubert)

La liaison Sud III / A150 a pour objectifs :

- l'amélioration l'écoulement du trafic nord-sud et le franchissement de la Seine sans passage par le centre-ville de Rouen, assurant la continuité des autoroutes A13 au sud et A150 au nord ;
- la desserte du Port Autonome de Rouen et des zones industrielles attenantes ;
- l'amélioration les conditions de circulation dans l'ouest de l'agglomération et la desserte des zones urbanisées ;
- l'accompagnement les mutations des quartiers situés au pied du pont Flaubert, en rive droite et en rive gauche.

### 1.2 Objectifs

La présente étude a pour objectif, la réalisation des études hydrauliques et hydrogéologiques et d'un diagnostic de la situation fonctionnelle nécessaires aux sous-dossiers 1,2 et 3 du dossier d'AP5 Modificatif des voiries définitives du pont Flaubert (concernant le projet routier définitif en rive gauche).

L'étude comprend 3 phases :

Phase 1 : Analyse de l'état initial et définition de la zone d'étude ;

Phase 2 : Analyse des variantes ;

Phase 3 : Etude de la variante retenue en rive gauche et du projet fonctionnel en rive droite

Ces trois phases de l'étude prennent en compte les 3 thématiques suivantes :

- 1) Hydraulique ;
- 2) Hydrogéologique ;
- 3) Gestion des eaux pluviales.

Leurs objectifs finaux sont :

- 1) D'appréhender les impacts réels du projet sur la dynamique de la Seine en cas d'inondation. Dans l'affirmative, des mesures compensatoires devront être proposées afin de rendre le projet transparent en termes d'inondabilité. La mesure correctrice correspond à « proposer » et à dimensionner des ouvertures (ouvrages d'art) au niveau des remblais de la voie d'accès RG ;
- 2) Définir les impacts (quantitatif + qualitatif) du projet (des voies d'accès + ouvrages pluviaux) sur les écoulements souterrains.

Le présent dossier correspond à la phase 1 sur les trois thématiques ainsi qu'aux phases 2 et 3 du volet hydraulique (modélisation de l'événement 1910 et de la crue de sécurité).

## 2

### Etat initial

#### 2.1 Localisation du projet

Le projet du raccordement au pont Flaubert est situé sur le territoire communal de Rouen, en Seine-Maritime.

Située à égale distance de Paris et du littoral de la Manche, l'agglomération rouennaise est un pôle démographique et d'activités majeures du Bassin parisien et de l'Ouest de la France. Le site de Rouen est inscrit dans un des méandres de la Seine, sur une plaine alluviale étroite, au Sud du département de la Seine-Maritime.

**Planche 1 (hors texte) : Localisation du projet (Fond de plan IGN)**

Au cœur de l'agglomération rouennaise, en bordure de la Seine, le site se trouve sur un secteur à forts enjeux de développement pour l'Ouest de la zone urbaine de Rouen. Ce secteur en pleine mutation accueille déjà la Salle des Musiques Actuelles (SMAC) et, en rive droite, le centre commercial des Docks 76 et récemment le Palais des Sports de Rouen.

#### 2.2 Description du projet

Le linéaire du projet est séparé en deux tronçons, sur la rive gauche et la rive droite de la Seine, sur lesquels plusieurs variantes routières sont étudiées.

##### 2.2.1 Rive gauche

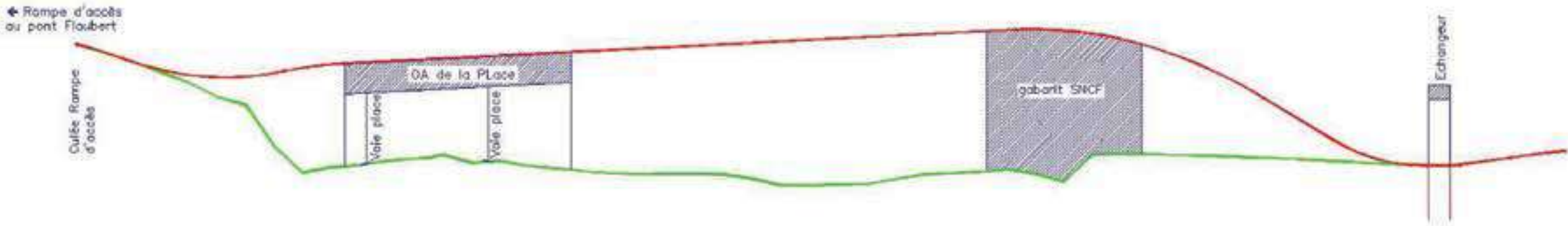
En rive gauche, les configurations à étudier sont les deux variantes qui relient les viaducs d'accès au Pont Flaubert à la voie rapide Sud III, en s'y rattachant au niveau de l'échangeur de Stalingrad :

- le **projet aérien**, composé de deux ouvrages d'art et de remblais de forte hauteur : un premier d'environ 160 m enjambant la future place de Madagascar (entre les rues Malétra et Bourbaki), et un second passant au-dessus de la voie SNCF (Cf. Schéma 1)
- la **variante en tranchée ouverte ou semi-enterrée**, caractérisée par un tracé en déblais et un passage sous les voies SNCF longeant Sud III (Cf. Schéma 2).



MINISTERE DE L'ÉCOLOGIE, DU Développement Durable et de l'Energie  
LIAISON SUD III / AUTOROUTE A150 - 6ÈME FRANCHISSEMENT DE LA SEINE A ROUEN - RACCORDEMENT DÉFINITIF AU PONT GUSTAVE FLAUBERT EN RIVE GAUCHE DE LA SEINE  
Etudes hydrologiques, hydrogéologiques et d'assainissement

Schéma 1 : Variante Aérienne



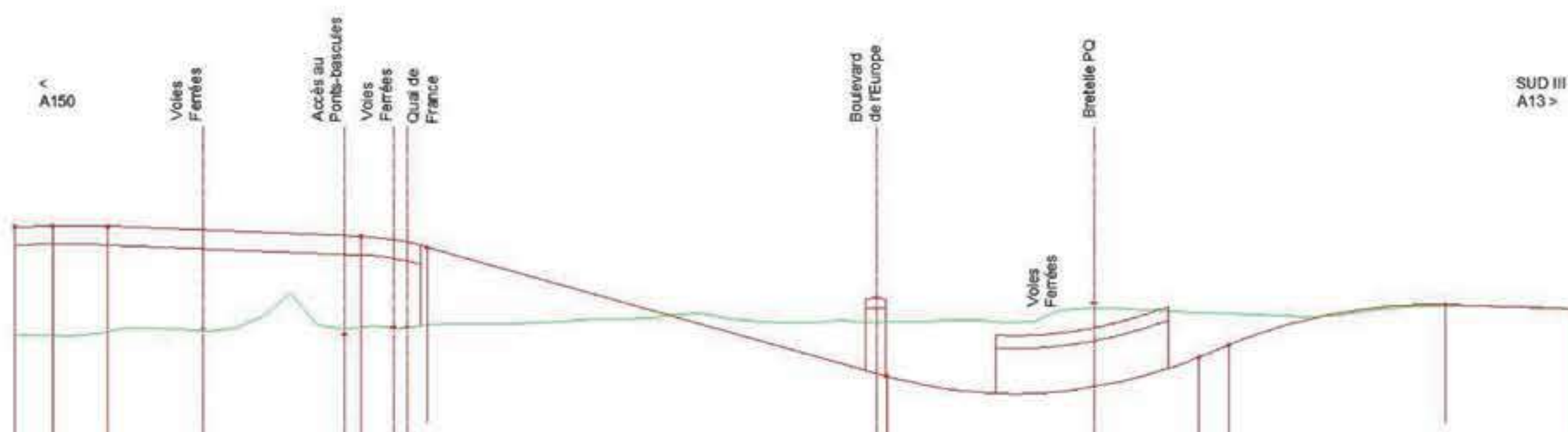
MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE



LIAISON SUD III / AUTOROUTE A150 - GÈME FRANCHISSEMENT DE LA SEINE À ROUEN - RACCORDEMENT DÉFINITIF AU PONT GUSTAVE FLAUBERT EN RIVE GAUCHE DE LA SEINE

Études hydrologiques, hydrogéologiques et d'assainissement

Schéma 2 : Variante en tranchée ouverte ou semi-enterrée





## 2.2.2 Rive droite

En rive droite de la Seine, la présente étude porte sur les impacts des voiries actuelles (« projet fonctionnel » en service depuis septembre 2008) sur l'hydrogéologie et l'hydrologie.

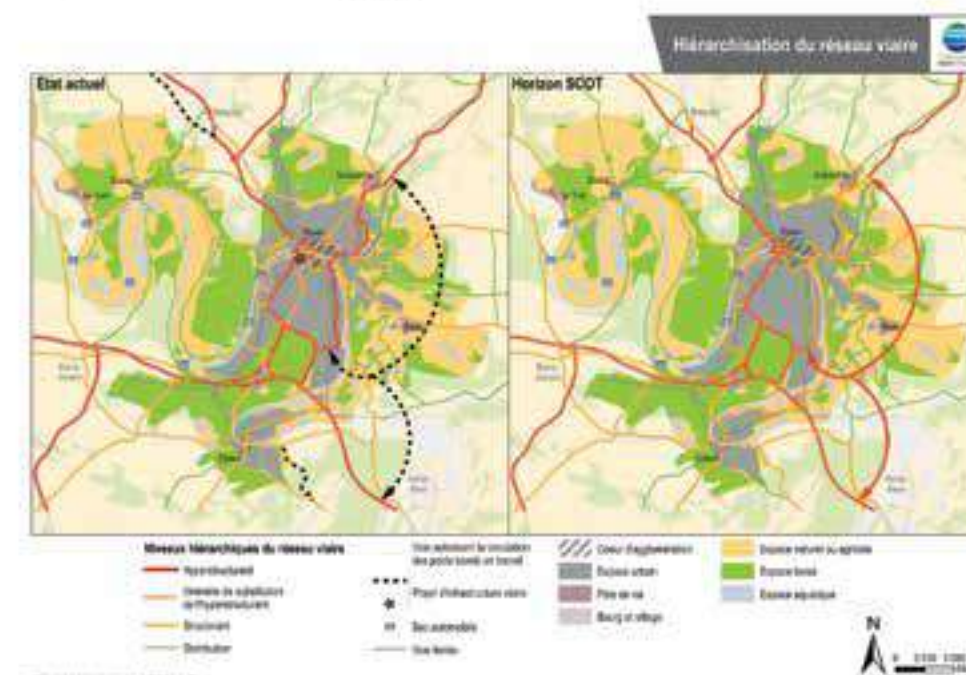
Schéma 3 : Projet fonctionnel en rive droite



## 2.3 Inscription du projet dans la politique de développement urbain

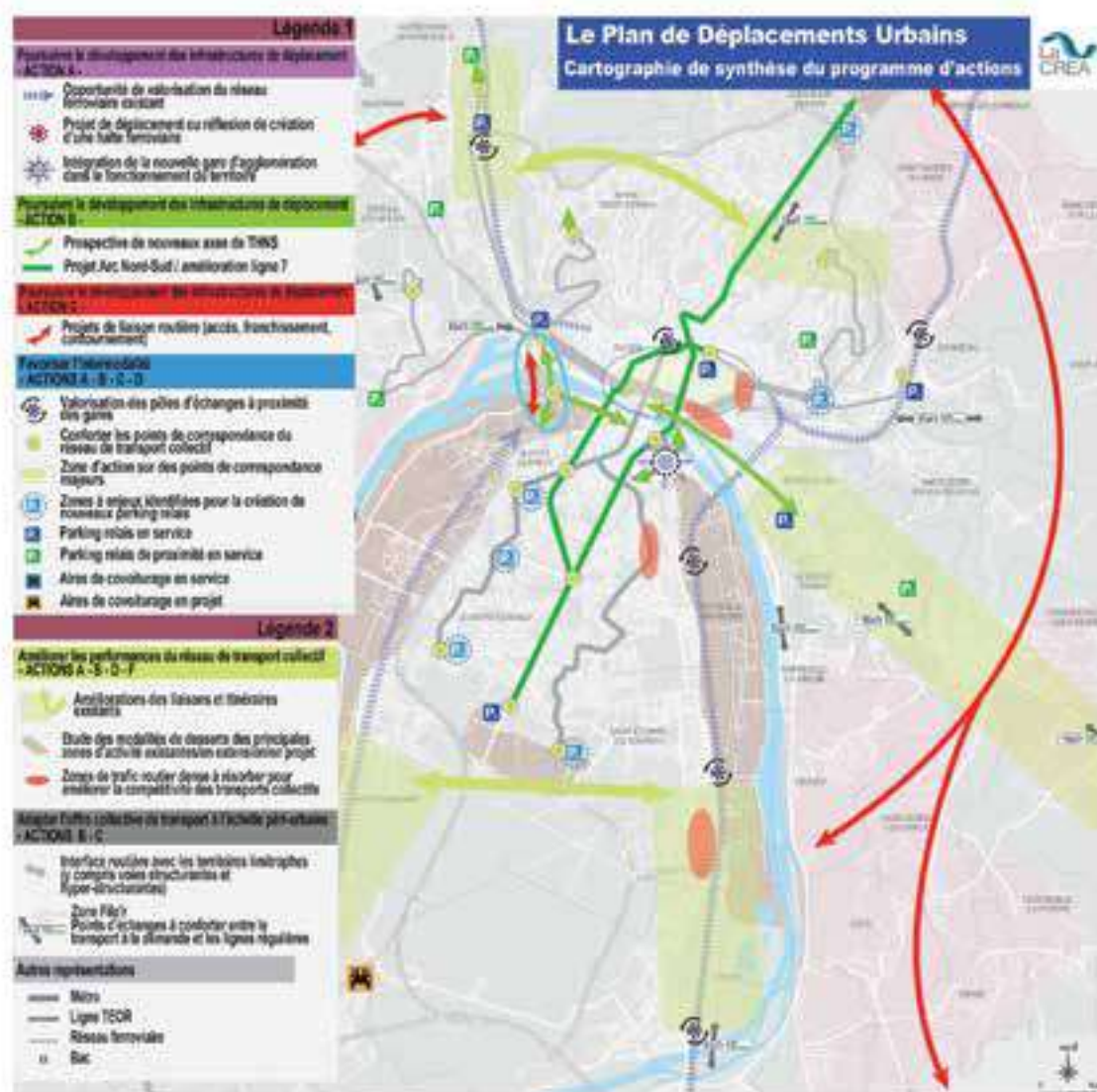
L'opération s'inscrit dans la politique d'aménagement et de développement du territoire depuis de nombreuses années. Elle était prévue au Schéma Directeur Routier National d'Avril 1992 (révisé et prolongé jusqu'en 2015) et inscrite dans les projets du Schéma Directeur de l'Agglomération Rouen-Elbeuf (SDARE), approuvé en février 2001 par les élus du Syndicat Mixte qui couvrait les intercommunalités de Rouen et d'Elbeuf. Le projet du Schéma de Cohérence Territoriale (SCoT) de la métropole, qui fait suite à ce SDARE, intègre également cette opération.

Schéma 4 : Hiérarchisation du réseau viaire (SCoT, arrêté du 13 octobre 2014)



L'opération est inscrite dans le Plan de Déplacements Urbains de 2014.

Schéma 5 : Programme d'action du Plan de Déplacements Urbains (PDU, 2014)



Cet aménagement permettra à terme une liaison continue à 2 x 2 voies, classée en route express, entre les autoroutes A13 et A150, et même jusqu'à l'A29 grâce à la réalisation de la portion d'A150 entre Barentin et Yvetot, mise en service le 09 février 2015.

Il permettra également une desserte directe et de qualité de l'ouest de l'agglomération rouennaise et notamment des nouveaux quartiers en cours de développement (Luciline, Ecoquartier flaubert...) et de ses zones portuaires et industrielles qui jouent un rôle essentiel dans l'économie régionale.

Le projet répond donc aux objectifs du Schéma Directeur de l'agglomération Rouen-Elbeuf approuvé en février 2001 traduit en stratégie d'aménagement dans le cadre d'un plan directeur d'aménagement et de développement pour le secteur Seine-Ouest en 2005.

Il s'inscrit dans les objectifs du Plan de Déplacement Urbain de la Métropole Rouen Normandie (2014) et est intégré au projet du Schéma de Cohérence Territorial (SCoT).



## 2.4 Compartiment atmosphérique

### 2.4.1 Contexte météorologique

Les informations de ce chapitre sont extrapolées à partir des données disponibles auprès de Météo France. Elles ont été complétées par les observations de la station météorologique de Rouen-Boos qui fournit des statistiques pour une période d'observation de 30 ans (1971 - 2000).

La zone d'étude présente des caractéristiques climatiques générales de type océanique qui sont fortement conditionnées par le courant perturbé atlantique au voisinage du 50ème parallèle Nord :

- Températures douces ;
- Pluviométrie relativement abondante et répartie tout au long de l'année.

Toutefois, il existe des nuances importantes entre les régions soumises à ce climat océanique en fonction de la position géographique (littorale et intérieur des terres) et du relief.

Aussi, plus localement, la zone d'étude est située dans la région climatique des côtes de la Manche orientale qui présente les déclinaisons climatiques suivantes :

- Faible ensoleillement (< 1550 h/an) ;
- Forte humidité de l'air (plus de 20 h/j) avec une humidité > 80 % en hivers ;
- Vents forts fréquents.

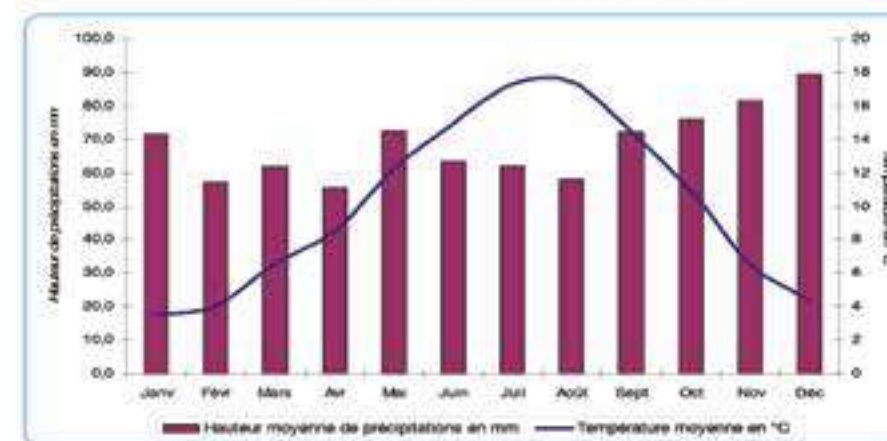
Les données détaillées dans la fiche climatologique de Rouen-Boos qui permettent de faire ressortir, au niveau du secteur d'étude, les tendances suivantes :

- Température moyenne annuelle de 10,1 °C présentant une variation de 16,4 °C entre le mois le plus chaud (Août - 22,4 °C) et celui le plus froid (Janvier - 6,0 °C) ;
- Un ensoleillement moyen cumulé de 1518 h/an ;
- Des vents de secteurs Sud-Ouest, Ouest ou Nord-Est, dont la vitesse moyenne annuelle est de 4,2 m/s. Toutefois, la vitesse des vents peut rapidement augmenter puisque sur une année, on note en moyenne 54,3 jours avec des vents de plus de 16 m/s. Les rafales les plus fortes ont été recensées en décembre 1999 avec une vitesse atteignant les 39 m/s ;
- Des précipitations dont la hauteur cumulée moyenne est de 820,7 mm/an ;
- 80,6 j/an présentent du brouillard avec une fréquence plus importante en hiver ;
- 16,5 j/an présentent des orages avec une fréquence plus importante en été ;
- 13,5 j/an présentent des chutes de neige avec une fréquence plus importante en hiver ;
- 5,4 j/an présentent des chutes de grêle avec une fréquence plus importante en Avril.

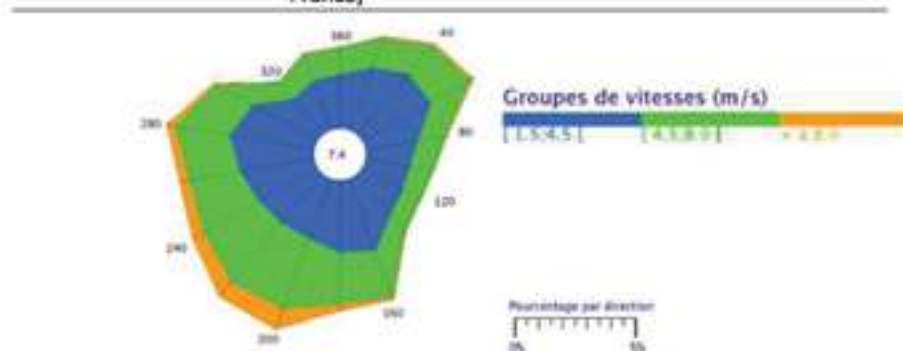
Schéma 6 : Les régions climatiques françaises (Météo France)



Graphique 1 : Evolution mensuelle des températures et des précipitations moyennes à Rouen - Boos (Météo France)



Graphique 2 : Rose des vents de la station de Rouen - Boos (Météo France)



## 2.4.2 Risques naturels liés aux phénomènes atmosphériques

Dans cette partie, nous ne traiterons que des risques directement liés aux phénomènes atmosphériques. Les risques indirects, tels que les inondations ou les coulées de boues induits par de fortes précipitations seront traités ultérieurement dans ce document. Ainsi, cette partie ne traitera que du risque lié aux tempêtes.

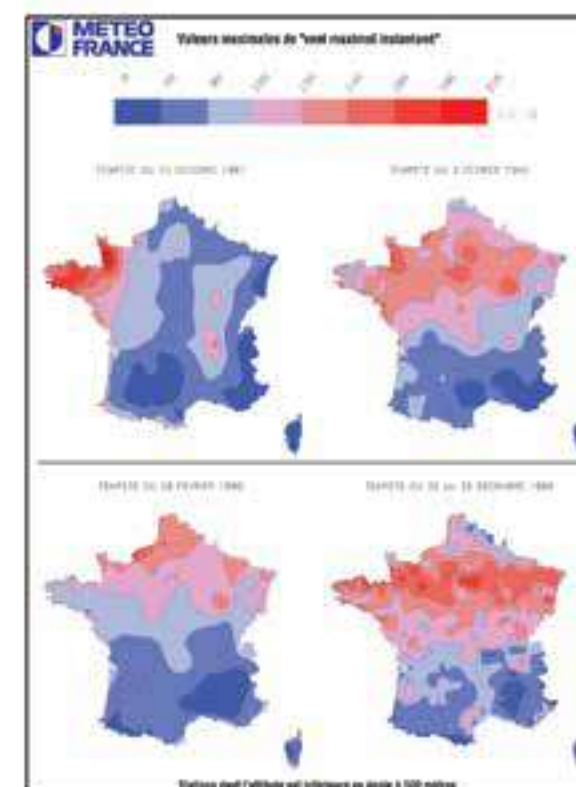
Une tempête naît de l'évolution d'une perturbation atmosphérique ou dépression, où se confrontent deux masses d'air aux caractéristiques bien distinctes (température, humidité...). Cette confrontation engendre un gradient de pression très élevé, à l'origine de vents violents et le plus souvent de précipitations intenses (pluies...).

A ces tempêtes classiques, il convient d'ajouter les tornades, phénomènes tempétueux isolés ou issus de perturbations de plus grande échelle. Elles sont particulièrement dévastatrices en dépit de leur caractère ponctuel dans le temps et dans l'espace. Plusieurs d'entre elles touchent chaque année l'Europe, avec un lourd bilan humain et financier.

On parle de tempêtes lorsque les vents dépassent 89 km/h. on se référera au graphique suivant.

Comme l'ensemble du Nord de l'Europe, la Haute-Normandie est encline aux fortes tempêtes. Le dernier événement marquant est la tempête de décembre 1999 qui a affecté une grande partie de la France et dont la probabilité d'occurrence a été évaluée à 0.2%. Compte tenu de cette faible probabilité d'occurrence, on retiendra donc, qu'au niveau de la zone d'étude, ce risque est particulièrement faible ; il s'agit d'un phénomène exceptionnel.

Schéma 7 : Tempêtes d'octobre 1987, de février 1990 et de décembre 1999 (Météo France)







Graphique 3 : Echelle de Beaufort

Force du vent (Bft)	Terminologie	Vitesse* du vent (km/h)	Vitesse* du vent (nœuds)	Hauteur mini (maxi) des vagues (m)	Effets observés sur terre
0	Calm	moins de 1	moins de 1	0	Calm. La fumée s'élève verticalement. La direction du vent est révélée par l'entraînement de la fumée, mais non par les girouettes.
1	Très légère brise	1 à 5	1 à 3	0,1	Le vent est perçu au visage. Les feuilles frémissent. Une girouette ordinaire est mise en
2	Légère brise	6 à 11	4 à 6	0,2 (0,3)	Feuilles et petites branches sont constamment agitées. Le vent déploie les drapeaux légers.
3	Petite brise	12 à 19	7 à 10	0,5 (1)	Le vent soulève la poussière et les feuilles de papier. Les petites branches sont agitées.
4	Jolie brise	20 à 28	11 à 16	1 (1,5)	Les arbustes en feuilles commencent à se balancer. De petites vagues avec crête se forment sur les eaux intérieures.
5	Bonne brise	29 à 38	17 à 21	2 (2,5)	Les grandes branches sont agitées. Les fils télégraphiques font entendre un sifflement. L'usage des parapluies est rendu difficile.
6	Vent frais	39 à 49	22 à 27	3 (4)	Les arbres sont agités en entier. La marche contre le vent est pénible.
7	Grand frais	50 à 61	28 à 33	4 (5,5)	Le vent casse des branches. La marche contre le vent est en général impossible.
8	Coup de vent	62 à 74	34 à 40	5,5 (7,5)	Le vent occasionne de légers dommages aux habitations.
9	Fort coup de vent	75 à 88	41 à 47	7 (10)	Rare à l'intérieur des terres. Zérois destructifs, importants dommages aux habitations.
10	Tempête	89 à 102	48 à 55	9 (12,5)	Très rarement observée. S'accompagne de marées énormes.
11	Violente tempête	103 à 117	56 à 63	11,5 (16)	Très rarement observée. Dans les régions d'ouragans, elle occasionne de graves dommages aux habitations.
12	Ouragan	118 et plus	64 et plus	14 et plus	Très rarement observée. Dans les régions d'ouragans, elle occasionne de graves dommages aux habitations.

\* Les vitesses se rapportent au vent moyen et non aux rafales. Les rafales peuvent dépasser le vent moyen de 50%.



## 2.5 Compartiment terrestre et eaux superficielles

### 2.5.1 Topographie

Le Pont Flaubert a été implanté à l'Ouest de Rouen, à l'extrémité nord du méandre de la Seine, à la confluence avec la vallée du Caillly.

Les berges de Seine s'établissent à la cote moyenne + 5mNGF.

En rive droite, concave, la Seine a profondément entaillé le plateau, et forme même la limite sud du plateau du pays de Caux. Le fond de vallée relativement plat (glacis) qui subsiste à l'amont du Pont Flaubert (quartiers du Vieux Rouen) entre la vallée du Caillly à l'Ouest et la vallée de l'Aubette et du Robec à l'Est est effacé à l'aval du Pont Flaubert, où le plateau rejoint la Seine par un talus de plus de 30% entre les cotes +130 mNGF et +10mNGF (rôle de la faille de Rouen, cf. plus loin).

Le versant en rive gauche (rive convexe) s'élève en pente douce pour atteindre une altitude de 120 m sur la commune de Saint-Etienne-du-Rouvray où s'étend le massif forestier du Rouvray qui occupe les points les plus hauts du plateau.

Sur cette rive gauche, convexe, les terrains sont quasiment plats sur une bande de 1 à 1,5 km depuis les quais de Seine, avec une pente douce de moins de 0.3% entre les cotes +5 à +10mNGF, avant de remonter vers le sud avec une pente de l'ordre de 1 à 2 %.

Le fond de vallée où s'implante le site présente une altitude oscillant entre 4 et 8,5 m NGF. Le site d'étude est fortement structuré par le fleuve et sa vallée qui offrent une morphologie plane, mais présentant des irrégularités localisées dues aux remblais de constructions.

Le relief qui fait face au site d'étude en rive droite (rive concave) de la Seine est plus marqué avec des coteaux abrupts qui encadrent le fleuve et le débouché du Caillly qui forme une vallée orientée Nord-Sud entaille profondément le plateau par des flancs abrupts à pentes de près de 30% entre les cotes +130 mNGF à +10mNGF. Son fond plat est large d'environ 800 m, et descend vers le Pont Flaubert sur la Seine en pente douce inférieure à 1% (cote +20mNGF à 4 km au nord du Pont, cote +5mNGF sur le port).

La couronne de coteaux périphériques sur la rive droite de la Seine offre ainsi de larges perspectives sur le site.

Schéma 8 : Topographie de la vallée de la Seine et du Caillly autour du Pont Flaubert

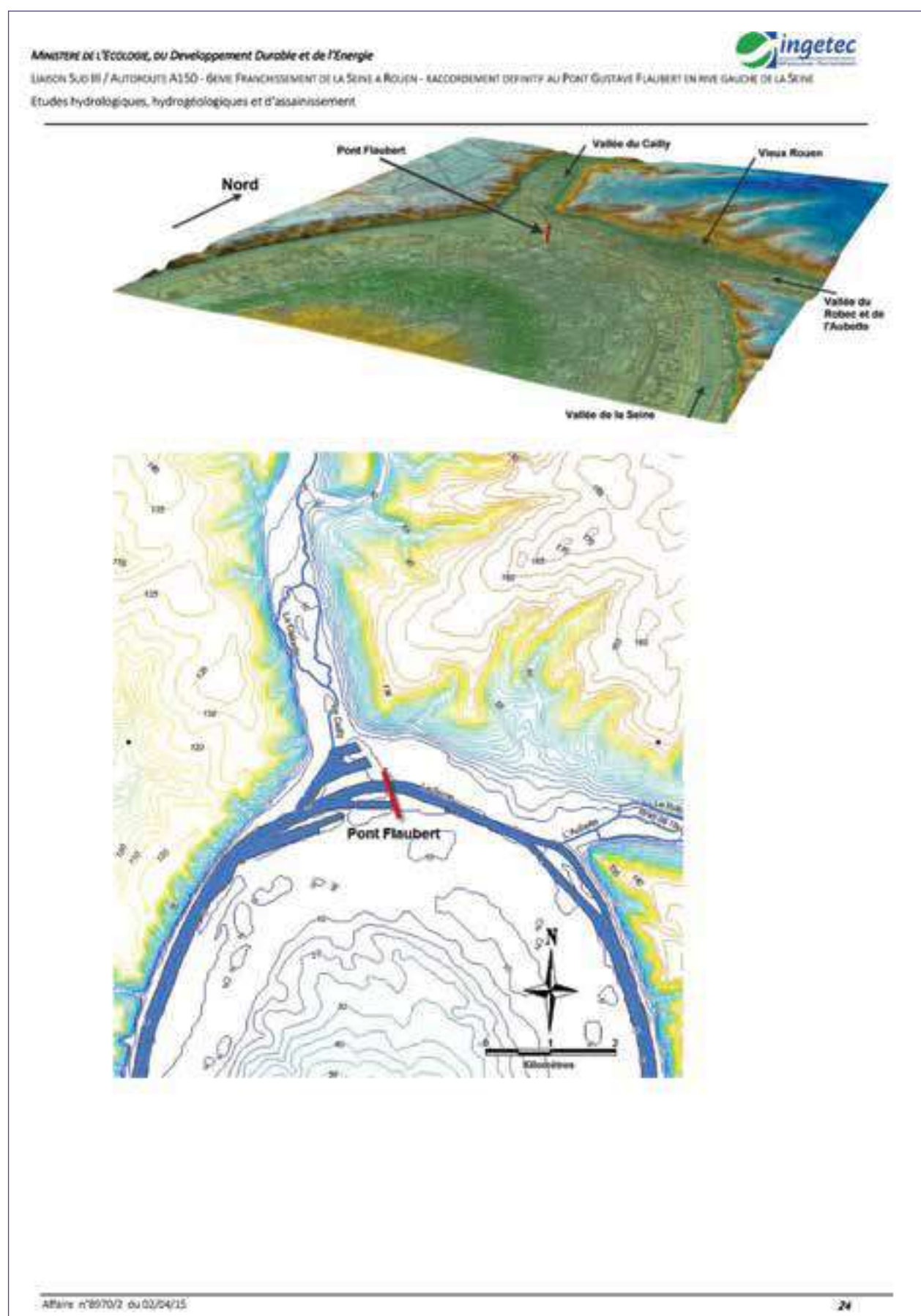




Schéma 9 : Topographie locale (MNT)

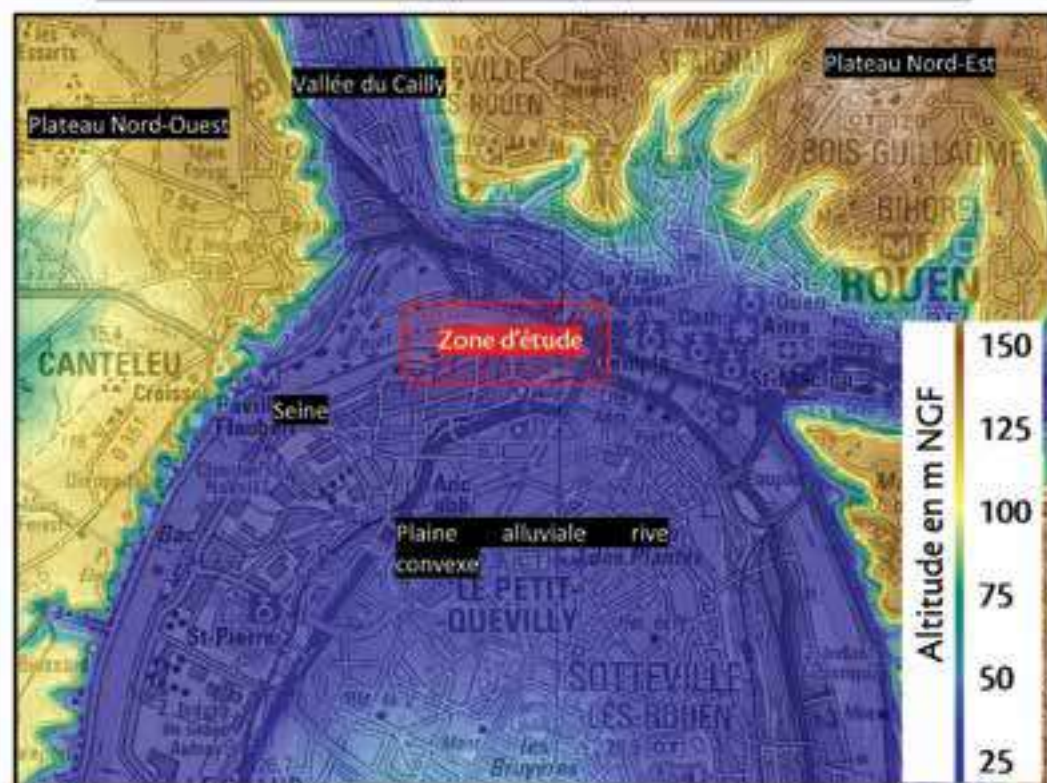
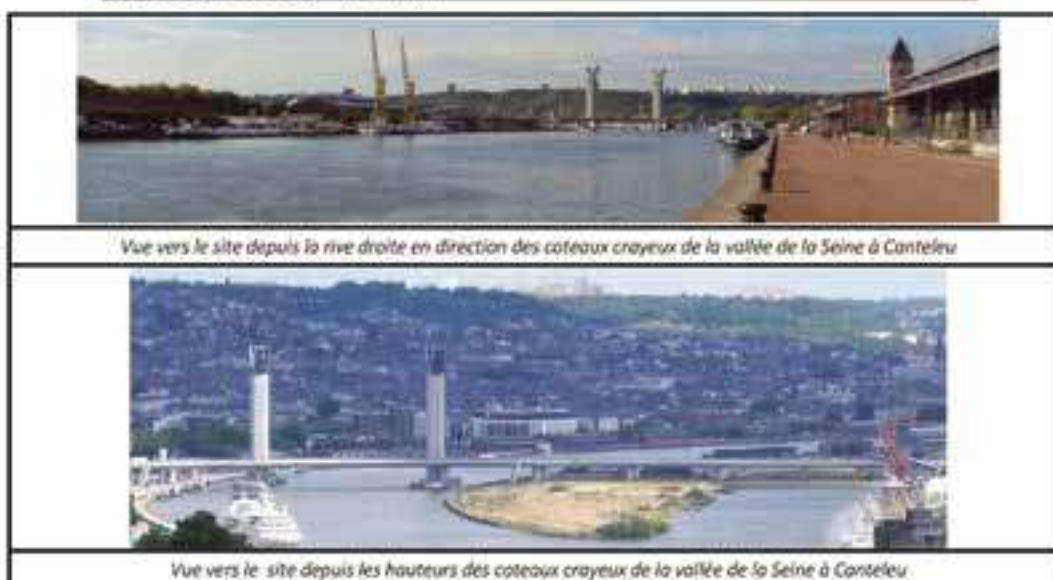


Photo 1 (vues a et b) : Relief



## 2.6 Sol et sous-sol

### 2.6.1 Contexte géologique local

Comme le montre déjà la topographie (cf. chapitre précédent), le secteur du Pont Flaubert à l'Ouest de Rouen au nord de la boucle de Seine est caractérisé :

- par l'opposition entre la rive droite concave dominée par l'érosion du plateau crayeux et la rive gauche convexe dominée par les dépôts alluvionnaires (Cf. Schéma 10),
- par la présence de la faille de Rouen qui met en contact les calcaires du Portlandien (Jurassique) à l'Est avec les craies du Crétacé à l'Ouest (Cf. Schéma 11).

### 2.6.2 Formations superficielles - alluvions

Les sols du secteur d'étude (zone portuaire) sont recouverts de remblais actuels anthropiques localement très épais (jusqu'à 10 mètres) constitués de matériaux hétérogènes : produits de dragage, fins et de faible portance, et matériaux de démolition divers.

Les alluvions modernes de la Seine (Fz), fin, à dominante d'argiles, de limons et de sables fins peu consolidés et de tourbes.

Elles reposent sur les alluvions anciennes (Fy) plus graveleuses : sables et galets de silex et calcaires (elles sont exploitées sur toute la vallée de la Seine par de nombreuses exploitations) étagées en terrasses superposées entre + 12 m NGF (basse terrasse) et plus de 55 m NGF (haute terrasse) formant notamment le relief du centre de la boucle.

En rive droite (notamment sous le quartier du Vieux Rouen), le fond de vallée (glacis) est composé de limons et alluvions de vallées sèches (LV), à silex, blocs de craie, sable, grès, localement très caillouteux, provenant de l'érosion des formations massives voisines.

### 2.6.3 Substratum crayeux et calcaire – structure

La structure de la boucle de la Seine à Rouen est caractérisée par la présence d'un bombement local des terrains profonds (brachy-anticlinal), érodé et faillé selon son axe nord-ouest à sud-est (Cf. Schéma 12).

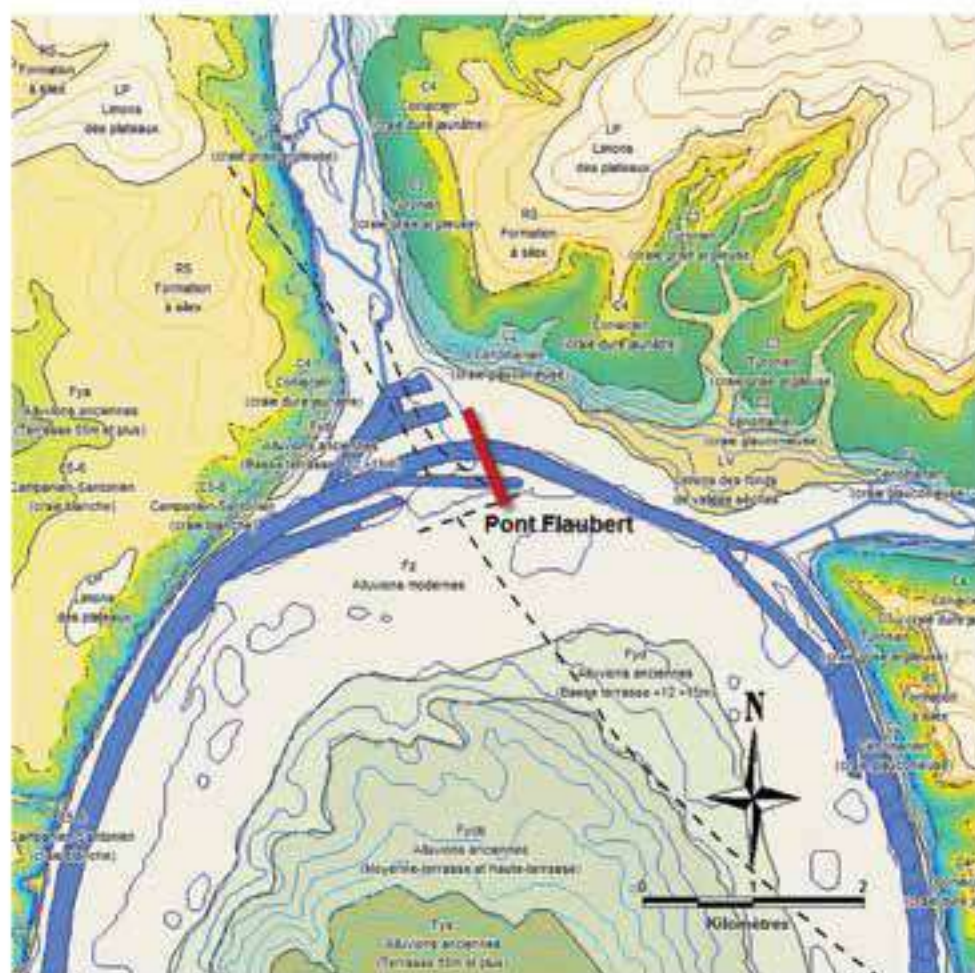
La faille, complexe, a été reconnue en sondages à l'aval du Pont Flaubert. Dans l'axe de la Seine, elle se dédouble vers le nord en remontant sur le flanc ouest de la vallée du Cailly, où sont directement visibles à l'affleurement les contacts entre craies du Turonien au nord-est et craie du Coniacien au sud-ouest.

En rive droite, la faille nord a un rejet de l'ordre de 50 m (forages de Sotteville-Longboël). En rive gauche, la faille sud a un rejet atteignant 120 m à Petit-Quevilly. Dans les deux cas, c'est le compartiment nord qui est surélevé, remontant les terrains plus anciens.



Les limites des formations alluviales à l'affleurement et des calcaires et craies sous alluvions utilisées dans le modèle ont été numérisées à partir des cartes géologiques présentées ci-après.

Schéma 10 : Extrait de la carte géologique de la boucle de la Seine à Rouen



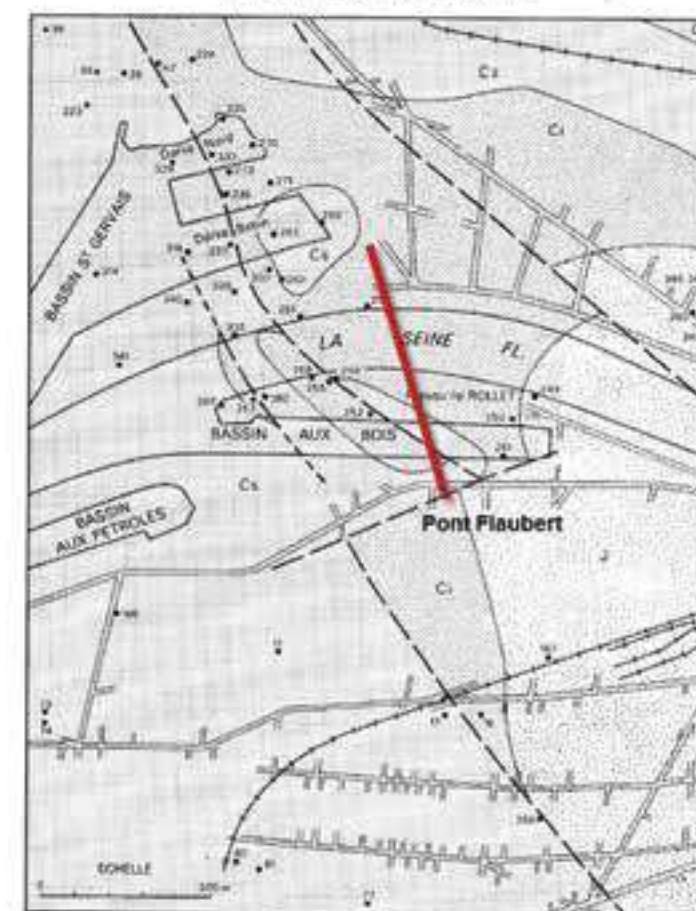
En pointillé : la faille de Rouen

D'après les cartes géologiques BRGM au 1/50.000° n°99 Rouen Ouest et n°100 Rouen Est

Schéma 11 : Carte géologique sous alluvions aux abords immédiats du Pont Flaubert

# STRUCTURE DE ROUEN

Abstraction faite des formations récentes



## LEGENDE

- Cs Craie supérieure
- Sénonien
- Turonien (C3)
- Cénomane (C2)
- C1 Craie inférieure : Albien
- Jurassique : Portlandien
- 11 Sondage avec indice BRGM

Extrait de la notice de la carte géologique BRGM au 1/50.000° n°99 Rouen Ouest



Le Pont Flaubert et ses accès reposent directement sur les remblais et les alluvions modernes fines.

Schéma 12 : Coupes géologiques synthétiques de la boucle de Seine aux abords du pont Flaubert

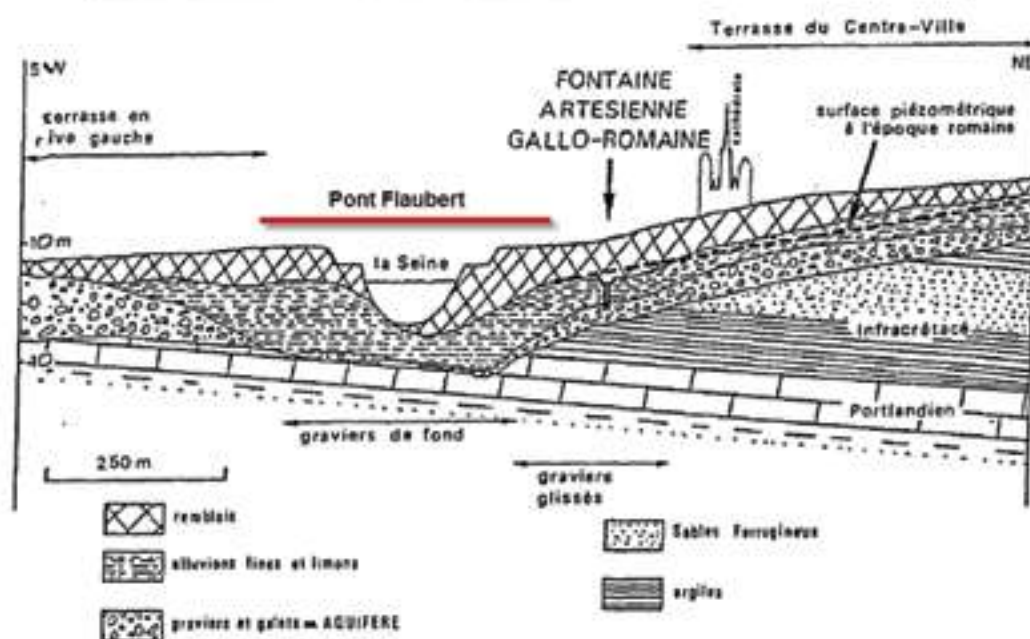
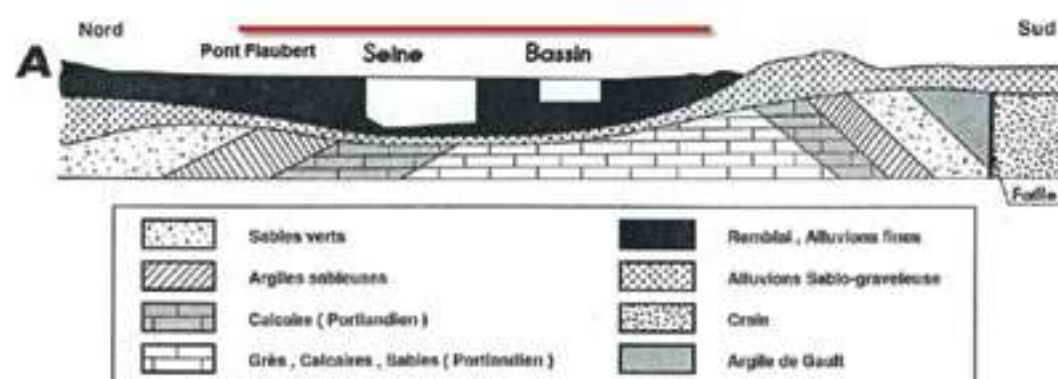


Fig. 4 : Coupe à Rouen. La nappe captive des alluvions graveleuses sous le centre-ville.

## 2.7 Contexte hydrogéologique

### 2.7.1 Masses d'eau souterraines

La Directive Cadre introduit la notion de « masses d'eaux souterraines » qu'elle définit comme « un volume distinct d'eau souterraine à l'intérieur d'un ou de plusieurs aquifères » (article 5 et Annexe II) ; un aquifère représentant « une ou plusieurs couches souterraines de roches ou d'autres couches géologiques d'une porosité et d'une perméabilité suffisantes pour permettre soit un courant significatif d'eau souterraine, soit le captage de quantités importantes d'eau souterraine ». La délimitation des masses d'eaux souterraines est fondée sur des critères hydrogéologiques, puis éventuellement sur la considération de pressions anthropiques importantes. Ces masses d'eau sont caractérisées par six types de fonctionnement hydraulique, leur état (libre/captif) et d'autres attributs. Une masse d'eau correspond d'une façon générale sur le district hydrographique à une zone d'extension régionale représentant un aquifère ou regroupant plusieurs aquifères en communication hydraulique, de taille importante. Leurs limites sont déterminées par des crêtes piézométriques lorsqu'elles sont connues et stables (à défaut par des crêtes topographiques), soit par de grands cours d'eau constituant des barrières hydrauliques, ou encore par la géologie.

Seuls les aquifères pouvant être exploités à des fins d'alimentation en eau potable, par rapport à la ressource suffisante, à la qualité de leur eau et/ou à des conditions technico-économiques raisonnables, ont été retenus pour constituer des masses d'eaux souterraines.

Le secteur du Pont Flaubert sur la vallée de la Seine à Rouen est le siège, de haut en bas, de :

- en niveau 1 : la masse d'eau FRH001 dite des « Alluvions de la Seine moyenne et aval » ;
- en niveau 2 : la masse d'eau sous-jacente FRH202 dite de la « Craie altérée de l'estuaire de la Seine » ;
- en niveau 3 : la masse d'eau FRH218 dite de l'« Albien-néocomien captif ».

Les alluvions, disposées en plusieurs terrasses à porosité et perméabilité variables, et qui reposent sur la craie, ne forment qu'un seul système hydrogéologique.

La nappe de la Craie est semi-captive sous les alluvions modernes fines, libre sous les alluvions anciennes plus grossières.

La masse d'eau de l'Albien néocomien captif, profonde, n'est pas impliquée dans la présente modélisation.

Toutes les mailles du modèle sont situées sur la nappe libre des alluvions et la nappe semi-captive de la Craie sous-jacente.



## 2.7.2 Piézométrie

### 2.7.2.1 Piézométrie générale

Une esquisse piézométrique de la nappe de la Craie a été tracée en 1998 par CGG (Cf. Graphique 4).

Cette esquisse n'est pas directement transposable dans la modélisation aux abords de la Seine, où l'onde de marée influence les variations de la nappe, comme le montre la courbe du graphique 4.

### 2.7.2.2 Piézométrie observée au droit du Pont Flaubert

Plusieurs piézomètres ont été implantés aux abords du Pont Flaubert. Mais l'absence de précisions sur les heures des mesures ponctuelles relevées, nécessaires pour évaluer l'influence de l'onde de marée, ne permettait pas d'établir une esquisse piézométrique dans le secteur immédiat du Pont.

L'influence de cette onde de marée sur la piézométrie de la nappe alluviale a été précisée par un suivi synchrone des niveaux de la nappe alluviale et des niveaux de la Seine durant un mois du 17 septembre au 17 octobre 2013.

Graphique 4 : Influence des marées sur le niveau de la nappe de la Craie en aval de Rouen

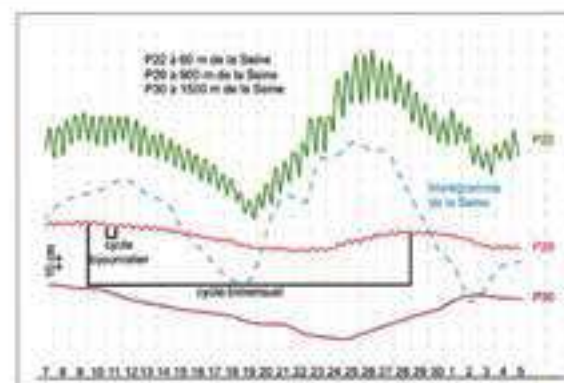


Fig. 4  
Influence des marées sur le niveau de la nappe de la craie en aval de Rouen  
(J.-C. Roux - J. Trémembert, 1978) [7].

(J.-C. Roux - J. Trémembert, 1978)

Schéma 13 : Esquisse piézométrique de la nappe de la Craie à Rouen (m NGF)



### 2.7.2.3 Paramètres hydrodynamiques

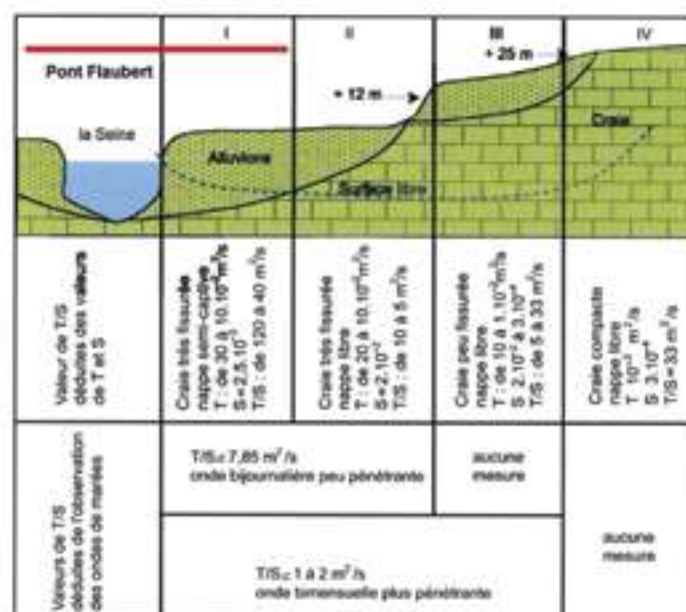
La zone alluviale, noyée, draine par sa forte perméabilité le réservoir crayeux. La nappe s'écoule ensuite en règle générale vers la Seine, même si dans certaines conditions la rivière alimente également en retour la nappe alluviale ; cette réalimentation directe par la rivière, calculée par pompages, est faible, de l'ordre de 20 à 30 %.

Les pompages d'essai réalisés dans les ouvrages locaux ont permis d'estimer les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère crayeux, résumés ci-dessous :

- Transmissivité : de 30 à 10.10<sup>-2</sup> m<sup>2</sup>/s
- Coefficient d'emmagasinement : 2.5 10<sup>-3</sup>



Schéma 14 : Caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère crayeux dans la vallée de la Seine



Caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère crayeux dans la vallée de la Seine  
(J.-C. Roux - J. Trémembert, 1978) [7]

## 2.8 Bassin Versant

### 2.8.1 Situation du projet au sein du réseau hydrographique

La loi sur l'Eau de janvier 1992 a instauré un découpage de la France en 6 grands bassins hydrographiques, chacun géré par une Agence de l'Eau. Du Nord au Sud, on retrouve :

- Le bassin Artois-Picardie ;
- Le bassin Seine-Normandie ;
- Le Bassin Rhin-Meuse ;
- Le bassin Loire-Bretagne ;
- Le Bassin Adour-Garonne ;
- Le bassin Rhône-Méditerranée-Corse.

Sur chacun de ces 6 grands bassins hydrographiques, la loi sur l'Eau a prescrit l'élaboration d'un Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) qui définit sur le moyen terme les orientations fondamentales d'une gestion équilibrée de la ressource en eau.

Le projet d'aménagement des Bords de Seine est localisé au sein du bassin hydrographique Seine-Normandie et appartient, plus précisément au secteur Seine-Aval.

Schéma 15 : Les six bassins hydrographiques français



Schéma 16 : Le bassin Seine-Normandie



### 2.8.2 Réseau hydrographique

Le projet s'inscrit dans le bassin versant de la Seine (cf. schéma ci-après). La Seine prend sa source sur le plateau de Langres, à 471 mètres d'altitude, à 30 km environ au Nord-Ouest de Dijon. La longueur totale du fleuve est de 776 km de sa source à la mer, dont 365 km de Paris à la mer. Elle



rejoint la Manche par un vaste estuaire, sur lequel est établie la ville du Havre. Son bassin versant s'étend sur une surface de 78 650 km<sup>2</sup>.

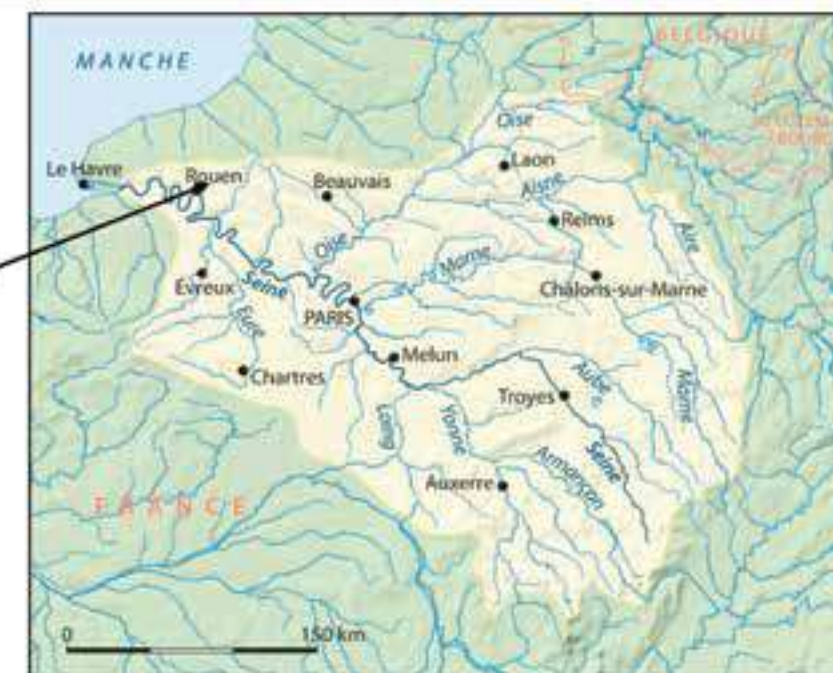
La Seine est un fleuve long, méandreux dans sa partie aval. Ce fleuve a été largement modifié par l'homme au fil des années pour améliorer sa navigabilité, préserver les activités portuaires (endiguement jusqu'à Rouen dans les années 1850), exploiter ses matériaux (gravières) et laisser passer les nouvelles voies de communication dans une vallée sinueuse (voie ferrée, nationales, autoroute...). Le bassin hydrographique de la Seine représente 14% de la superficie nationale pour une population de 16 millions d'habitants (26% de la population française) dont 80% vivent en zone urbaine. Le bassin concentre 40% de l'activité économique française et 50% du trafic fluvial national.

Plus précisément, la zone d'étude est localisée sur les bords de la rive gauche de la Seine. Elle est située dans la partie aval de secteur hydrographique de la Seine du confluent de l'Aubette au confluent du Cailly. A ce titre on notera que la Seine fait l'objet d'un suivi régulier et de plans de gestion parmi lesquels on recense le Plan Seine 2007-2013 qui vise à mettre en œuvre des actions stratégiques dans le but de répondre aux 4 grands enjeux suivants :

- Réduire les effets d'une crue majeure sur la Seine ;
- Améliorer la qualité des eaux du fleuve et de ses affluents ;
- Préserver et restaurer les milieux et la biodiversité des grands cours d'eau du bassin. Des actions de restauration et de renaturation des berges (et d'annexes) à l'aval de Poses sont prévues ;
- Intégrer l'ensemble des usages et fonctions du fleuve dans un projet de développement durable.

Schéma 17 : Bassin versant de la Seine

Localisation du projet



### 2.8.3 Bassins versants et organismes de gestion

Les agences de l'eau fixent des objectifs généraux à l'échelle des grands bassins hydrographiques par le biais des Schémas Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE).

Afin de mettre en application ces objectifs à une échelle hydrographique plus restreinte, la loi sur l'eau a instauré la création des Schémas d'Aménagement de Gestion des Eaux (SAGE). Le SAGE est un document de planification qui décline et précise à l'échelle d'un bassin versant plus restreint les grandes orientations du SDAGE.

Afin de prendre en compte les spécificités propres à chaque territoire, le bassin hydrographique Seine-Aval a été découpé en plusieurs sous-unités faisant chacune l'objet d'un Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE).

La zone d'étude est localisée en limite Sud-Ouest du bassin hydrographique des rivières qui se jettent dans la Seine : le Cailly, l'Aubette et le Robec, dont le SAGE a été approuvé par arrêté préfectoral du 23/12/2005. Ce document qui va faire l'objet d'une première révision ne comporte actuellement aucune préconisation sur le site d'étude ou sa proximité.

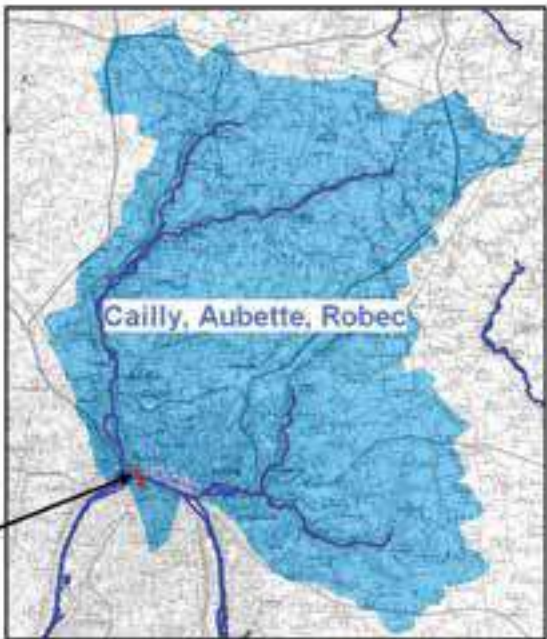
La planche suivante présente l'emprise du SAGE Cailly, Aubette, Robec.

Le contexte hydrographique de la zone d'étude est présenté sur le schéma 17. On peut constater que la zone d'étude est localisée en rive gauche de la Seine, en aval du confluent de l'Aubette et en amont du confluent du Cailly qui sont localisés sur la rive droite de la Seine. Compte tenu de cette situation, les impacts potentiels du projet concerneront uniquement la Seine.



Dans la suite du rapport, nous nous limiterons donc à présenter les caractéristiques du fleuve.

Schéma 18 : Localisation SAGE Cailly, Aubette, Robec



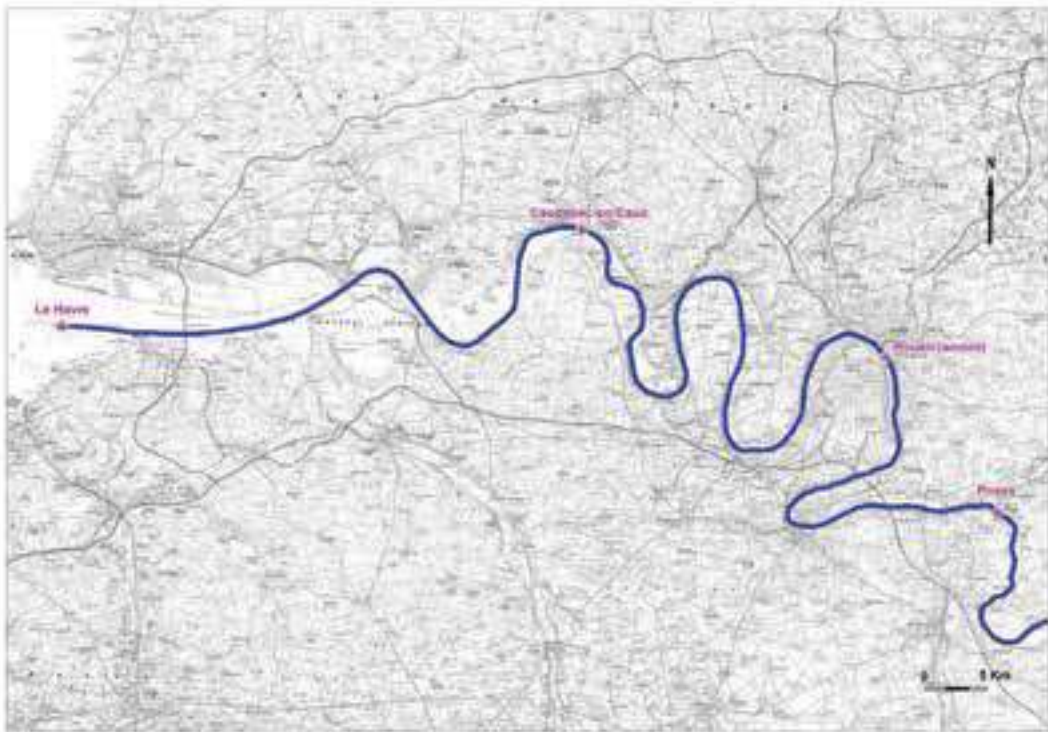
Localisation du projet

## 2.9 La Seine

### 2.9.1 Approche statistique des débits de la Seine

Sur la basse vallée de la Seine (en aval de Poses), 4 stations hydrométriques ont été répertoriées. Cependant, seule la station de Poses fait l'objet d'un suivi régulier de la part de la DREAL Haute-Normandie. Les 3 autres stations sont des stations virtuelles dont les données sont extrapolées à partir de la station de Poses, une attention particulière doit donc être portée quant à leur interprétation. Les principales caractéristiques de ces stations, fournies par la banque HYDRO sont récapitulées dans le tableau 1.

Schéma 19 : Localisation des stations hydrométriques sur la Seine





**Tableau 1 : Données hydrologiques de synthèse sur les trois stations hydrométriques de la Seine en aval de Poses (Source Banque HYDRO)**

	La Seine à Poses	La Seine à Rouen (Amont)	La Seine à Caudebec-en-Caux	La Seine au Havre
Code station	H8110010	H9900010	H9920010	H9950010
Bassin versant drainé (km <sup>2</sup> )	65 000	72 000	75 000	79 000
Analyse sur la période	1974-2006	1973-2006	1973-2006	1989-2006
Module (m <sup>3</sup> /s)	538 [489.0 ; 587.0]	574.0 [520.0 ; 627.0]	582.0 [536.0 ; 629.0]	563.0 [418.0 ; 708.0]
QMNA <sub>5</sub> (m <sup>3</sup> /s)	180 [160.0 ; 190.0]	200 [170 ; 220]	200 [180 ; 220]	210 [170 ; 240]
Crue biennale (m <sup>3</sup> /s)	1 600 [1 500 ; 1 700]	1 600 [1 500 ; 1 800]	1 600 [1 500 ; 1 800]	1 600 [1 500 ; 1 800]
Crue quinquennale (m <sup>3</sup> /s)	2 100 [1 900 ; 2 400]	2 200 [2 000 ; 2 500]	2 200 [2 000 ; 2 500]	2 200 [2 000 ; 2 500]
Crue décennale (m <sup>3</sup> /s)	2 400 [2 200 ; 2 600]	2 600 [2 300 ; 3 000]	2 600 [2 300 ; 3 000]	2 600 [2 300 ; 3 000]
Crue vicennale (m <sup>3</sup> /s)	2 800 [2 500 ; 3 300]	2 900 [2 600 ; 3 500]	2 900 [2 600 ; 3 500]	2 900 [2 600 ; 3 500]
Crue cinquantennale (m <sup>3</sup> /s)	3 200 [2 800 ; 3 900]	3 400 [3 000 ; 4 100]	3 400 [3 000 ; 4 100]	3 400 [3 000 ; 4 100]
Crue centennale (m <sup>3</sup> /s)	Non calculé	Non calculé	Non calculé	Non calculé
Débit journalier maximal (m <sup>3</sup> /s) Enregistré le	2 310 16 janvier 1982	2 430 26 mars 2001	2 460 26 mars 2001	2 520 26 mars 2001

Les valeurs entre crochets représentent les bornes de l'intervalle de confiance dans lequel la valeur exacte du paramètre estimé a 95% de chance de se situer.

**QMNA<sub>5</sub>** : débit d'épave quinquennal, débit moyen mensuel minimum de fréquence de récurrence 5 ans (utilisé comme référence dans les textes réglementaires). Le QMNA<sub>5</sub> a une valeur réglementaire : c'est le **débit de référence** (défini au titre 2 de la nomenclature figurant dans les décrets n°93-742 et 93-743 du 29 mars 1993 pris en application de la loi sur l'eau du 3 janvier 1992). C'est à partir de cette valeur que sont calculés tous les dispositifs de rejets et prélèvements en rivière ou nappe d'accompagnement.

**Module interannuel** : débit moyen calculé sur l'année hydrologique. Le module est le **débit moyen interannuel** calculé sur l'année hydrologique et sur l'ensemble de la période d'observation de la station. Ce débit donne une indication sur le volume annuel moyen écoulé et donc sur la disponibilité globale de la ressource. Il a valeur de référence, notamment dans le cadre de l'article L.232-5 du code rural (fixant le débit minimal garantissant en permanence la vie, la circulation, et la reproduction des espèces présentes au moins égal au 1/30 du module).

Les crues de la Seine sont généralement liées à des périodes prolongées de fortes précipitations sur l'ensemble de son bassin versant, ce qui entraîne le gonflement des eaux du fleuve qui peut atteindre alors des débits exceptionnels.

En général, la durée des crues pour un débit de Seine supérieur à 1 500 m<sup>3</sup>/s varie de 3 à 15 jours avec une durée moyenne de 10 jours (sur les 15 dernières années).

### 2.9.1.1 Débits enregistrés à Rouen

Le débit moyen de la Seine est de 574 m<sup>3</sup>/s et son débit mensuel sec de récurrence sur 5 ans est de 200 m<sup>3</sup>/s.

Des crues moyennes de l'ordre de 1600 à 2200 m<sup>3</sup>/s ont été observées environ tous les 2 à 5 ans. Elles se répartissent majoritairement au début de l'année, entre janvier et mars.

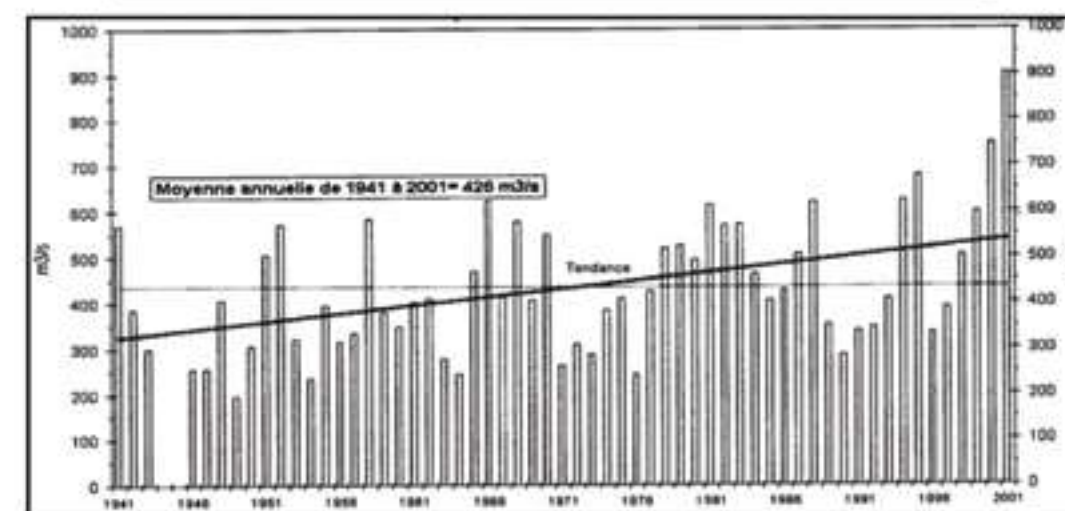
La durée des crues consécutives de la Seine varie de 3 à 15 jours avec une durée moyenne de 10 jours (15 dernières années). Lorsque la Seine atteint son débit décennal avec un coefficient de marée élevé, les Quais peuvent être inondés sous 10 à 20 cm d'eau pendant plus d'une heure.

Les crues de la Seine sont généralement liées à des périodes prolongées de fortes précipitations sur l'ensemble de son bassin versant, ce qui entraîne le gonflement des eaux du fleuve qui peut atteindre alors des débits exceptionnels.

En Seine-Maritime, les débordements du fleuve ne répondent pas à un cycle régulier car ils résultent le plus souvent de la conjonction de plusieurs phénomènes : des débits importants du fleuve résultant des précipitations hivernales et/ou de la fonte des neiges en mars, grandes marées et conditions atmosphériques de début d'année.

La station de Poses enregistre des débits depuis 1941. Le graphique suivant montre la variation des débits à Poses, où la station enregistre ce paramètre depuis 1941, et fait apparaître une évolution croissante du débit du fleuve.

**Graphique 5 : Evolution des débits de la Seine à la station de Poses depuis 1941**



A Rouen, le débit moyen annuel de la Seine a crû de façon importante en passant d'environ 550 m<sup>3</sup>/s en 1941 à 903 m<sup>3</sup>/s en 2001. Ceci constitue une hausse importante du débit notamment sur les 20 dernières années. En effet, pour élément de comparaison, l'augmentation du débit de la

Seine à Rouen depuis 1983 est deux fois plus importante qu'à Troyes situé plus en amont. Cette différence est engendrée par une augmentation des débits de ruissellement (liés à l'imperméabilisation et aux changements des pratiques culturales) rejetés en Seine entre Troyes et Rouen.

2.9.2 Influence de la marée et hauteurs d'eau

La Seine subit l'influence de la marée qui se fait ressentir jusqu'au barrage de Poses localisé à environ 40 km en amont de Rouen. Cette influence agit pour tous les fuseaux.

Les hauteurs d'eau de la Seine sont enregistrées au marégraphe de Rouen par le service du Grand Port Maritime de Rouen. Elles résultent de la conjonction du débit, du coefficient de marée, de l'heure de la pleine mer et de la force du vent (un fort vent d'Ouest pousse l'eau de la mer dans l'estuaire et peut provoquer des surcotes importantes pouvant atteindre 80 cm). Néanmoins, on notera que les épisodes de plus hautes eaux mesurés (cf. tableau suivant) ne correspondent pas à la combinaison critique de tous ces facteurs.

Tableau 2 : Plus hautes eaux enregistrées au marégraphe de Rouen

Date du pic de la crue	Coefficient de marée	Débit de la Seine (m³/s)	Niveaux atteints par la Seine		
			Basse mer (NGF)	Pleine mer (NGF)	Moyenne (NGF)
29/01/1910	78	2600	5,45	5,70	5,57
09/01/1922	98	2280	5,50	5,68	5,59
27/01/1955	92	2250	4,29	5,18	4,73
07/03/1958	117	1939	4,05	5,23	4,61
09/03/1970	114	2038	3,72	5,03	4,37
24/11/1984				5,17	
19/02/1988				5,25	
27/02/1990				5,27	
01/02/1995	104	2073	3,19	5,31	4,25
01/03/1995				5,28	
03/03/1999	100 (rafales de vent de 108 km/h)	626		5,14	
25/12/1999	104	1379		5,53	
28/03/2001	89	2280		5,22	
28/07/2002	111	1563		5,34	

2.9.2.1 L'influence marine sur la Seine

L'influence de la marée sur l'altimétrie de la Seine dépend de différentes composantes :

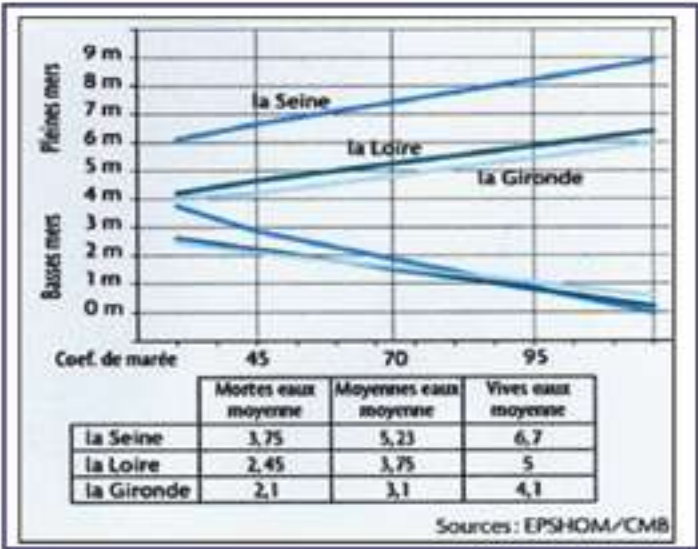
- La phase de la marée : basse mer / pleine mer ;
- Le type de marée : marée de morte-eau / marée de vive-eau ;
- La propagation de l'onde de marée dans l'estuaire.

On rappellera que la marée de morte eau est une marée de faible amplitude (se produisant deux fois par mois, lors des premiers et derniers quartiers de lune). La marée de vive eau, quant à elle, est une marée d'amplitude maximale correspondant aux périodes de pleine et de nouvelle lune.

Phase et type de marée

Le graphique suivant illustre le marnage à l'embouchure de la Seine et cela pour différents coefficients de marée.

Graphique 6 : Marnage à l'embouchure des trois grands estuaires Français suivant différentes situations



Le graphique 6 montre que l'évolution du marnage<sup>1</sup> à l'embouchure de Seine est fonction du coefficient de marée.

Ainsi, la situation la plus pénalisante en termes d'élévation du niveau d'eau, correspond à la marée de vives eaux (coefficient 115) où le marnage maximal entre basse et haute mer peut atteindre 9 m au HAVRE.

<sup>1</sup> Différence entre niveau de pleine mer et le niveau de basse mer



### Propagation de l'onde de marée

La propagation de l'onde de marée dans l'estuaire joue un rôle important vis-à-vis de la hauteur d'eau.

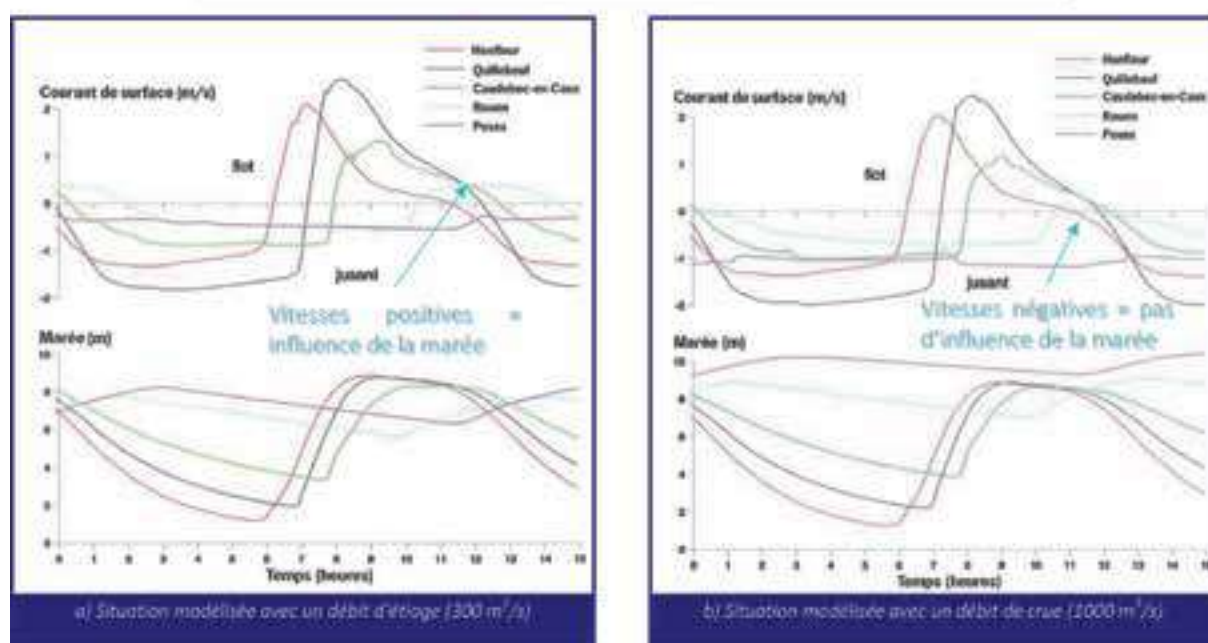
En effet, dans un estuaire macrotidal, c'est-à-dire soumis à des marées de fortes amplitudes (>4m), la propagation de l'onde de marée se propage dans l'estuaire avec une célérité de l'ordre de  $(gh) / h$  où  $h$  est la hauteur d'eau dans le chenal et  $g$  l'attraction de l'apesanteur soit  $9.81 \text{ m.s}^{-2}$ .

Cette formule illustre donc que la pleine mer remonte plus vite l'estuaire que la basse mer ne le descend, compte tenu de la différence de hauteur d'eau entre les deux situations.

Le courant de flot<sup>2</sup> est donc plus court et plus intense que le courant de jusant<sup>3</sup>, et l'étale de pleine mer dure plus longtemps que la renverse de basse mer. Naturellement, cette prédominance du flot sur le jusant finit par s'atténuer vers l'amont lorsque l'amplitude de marée diminue du fait des frottements latéraux et de la remontée des fonds.

On se référera aux graphiques suivants illustrant ce phénomène en différents endroits de l'estuaire de Seine.

Graphiques 7a & b : Evolution de la vitesse et de la surface libre de la Seine pour une marée de vive-eau (coefficient 114). Simulation par modèle (Source GIP-SA<sup>4</sup>)



<sup>2</sup> Courant dans le sens de la propagation de la marée, en général celui de la marée montante.

<sup>3</sup> Courant dans le sens opposé à la propagation de la marée, en général celui de la marée descendante.

<sup>4</sup> Groupement d'Intérêt Public Seine-Aval.

Les graphiques 7a & b illustrent que, quelque soit le débit de la Seine, l'élévation de la ligne d'eau est quasiment la même en partie aval de l'estuaire. Par contre, en partie amont de l'estuaire (ROUEN/POSES) la ligne d'eau varie en fonction du débit du fleuve pouvant même annihiler les effets de la marée montante lors de crue (cf. 7b). En effet, on s'aperçoit que pour un débit de 300 m³/s (graphique 7a) le courant de surface (dans la direction Le HAVRE / POSES) à ROUEN est positif, la marée remonte donc à ce niveau. A l'inverse pour un débit de la Seine plus fort (1000 m³/s) les vitesses deviennent négatives à ROUEN et montrent donc une inversion du sens du courant dans le sens des écoulements du fleuve. Dans cette situation le débit du fleuve est donc prédominant face à la marée et en repousse son effet un peu plus en aval.

L'influence de la marée joue donc un rôle fondamental dans l'élévation de la surface libre de la Seine. La situation la plus pénalisante en termes de hauteur d'eau correspond donc à la conjugaison d'une crue de la Seine avec une pleine mer de vive-eau.

### 2.9.3 Les crues historiques de la Seine

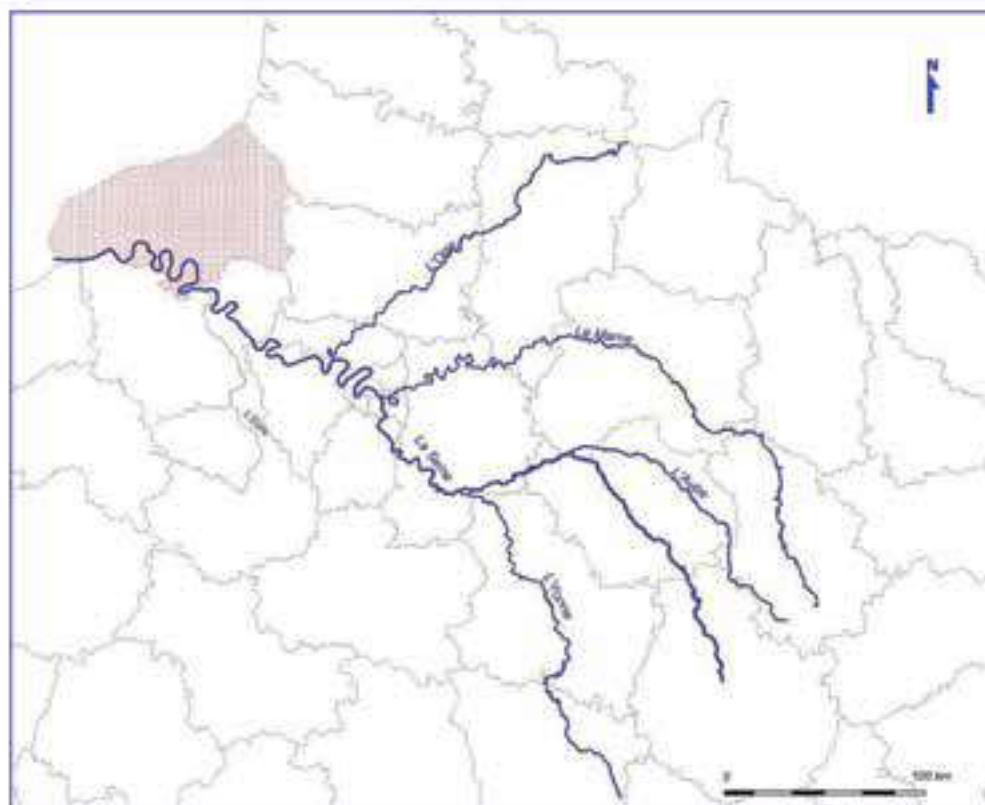
Depuis le VI<sup>ème</sup> siècle, on dénombre une soixantaine de crues « historiques » majeures de la Seine.

Ce sont des crues lentes qui interviennent de novembre à mai, bien que les crues majeures aient toujours eu lieu entre décembre et mars.

Les crues sont la conséquence de plusieurs phénomènes concomitants, dont le plus important est lié aux fortes précipitations sur les massifs correspondants aux bassins versants amont : plateau de Langres pour la Seine, l'Aube et la Marne, le massif de la Fagne pour l'Oise, le Morvan pour l'Yonne et ses affluents.

Schéma 20 : Présentation de la Seine et de ses affluents principaux





En amont de Paris, la cinématique des ondes de crues est la suivante :

- Pour l'Yonne : 5 à 6 jours depuis le Morvan ;
- Pour la Marne : 8 jours depuis la Haute-Marne ;
- Pour la Seine et l'Aube : 10 jours depuis le plateau de Langres ;
- Pour l'Oise et l'Aisne : 7 à 10 jours depuis les Ardennes.

En temps normal, les ondes de crue se succèdent sans se superposer alors qu'une crue majeure sera due à la concomitance des crues lentes mais puissantes de l'Aube, de la Seine et de la Marne amont avec celles rapides et brutales de l'Yonne et des affluents de la Marne (petit et Grand Morin).

Conjuguée à de fortes précipitations étalées dans le temps, cette concomitance a conduit aux crues de 1924, 1955 et surtout de 1910, où l'Yonne connut 2 crues successives à 5 jours d'intervalle, la deuxième se superposant aux crues des autres rivières.

Parmi les crues de la Seine ayant eu lieu durant le XX<sup>ème</sup> siècle, il est possible de citer en termes de débit :

- Les crues de 1876, 1910, 1920, 1941, 1958, 1970, 1995 et 2001, considérées comme les plus fortes crues de la Seine avec un débit voisin ou supérieur à 2 000 m<sup>3</sup>/s.

- Les crues de 1946, 1953, 1961, 1965, 1966, 1978, 1982 et de 1988, considérées comme des crues moyennes de la Seine avec un débit moyen de l'ordre de 1 400 à 1 700 m<sup>3</sup>/s.

Le tableau 3, page suivante, synthétise les hauteurs de crue enregistrées sur la Seine par le Port Autonome de Rouen (PAR).

Tableau 3 : Principales crues de la Seine  
(Source Port Autonome de Rouen -2010)

Ce tableau est établi par le PORT AUTONOME DE ROUEN pour ses propres travaux et ne saurait engager sa responsabilité ni celle de l'État

PORT AUTONOME DE ROUEN Service d'entretien des Crues 34 rue de l'Équipement - 76000 Rouen Cedex Téléphone 02 35 12 34 35 - Télécopie 02 35 12 34 45	CRUE 1910	CRUE 1955	CRUE 1970	CRUE 1982	CRUE 1988	CRUE 1990	CRUE 1994	CRUE 1995	Cruge de Yvon 1999 244 haek	CRUE 1999	CRUE 2001	CRUE 2002	CRUE 2010
<b>CRUE de REFERENCE = 1910</b> Cote NGF=Cote CMH-4.38m	25 janvier Cote NGF CMH+176 CMH+1732 m	27 janvier Cote NGF CMH+181 CMH+1738 m	30 mars Cote NGF CMH+1710 CMH+1710 m	11 janvier Cote NGF CMH+1702 CMH+1712 m	10 février Cote NGF CMH+1702 CMH+1712 m	27 février Cote NGF CMH+1702 CMH+1712 m	23 janvier Cote NGF CMH+1702 CMH+1712 m	01 février Cote NGF CMH+1702 CMH+1712 m	23 janvier Cote NGF CMH+1702 CMH+1712 m	23 janvier Cote NGF CMH+1702 CMH+1712 m	20 mars Cote NGF CMH+1702 CMH+1712 m	20 mars Cote NGF CMH+1702 CMH+1712 m	20 mars Cote NGF CMH+1702 CMH+1712 m
Métoprope	Proje	Cote de la	Cote de la	Cote de la	Cote de la	Cote de la	Cote de la	Cote de la	Cote de la	Cote de la	Cote de la	Cote de la	Cote de la
	Métoprope	Seine	Seine	Seine	Seine	Seine	Seine	Seine	Seine	Seine	Seine	Seine	Seine
NONFLEUR	300 000	9.92	8.00	8.26	8.53	8.61	8.69	8.72	9.14	9.21	9.18	9.66	9.96
PATOUVILLE	300 000	9.92	8.00	8.26	8.53	8.61	8.69	8.72	9.14	9.21	9.18	9.66	9.96
LA ROCHE	344 250	9.92	8.20	8.52	8.36	8.36	8.36	8.36	8.36	8.36	8.36	8.36	8.36
LA RIBLE	346 040	9.92	8.32	8.61	8.82	8.90	8.98	9.12	9.25	9.54	9.62	9.65	9.65
TANCARVILLE	337 360	9.92	8.32	8.61	8.82	8.90	8.98	9.12	9.25	9.54	9.62	9.65	9.65
GUILLEBOUF	331 650	10.25	8.45	8.79	8.72	8.31	8.31	8.31	8.31	8.31	8.31	8.31	8.31
SANT LÉONARD	330 200	9.92	8.32	8.61	8.82	8.90	8.98	9.12	9.25	9.54	9.62	9.65	9.65
COURVAL	325 000	9.92	8.32	8.61	8.82	8.90	8.98	9.12	9.25	9.54	9.62	9.65	9.65
ANDRÉ	323 420	9.92	8.32	8.61	8.82	8.90	8.98	9.12	9.25	9.54	9.62	9.65	9.65
VATTEVILLE	317 000	9.92	8.32	8.61	8.82	8.90	8.98	9.12	9.25	9.54	9.62	9.65	9.65
CHOCHEBO	316 000	9.92	8.32	8.61	8.82	8.90	8.98	9.12	9.25	9.54	9.62	9.65	9.65
HEURTREUILLE	267 000	9.92	8.32	8.61	8.82	8.90	8.98	9.12	9.25	9.54	9.62	9.65	9.65
MERVAL SONS JARDGES	260 000	9.92	8.32	8.61	8.82	8.90	8.98	9.12	9.25	9.54	9.62	9.65	9.65
DUCLOS	278 000	9.92	8.32	8.61	8.82	8.90	8.98	9.12	9.25	9.54	9.62	9.65	9.65
VAL DES LIEUX	265 000	8.90	8.11	8.10	8.05	8.00	8.20	8.30	8.37	8.20	8.02	8.27	8.51
LA BOULLE	258 250	9.92	8.32	8.61	8.82	8.90	8.98	9.12	9.25	9.54	9.62	9.65	9.65
GRAND COULONNE	255 000	9.92	8.32	8.61	8.82	8.90	8.98	9.12	9.25	9.54	9.62	9.65	9.65
PETIT COULONNE	252 100	9.92	8.32	8.61	8.82	8.90	8.98	9.12	9.25	9.54	9.62	9.65	9.65
ROUEN	243 700	9.92	10.05	9.53	9.38	9.36	9.03	9.64	9.46	9.09	9.52	9.91	9.33
ORSEL	225 000	9.92	11.02	10.55	10.00	10.10	10.02	11.32	9.55	9.97	10.30	11.17	10.51
ELBIEUX	218 000	10.50	11.50	11.40	11.00	10.00	10.02	11.32	9.55	9.97	10.30	11.17	10.51
POISSY	200 150	14.86	15.36	12.52	12.00	12.08	12.08	12.51	11.30	12.71	12.71	12.71	12.71

L'approche en termes de hauteur d'eau montre qu'au niveau du projet, l'événement de référence est celui du 1910 avec une cote de 10.05 m CMH (soit 5.67 m NGF).

Dans le cadre de la modélisation hydraulique, la crue de projet retenue est la crue similaire à l'événement 1910.



### 2.9.4 Déroulement de la crue de 1910

La crue de 1910 est due à deux épisodes de pluie successifs et proches, avec une synchronisation des ondes de crues des bassins amont.

Au cours du dernier trimestre de 1909, les vallées de la Haute Seine, de la Marne et de l'Yonne ont enregistré un cumul de hauteurs totales de précipitations de l'ordre de 450 mm, soit deux fois supérieures aux normales saisonnières. Cela a provoqué le maintien d'un niveau élevé des cours d'eau et la saturation des sols sur l'ensemble du bassin versant de la Seine.

Le début du mois de Janvier 1910 est caractérisé par d'abondantes pluies et des chutes de neige importantes sur le bassin versant de la Seine. La chronologie de la crue qui suit ces premières fortes pluies est présentée dans le tableau ci-après :

Tableau 4 : Chronologie de la crue de la Seine en janvier-février 1910

Date	Observations	Conséquences
9 – 13 janvier	Fortes précipitations	Saturation des sols
17 – 20 janvier	<b>Premier épisode de fortes précipitations :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>120 mm à Château-Chinon</li> <li>94 mm à Montbard</li> <li>78 mm à Joigny</li> <li>82 mm à Bar sur Seine</li> <li>79 mm à Chaumont</li> </ul>	Crue subite de l'Yonne, du Loing et du Grand-Morin.  Crue extraordinaire du bassin versant de la Haute Seine et de la Marne
22 – 25 janvier	<b>Deuxième épisode pluvio-neigeux.</b> En deux jours : <ul style="list-style-type: none"> <li>46 mm à Rouen</li> <li>19 mm à Paris</li> <li>23 mm à Auxerre</li> </ul>	Le 22 janvier, la Seine a déjà causé quelques dégâts à Paris et elle commence à border les berges de Rouen. Le 24 janvier, l'eau déborde sur les quais de Rouen.
26 janvier	Amélioration des conditions météorologiques, avec des vents de secteur nord, une hausse des températures et de la pression atmosphérique.	Dégel et fonte des neiges Grossissement des affluents de la Seine Fort débit de la Seine accentué par la concomitance des débits de pointe de différents bassins affluents en amont du barrage de Poses.
27 janvier	Le service des Ponts et Chaussées prévoit une hauteur d'eau de 70 cm au-dessus du seuil de débordement des quais de Rouen, avec un étalement latéral allant jusqu'à 30 mètres	Plusieurs communes proches de Rouen sont sinistrées : Sotteville-Lès-Rouen, Saint-Aubin-Lès-Elbeuf, Cléon et Elbeuf.
29 janvier	Coefficient de marée de 78	L'eau atteint sa hauteur maximale à Rouen : 10.04 m CMH Débit enregistré à Poses : 2600 m <sup>3</sup> /s
5 février	Amorçage de la décrue	9.85 m CMH à Rouen
5-10 février	<b>Troisième épisode pluvieux</b>	Nouvelle pointe de crue
20 – 28 février	<b>Quatrième épisode pluvieux</b>	Nouvelle pointe de crue Après ce dernier épisode, la Seine est retournée dans son lit.

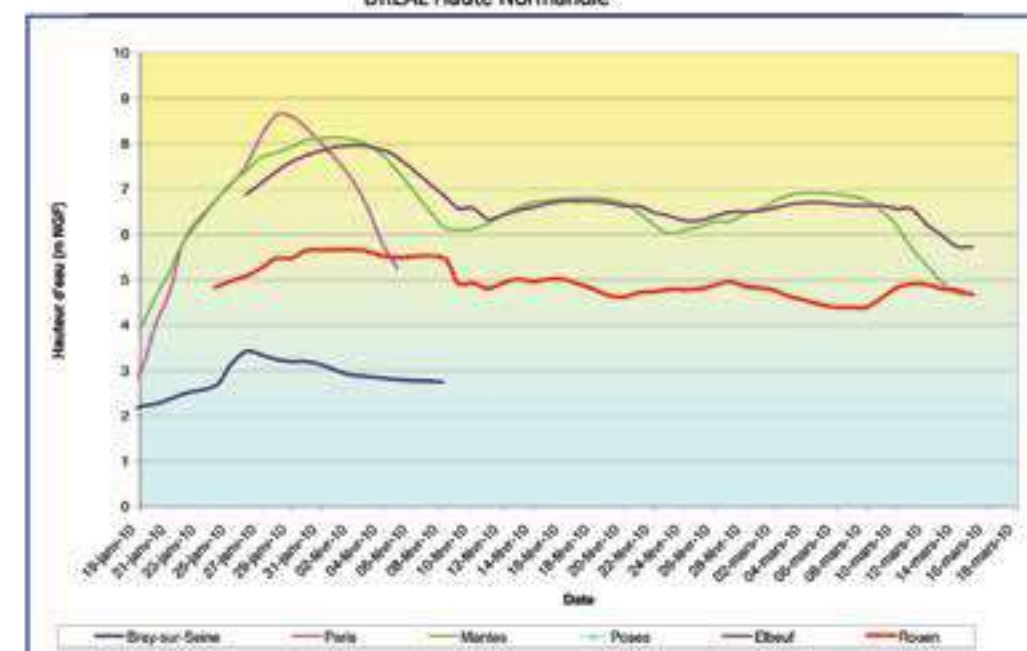
En plus de la pluviométrie exceptionnelle fin 1909/début 1910, le **déboisement massif** réalisé sur le bassin supérieur de la Seine est à prendre en compte en tant qu'aléa participant cette crue centennale. En effet, l'eau ne s'infiltre plus dans les sols; mais ruisselle directement vers l'ensemble des cours d'eau du bassin. La capacité du lit mineur est dépassée, les eaux débordent dans le lit majeur à de nombreux endroits, notamment sur le cours d'eau l'Epte.

Les phénomènes de marée participent également à l'importance de cette crue de 1910. Ses effets se font ressentir dans la partie Seine aval jusqu'au barrage de Poses.

Photo 2(vues a et b) : Photographies de Rouen inondé (source : arehn)



Graphique 8 : Hydrogrammes de la crue de la Seine en 1910 – Source DREAL Haute Normandie



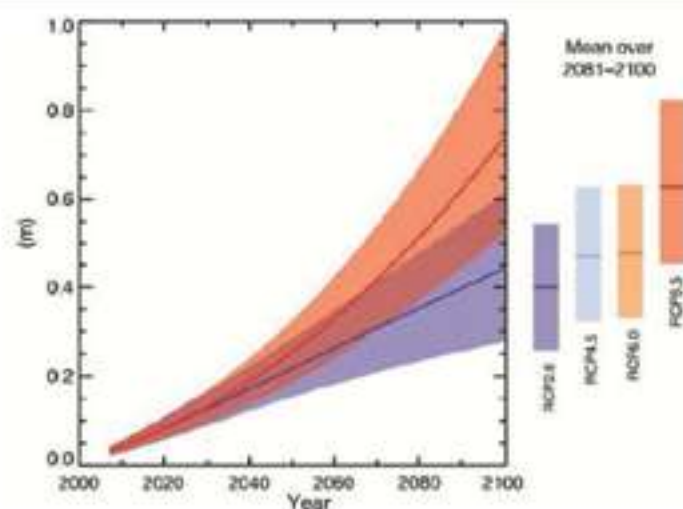


### 2.9.5 Impact du rehaussement du niveau global de la mer sur la Seine

Les scientifiques ont mis en évidence une élévation du niveau mondial des océans et des mers à une vitesse moyenne annuelle comprise entre 1 et 2 mm/an depuis la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle. Cette élévation est corrélée avec le réchauffement actuel de l'atmosphère terrestre, réchauffement qui est attesté par des données instrumentales et qui pourrait être lié à l'effet de serre d'origine anthropique. Elle est due deux phénomènes simultanés : l'expansion thermique des eaux marines de surface et la fonte des glaciers de montagne depuis la fin du Petit Âge Glaciaire.

A partir des différents scénarii d'évolution des prédictions d'élévation du niveau des océans, une tendance générale se dégage des modélisations (graphique suivant).

Graphique 9 : Prédictions de l'élévation du niveau de la mer entre 2000 et 2100 selon les scénarios et les modèles. (Source GIEC 2013)

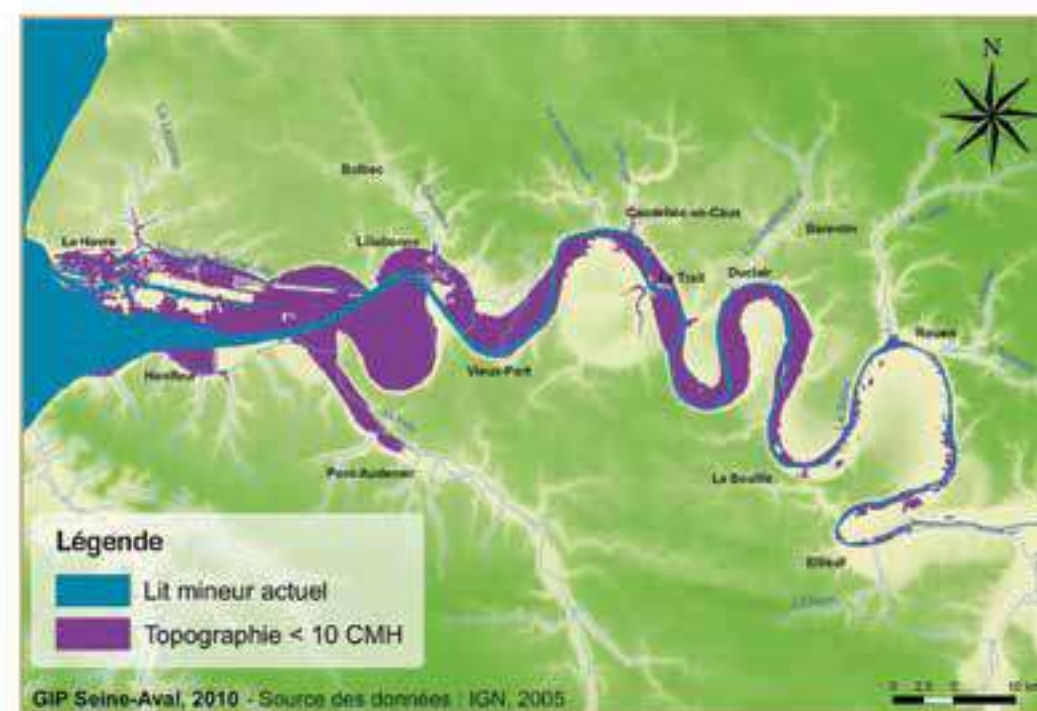


Sur le graphique 9, il est possible de voir les prédictions d'élévation de la mer d'ici à 2100 et cela pour chaque scénario pris en compte. Chacun des résultats tient compte des variabilités induites par les modèles utilisés et présente donc une fourchette (barres verticales) de l'élévation possible pour chaque scénario.

Ainsi, il est possible de s'attendre au niveau de la Seine à :

- La submersion des rives ; l'élévation du niveau marin devrait provoquer la submersion des rives dans l'estuaire à hauteur de 10m CMH.

Graphique 10 : Secteur de l'estuaire de la Seine sensibles à une élévation du niveau marin (source GIP Seine-Aval, 2010)



La cote CMH représente la cote des plus hautes eaux actuelles à laquelle s'ajoute les prédictions de l'élévation du niveau de la mer due au changement climatique.

Plus hautes eaux actuelles (marées de vives-eaux au Havre)	Prédictions du changement climatique		Total cote des plus hautes eaux projetés*
8.5 m CMH	1 m	+ 60 cm : augmentation la plus critique projetée par le GIEC à l'horizon 2100	10 m CMH
		+ 40cm : phénomènes de surcote	

\* arrondie à 10 m du fait des incertitudes sur les données topographiques et sur les prédictions

Dans son document de synthèse « Prise en compte de l'élévation du niveau de la mer en vue de l'estimation des impacts du changement climatique et des mesures d'adaptation possibles » publié en février 2010, l'ONERC définit trois hypothèses de prise en compte de l'impact du changement climatique sur l'évolution du niveau de la mer. Elles sont basées sur les scénarios suivants :

- hypothèse optimiste : scénario d'émission de gaz à effet de serre (GES) le plus bas retenu par le GIEC dans son dernier rapport,



- hypothèse pessimiste : scénario d'émission de GES le plus élevé du dernier rapport du GIEC,
- hypothèse extrême : prise en compte d'une possible accélération de la perte de masse de glace en Antarctique et au Groënland, qui aboutirait à une augmentation du niveau de la mer plus forte que prévue.

Hypothèse	2030	2050	2100
Optimiste	10	17	40
Pessimiste	14	25	60
Extrême	22	41	100

Projections d'élévation du niveau moyen de la mer (en cm) par rapport aux niveaux de la fin du 20ème siècle.

Le choix du Maître d'Ouvrage concernant la crue de sécurité pour évaluer l'impact du projet du raccordement définitif au sixième pont, dans des conditions exceptionnelles correspond à la crue de janvier 1910 accompagnée d'une surcote de 1 m (hypothèse extrême) des niveaux marins moyens au Havre.

### 2.9.6 Caractéristiques qualitatives locales de la Seine

Ces informations détaillées dans la présente partie proviennent des travaux réalisés par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie (AESN), et, notamment :

- Du Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) du bassin Seine-Normandie pour la période 2010 - 2015 ;
- Du Plan Territorial d'Actions Prioritaires de l'Agence de l'Eau (PTAP) pour le secteur Seine-Aval qui constitue un document opérationnel accompagnant le 9ème Programme. Il explicite les priorités locales sur lesquelles mobiliser l'action de l'Agence de l'Eau afin de concourir aux objectifs du SDAGE et de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE).

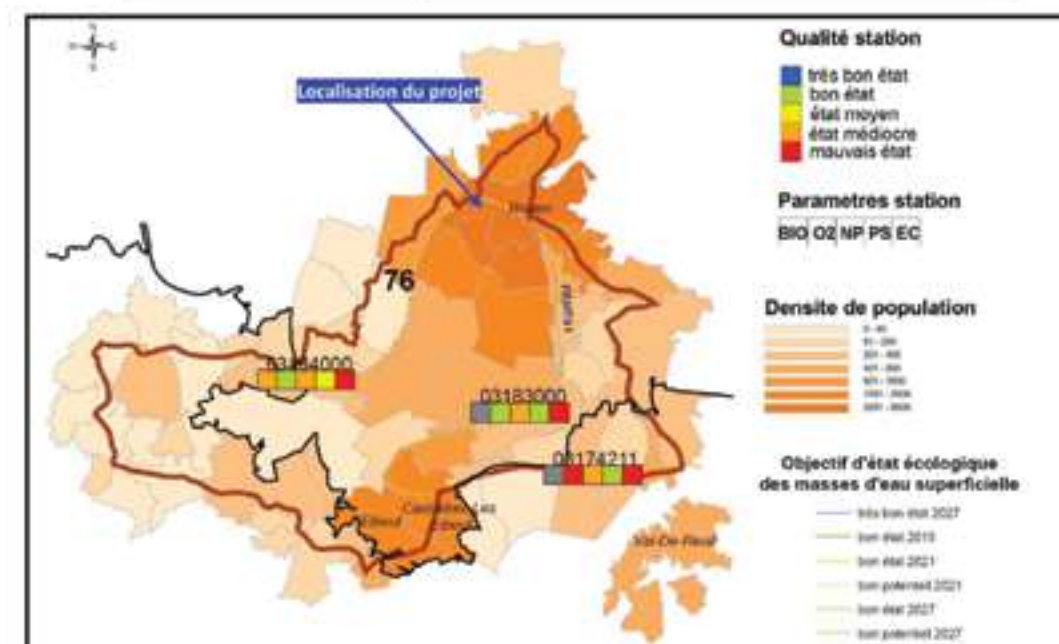
#### 2.9.6.1 Qualité physico chimique de la Seine

Selon le bilan du Plan territorial d'actions prioritaires 2010-2012 réalisé par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie (Mai 2010), la Seine est ici soumise aux pressions de l'agglomération rouennaise (urbanisation, industries, port) et sous influence de l'agglomération parisienne. Elle abrite des peuplements piscicoles perturbés et une diversité benthique non optimale, qui doivent être améliorés.

La méthode d'évaluation de l'état des eaux douces de surface utilisée dans le cadre de l'élaboration des cartes du SDAGE est définie dans un Guide technique du MEEDDAT paru en mars 2009. Les cartes d'état aux stations détaillent les différentes composantes de l'état écologique : indices biologiques (BIO), cycle de l'oxygène (O2), Nutriments (NP) et Polluants spécifiques (PS). EC désigne l'état chimique évalué sur la base de la contamination des eaux par les 41 substances prioritaires.

La carte suivante met en évidence ce mauvais état de la Seine qui présente un mauvais état écologique et chimique, en raison d'une contamination de l'eau par des composés benzéniques et des métaux lourds, substances que l'on retrouve également dans les sédiments.

Schéma 21 : Qualité de la Seine sur la masse d'eau Seine-Estuaire-Amont



#### 2.9.6.2 Directive Cadre sur l'Eau et Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux 2010-2015

La directive du 23 octobre 2000 adoptée par le Conseil et par le Parlement européen définit un cadre pour la gestion et la protection des eaux par grand bassin hydrographique au plan européen. Elle donne la priorité à la protection de l'environnement, en demandant de veiller à la non-dégradation de la qualité des eaux et d'atteindre d'ici 2015 un bon état général tant pour les eaux souterraines que pour les eaux superficielles, y compris les eaux côtières. Une certaine souplesse est cependant prévue et des reports d'échéance ou des objectifs moins stricts restent possibles, mais ils devront être justifiés et soumis à consultation du public. Un objectif adapté (le bon potentiel écologique) peut par ailleurs être retenu pour des masses d'eau fortement modifiées du point de vue de l'hydromorphologie, notamment en raison d'activités économiques.

Ces objectifs sont repris dans le SDAGE du bassin Seine-Normandie qui définit sur le moyen terme les orientations fondamentales d'une gestion équilibrée de la ressource en eau.

Dans le secteur d'étude, la masse d'eau superficielle constitue le secteur Seine-Estuaire-Amont et présente la référence T01. La Seine est ici soumise aux pressions (urbanisation, industries) de l'agglomération rouennaise et sous influence de l'agglomération parisienne. Elle abrite des peuplements piscicoles perturbés et une diversité benthique non optimale, mais ces éléments de qualité biologique peuvent être améliorés et entreront dans la définition de son bon potentiel écologique.

La masse d'eau T01 est classée comme fortement modifiée au titre de la navigation et des infrastructures portuaires. Elle est en mauvais état chimique, en raison d'une contamination de l'eau par des composés benzéniques et des métaux. Ces composés se retrouvent également dans les sédiments.

Ce diagnostic a conduit à la réalisation d'un programme d'actions visant à reconquérir la qualité de cette masse d'eau et à limiter l'apparition de nouveaux facteurs d'altération. Ces actions sont décrites dans le tableau ci-après.

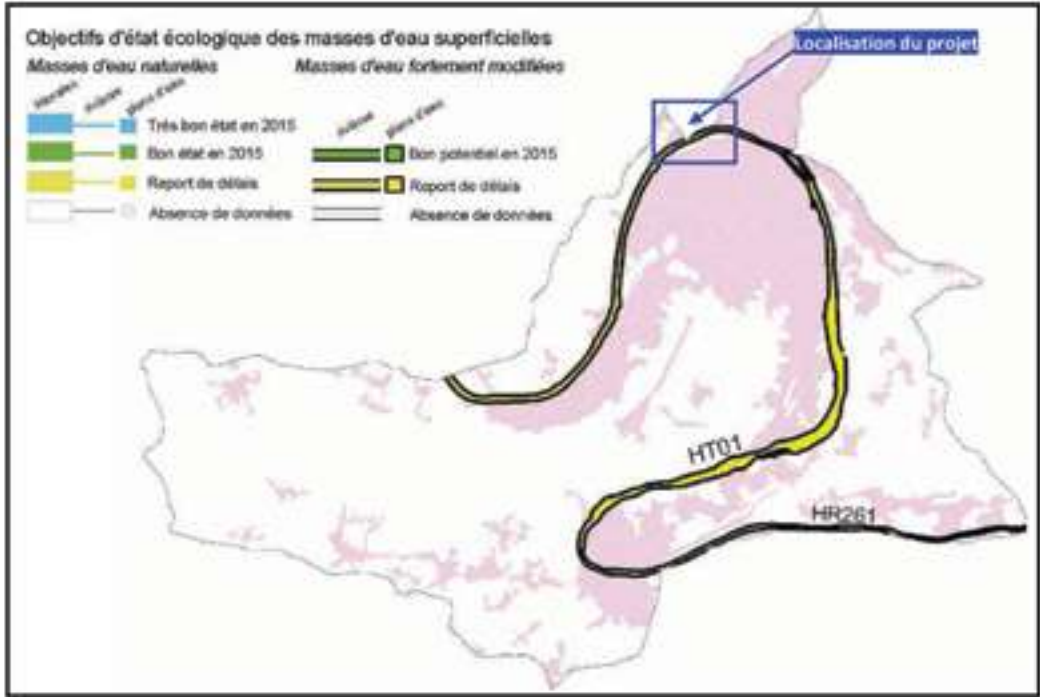
Tableau 5 : Principales actions à mettre en œuvre sur la masse d'eau Seine estuaire amont dans le cadre de la DCE (AESN)

Hydromorphologie	Améliorer la continuité écologique
	Restaurer les habitats (frayères, annexes)
	Restaurer les connexions latérales et les zones humides du lit majeur
	Limiter l'impact des aménagements portuaires et mettre en place des mesures correctrices ou compensatoires
Pollutions ponctuelles	Améliorer les systèmes de collecte et de traitement des eaux résiduaires urbaines
	Mieux gérer et traiter les eaux pluviales urbaines
	Réduire l'impact des rejets industriels
	Réduire les apports de substances prioritaires et supprimer les apports de substances prioritaires dangereuses
Pollutions diffuses	Limiter les apports et les transferts de nitrates et de produits phytosanitaires
	Lutter contre l'érosion et les ruissellements
Connaissance	Réduire l'impact des rejets de l'artisanat et des TPE
Gestion des prélèvements	Organiser la surveillance des milieux et le suivi des actions
	Limiter l'utilisation industrielle d'eau souterraine

La mise en œuvre de ce programme d'action doit permettre d'atteindre les objectifs d'amélioration de la qualité de la Seine fixés dans le SDAGE du bassin Seine-Normandie qui prévoit, en tenant compte du constat actuel de la mauvaise qualité de la Seine, un reports de l'atteinte du bon état chimique et écologique du fleuve en 2027.

On se référera au schéma ci-dessous.

Schéma 22 : Objectifs de qualité de la masse d'eau Seine-Estuaire-Amont (AESN)



### 2.9.7 Apports atmosphériques - Précipitations locales

Les précipitations moyennes mensuelles et annuelles sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 6 : Hauteurs moyennes des précipitations mensuelles et annuelles (Météo France, Station Rouen-Boos, Années 1971-2000)

Mois	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Année
Hauteurs moyennes des précipitations (mm)	71,5	57,0	61,8	55,6	72,3	63,3	62,1	58,0	72,2	75,9	81,6	89,4	820,7



Ce tableau met en évidence les caractéristiques pluviométriques annuelles suivantes :

- La moyenne algébrique mensuelle des précipitations atteint 68,4 mm ;
- La variation des précipitations entre le mois le moins arrosé (avril) et le mois le plus arrosé (décembre) est assez importante. L'écart est de 33,8 mm.
- La moyenne annuelle s'élève à environ 821 mm. Il est à noter que cette moyenne sur trente ans est inférieure de 5 mm à la décennie 1986-1995 qui avait été particulièrement bien arrosée.

Le tableau suivant synthétise les données statistiques locales permettant de définir l'intensité des épisodes pluvieux (hauteur de la lame d'eau) en fonction de leur durée et de leur période de retour.

**Tableau 7 : Valeur intensité-durée-fréquence (Rouen)**

	15min	30min	1 h	3 h	24 h
Période d'échantillonnage	1957-2000				1969-2007 (sous-période du 01 octobre au 30 avril)
10 ans	16.1	20.3	25.4	34.2	35.0
20 ans	18.5	23	29	39	38.8
30 ans	20.4	24.9	31.1	41.8	41.0
50 ans	21.5	27	33.7	45.3	43.7
100 ans	23.8	29.6	37.2	49.9	47.3

Ce tableau met en évidence que l'intensité des précipitations augmente avec la durée de l'épisode pluvieux. Par ailleurs, il fait également apparaître que pour chaque durée d'épisode pluvieux, la probabilité d'occurrence de l'épisode diminue quand l'intensité augmente.

Le nombre de jours de précipitations annuel moyen, pour la période 1971-2000, est donné dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 8 : Nombre de jours de précipitations annuel moyen**

Hauteur quotidienne de précipitations en mm	Nombre moyen de jours sur une année
≥ 1 mm	131,5
≥ 5 mm	56,4
≥ 10 mm	23,0
Total de jours pluvieux	210,9

En moyenne, au niveau du secteur d'étude, on observe qu'il pleut 211 jours dans l'année.

On recense 131,5 jours où la pluie est dite efficace (≥ 1 mm), 56 jours où la pluie est dite significative (en termes d'assainissement) et 23 jours où la pluie dépasse les 10 mm cumulés.

En moyenne, il se produit donc une pluie significative toutes les semaines et une pluie dépassant les 10 mm de manière bimensuelle. Par ailleurs, on observe en moyenne 16 jours d'orage par an, essentiellement au printemps et en été.

## 2.9.8 Risques d'inondation

### 2.9.8.1 Le Plan de Prévention des Risques Inondation (PPRI) Vallée de Seine – Boucle de Rouen

Localement, les risques d'inondation sont pris en compte dans le Plan de Prévention des Risques Inondation (PPRI) Vallée de la Seine - Boucle de Rouen qui a été approuvé le 20 avril 2009. Ce document concerne 18 communes dont Rouen, commune d'implantation du projet.

Les objectifs du PPRI visent à :

- Améliorer la sécurité des personnes exposées à un risque d'inondation ;
- Limiter les dommages aux biens et aux activités soumis à un risque d'inondation ;
- Maintenir le libre écoulement et la capacité d'expansion des crues en préservant les milieux naturels

L'élaboration du PPRI a conduit à traduire les phénomènes d'inondation (à la conjonction de plusieurs facteurs : débit, marée, conditions atmosphériques...) en terme d'aléas. Dans la vallée de la Seine, deux intensités d'aléas sur la sécurité des biens et des personnes ont été définies.

Il est à noter qu'une étude a été réalisée par les sociétés DHI et Explor-E en 2012 et a permis :

- d'affiner la délimitation des zones inondables en reportant la cote de crue de la Seine sur le plan topographique du site ;
- de prendre en compte les effets liés au pont Flaubert et aux aménagements en cours au niveau de la Presqu'île Rollet.

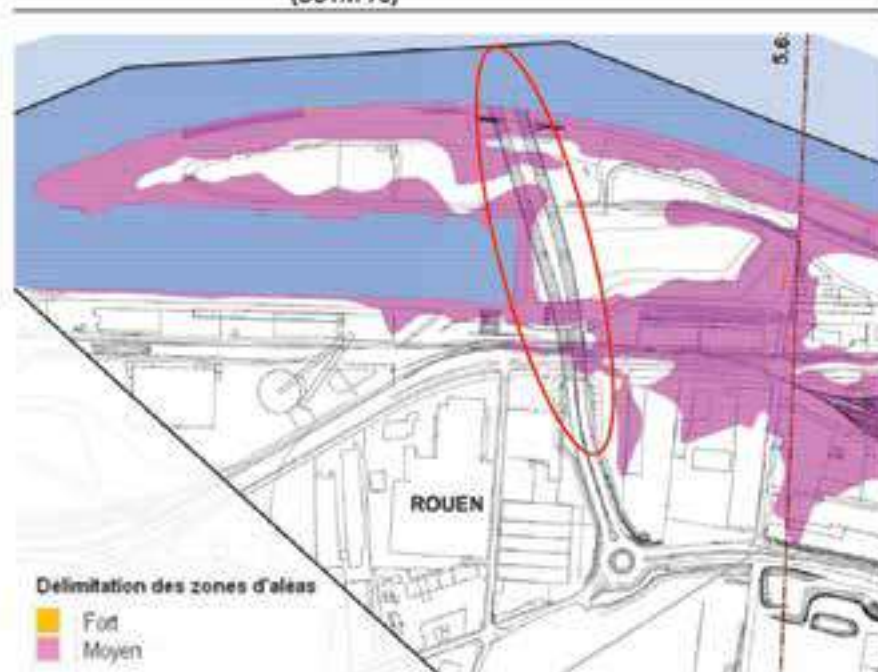
Cette étude a abouti à une modification des cartes d'aléa et de zonage, qui a été intégrée au PPRI par arrêté préfectoral en date du 10 décembre 2012.

Le schéma suivant présente un extrait de la carte d'aléas du PPRI de décembre 2012 pour le secteur d'étude. Il permet d'identifier :

- Les zones d'aléas forts (> 1m d'eau) ;
- Les zones d'aléas moyens (< 1m d'eau).

On constate que le projet se développe en partie dans une zone d'aléa moyen du PPRI.

Schéma 23 : Carte des aléas du PPRI Vallée de Seine – Boucle de Rouen (DDTM 76)



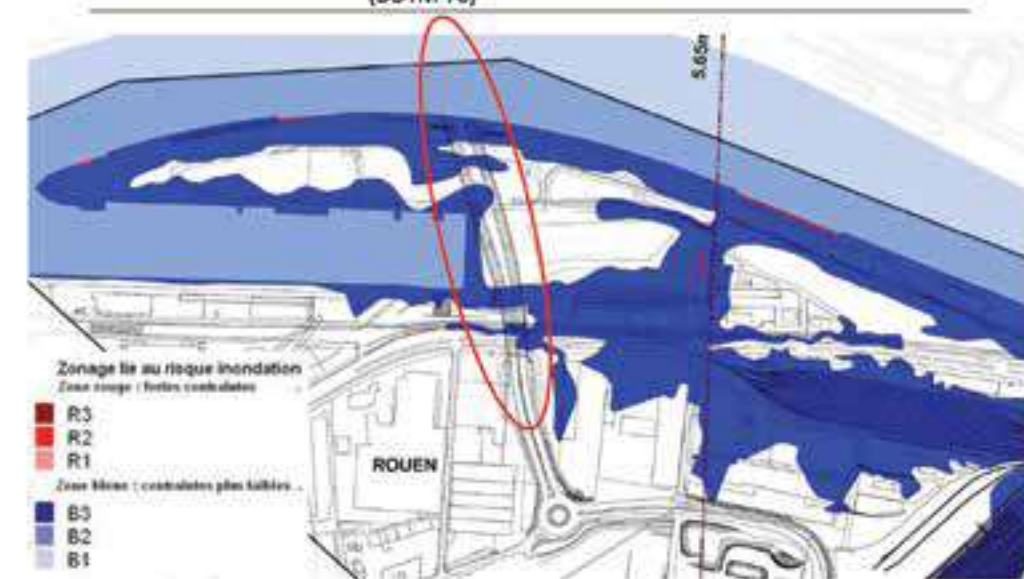
Le zonage PPRI résultant de la carte d'aléas, accompagné d'un règlement, est constitué de deux zones principales :

- Zone rouge : zone de contraintes fortes particulièrement exposées du fait de la durée et de la fréquence des inondations, des hauteurs d'eau constatées et de la vitesse d'écoulement. Il convient d'y préserver les capacités d'expansion des crues afin de ne pas augmenter les conséquences en amont et en aval ;
- Zone bleue : zone de contraintes plus faibles comportant principalement des prescriptions visant à préserver l'expansion des crues.

Les zones rouges et bleues sont, chacune d'elles, découpées en trois secteurs présentant des prescriptions spécifiques applicables en fonction de la typologie d'occupation des sols observées :

- Centres urbains ;
- Autres espaces urbains
- Espaces naturels.

Schéma 24 : Carte du zonage du PPRI Vallée de Seine – Boucle de Rouen (DDTM 76)



La zone d'étude est en partie concernée par le zonage B2 à l'intérieur duquel sont notamment autorisés :

- Les travaux d'infrastructure publique, les remblais et les aménagements connexes qui y sont liés à condition de ne pas aggraver les risques liés aux inondations en amont ou en aval,
- Les équipements publics, les habitations et leurs extensions, les bureaux, les constructions à usage artisanal ou industriel et les constructions à usage commercial d'une superficie supérieure à 300 m², sous réserve que leur niveau de plancher fonctionnel ou habitable se situe au-dessus de la crue de référence augmentée de 30 cm.



## 2.10 Milieux naturels et biodiversité locale

### 2.10.1 Milieux naturels inventoriés et protégés

Les données relatives aux milieux naturels inventoriés et protégés proviennent de la base de données CARMEN de la DREAL de Haute-Normandie. Toutes les zones recensées dans le secteur d'étude sont présentées sur la planche suivante et décrites dans les points qui suivent.

Planche 2 (hors texte) : Le patrimoine naturel inventorié et protégé à proximité du projet (DREAL de Haute-Normandie)

#### 2.10.1.1 Patrimoine naturel protégé

Le patrimoine naturel protégé est soumis à certaines contraintes réglementaires. La présence de milieux protégés doit être prise en compte lors de l'élaboration de projets d'aménagement.

- Forêts soumises au régime forestier

La Loi de juillet 2001 a introduit des modifications importantes du Code Forestier, en mettant en avant la notion de gestion durable et de multifonctionnalité des forêts. Le régime forestier qui s'applique aux forêts de l'État et des collectivités publiques n'a plus pour seul objectif la production de bois. Le souci de protection des milieux et le rôle social (accueil du public) ont été ajoutés. Le régime forestier s'applique de fait pour les forêts de l'État. Pour les forêts des collectivités. Il est décidé par arrêté du préfet de région au vu des matrices et plans cadastraux, du procès verbal de reconnaissance et de la délibération de la collectivité propriétaire.

Le document de gestion établi par l'ONF en concertation avec la collectivité (aménagement forestier, approuvé par arrêté du préfet de région) pour une période minimum de 10 ans permet une protection renforcée du foncier et la répression des infractions forestières.

Les boisements de Roumare recouvrant les coteaux et le plateau à l'Ouest du projet sont soumis au régime forestier.

- Forêts de protection

Le classement en Forêt de Protection peut concerner des zones boisées situées en terrain domanial, communal ou privé. L'objectif de ce classement est la protection des bois et forêts situés soit à la périphérie des grandes agglomérations, soit dans des zones où leur maintien s'impose pour des raisons écologiques ou pour le bien-être des populations.

Le zonage constitue une servitude d'utilité publique opposable aux tiers, inscrite dans les documents d'urbanisme. Tout changement d'affectation ou de tout mode d'occupation du sol de nature à compromettre la conservation ou la protection des boisements y est interdit et la fréquentation du public peut y être réglementée.

Les boisements de Roumare, Bois l'Archeveque, Notre-Dame-de-Bondeville et Mont-Saint-Aignan localisés à l'Ouest et au Nord du site sont soumis à un régime de Forêt de Protection.

- Arrêtés préfectoraux de protection biotope

Les arrêtés préfectoraux de protection de biotope sont régis par les articles L.411.1 et L.411.2 du code de l'environnement et par la circulaire du 27 juillet 1990 relative à la protection des biotopes nécessaires aux espèces vivant dans les milieux aquatiques.

Ils préservent des biotopes pour la survie d'espèces protégées. Le terme biotope doit être entendu au sens large : un biotope est une aire géographique bien délimitée, caractérisée par des conditions particulières (géologiques, hydrologiques, climatiques, sonores,...) propices au développement d'une faune et d'une flore spécifiques.

La protection de biotopes est menée à l'initiative de l'État par le préfet de département.

Les arrêtés de protection de biotope permettent aux préfets de département de fixer les mesures tendant à favoriser, sur tout ou partie du territoire, la conservation des biotopes nécessaires à l'alimentation, à la reproduction, au repos ou à la survie d'espèces protégées. Ces biotopes peuvent être des mares, des marécages, des marais, des haies, des bosquets, des landes, des dunes, des pelouses ou toutes autres formations naturelles peu exploitées par l'homme.

Il peut arriver que le biotope d'une espèce soit constitué par un lieu artificiel (combles des églises, carrières) s'il est indispensable à la survie d'une espèce protégée.

Des actions pouvant porter atteinte à l'équilibre biologique des milieux peuvent alors être interdites telles l'écobuage (défrichement avec brûlis de la végétation, en vue d'une mise en culture temporaire), le brûlage, le broyage des végétaux, la destruction des talus et des haies ou l'épandage de produits antiparasitaires.

Le projet ne s'inscrit pas à proximité d'une zone soumise à arrêté préfectoral de protection de biotopes.

- Réserves biologiques domaniales

La présence en forêt de milieux ou d'espèces remarquables a conduit depuis 1973 à la création de réserves biologiques domaniales (en forêts domaniales) ou forestières (en forêts des collectivités locales). Elles font l'objet, depuis 1981, d'une convention entre les ministères chargés de l'Agriculture et de l'Environnement et l'Office national des forêts. Leur objectif est principalement la préservation du patrimoine naturel remarquable et l'étude de la dynamique des écosystèmes.

La réserve biologique domaniale offre deux types de protection :

Une protection dirigée d'un biotope forestier particulier ou Réserve Biologique Dirigée (RBD), elle a pour objectif de protéger et d'assurer la gestion conservatoire d'habitat ou d'espèces remarquables, rares ou menacées. Des limites d'usage peuvent être décidées.

Une protection intégrale ou Réserve Biologique Intégrale (RBI), elle consiste à laisser libre cours à la dynamique spontanée des habitats, aux fins d'étude et de connaissances des processus impliqués, ainsi que le développement ou la conservation de la biodiversité associée.

Le projet est situé en dehors de toute réserve biologique domaniale.

- Sites Natura 2000



Natura 2000 est un ensemble de sites naturels proposés par chaque état membre en application des directives européennes Oiseaux de 1979 et Habitats de 1992, identifiés pour la rareté ou la fragilité des espèces sauvages, animales ou végétales et de leurs habitats.

Natura 2000 rompt avec la tradition française de protection stricte et figée des espaces et des espèces. L'approche proposée privilégie la recherche, en général collective, d'une gestion équilibrée et durable qui tient compte des préoccupations économiques et sociales. C'est reconnaître que l'état de la nature est indissociable de l'évolution des activités économiques et plus largement, de l'organisation de la société.

Le préfet soumet pour avis le projet de périmètre d'un site aux communes et aux établissements publics de coopération intercommunale (EPCI) concernés sur le territoire desquels est localisée en tout ou partie la zone envisagée puis transmet au ministre chargé de l'environnement le projet de désignation de site accompagné des justifications appropriées, notamment lorsqu'il s'écarte des avis recueillis.

Pour les ZPS (Zone de Protection Spéciale), le ministre chargé de l'environnement, saisi d'un projet de désignation, prend un arrêté désignant la zone comme site Natura 2000 et notifie sa décision à la Commission européenne.

Pour les ZSC (Zone Spéciale de Conservation), le ministre chargé de l'environnement, saisi d'un projet de désignation, décide de proposer la zone à la Commission européenne. Si la Commission européenne inscrit la zone proposée sur la liste des sites d'importance communautaire, le ministre chargé de l'environnement prend un arrêté la désignant comme site Natura 2000.

Le préfet désigne par arrêté un comité de pilotage chargé de conduire l'élaboration du document d'objectifs (DOCOB) du site Natura 2000 puis d'en suivre la mise en œuvre. Le DOCOB élaboré par le comité de pilotage est soumis au préfet qui l'approuve par arrêté. La rédaction d'un document d'objectifs pour chaque site Natura 2000 est apparue comme une formidable opportunité pour réfléchir ensemble, localement, à des questions qu'on ne s'était pas encore posées ou pour lesquelles il paraissait difficile de trouver des solutions.

**Dans le secteur Ouest de Rouen, les boucles de la Seine constituent les seuls sites concernés par des zonages Natura 2000. Ceux-ci ne sont pas localisés à proximité du projet.**

- Patrimoine naturel inventorié

Ces sites inventoriés au titre du patrimoine naturel ne font pas toujours l'objet de mesures de protection ; il s'agit cependant d'un indicateur de la sensibilité du milieu (potentialités d'espèces rares ou menacées, écosystème fragile...).

- ZICO : Zones Importantes pour la Conservation des Oiseaux de Protection

Les ZICO correspondent à des sites présentant une valeur particulière sur le plan ornithologique. Par la présence ou l'absence d'une ou plusieurs espèces rares ou menacées. Ces zones ont été recensées dans le cadre d'un inventaire national (sous l'autorité du Ministère de l'environnement) dans le but d'assurer leur préservation.

**Il n'existe pas de périmètres de ZICO à proximité du projet.**

- ZNIEFF : Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique

L'inventaire ZNIEFF correspond à une base de connaissance des espaces naturels dont l'intérêt repose soit sur l'équilibre et la richesse des écosystèmes, soit sur la présence d'espèces floristiques ou faunistiques rares et menacées.

Au même titre que les richesses culturelles, la nature fait partie du patrimoine national. Aussi, dès les années 1980, l'état a souhaité disposer d'un outil de connaissance sur l'ensemble du territoire. A partir d'une méthodologie nationale élaborée par le Muséum national d'histoire naturelle et déclinée au niveau régional, un vaste travail de prospection de terrain a été lancé région par région. L'inventaire définit deux types de zones :

ZNIEFF de type I : secteurs de superficie généralement limitée, définis par la présence d'espèces ou de milieux rares ou remarquables caractéristiques du patrimoine naturel national ou régional ;

ZNIEFF de type II : grands ensembles naturels riches ou peu modifiés par l'homme ou offrant des potentialités biologiques importantes. Elles peuvent inclure une ou plusieurs zones de type I.

La validation scientifique de cet inventaire est assurée par le Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel, instance composée de divers spécialistes (faune et flore notamment) nommée par le préfet de région après avis du Muséum national d'histoire naturelle. La modernisation de cet inventaire a été engagée depuis 1995.

Le premier état national de l'inventaire (1997) recense en France métropolitaine plus de 12 800 ZNIEFF de type I et plus de 1 900 ZNIEFF de type II couvrant respectivement une superficie d'environ 4,4 millions et 11,6 millions d'hectares. Ces zones I et II, prises ensemble, représentent un quart de la superficie de la métropole, soit presque 13,8 millions d'hectares sur plus de 14 750 sites. Un deuxième état de l'inventaire, débuté en 1996, est en cours de réalisation (mise à jour des données et harmonisation de la méthode).

Cet inventaire est accessible à tous et consultable avant tout projet afin d'améliorer la prise en compte de l'espace naturel et d'éviter autant que possible que certains enjeux environnementaux ne soient révélés trop tardivement. Il permet ainsi une meilleure prévision des incidences des aménagements et des nécessités de protection de certains espaces fragiles.

La prise en compte d'une zone dans le fichier ZNIEFF ne lui confère aucune protection réglementaire. Par contre la nécessité de consulter cet inventaire lors de l'élaboration de tout projet est rappelée dans la circulaire n°91-71 du 14 mai 1991.

**Il existe de nombreuses ZNIEFF sur les plateaux entourant le projet. Cependant, celles-ci sont toutes situées à plus de 2 km du projet qui n'apparaît donc pas concerné par le périmètre de ces ZNIEFF.**



## 3

### Volet assainissement pluvial : Diagnostic hydraulique de la situation fonctionnelle

#### 3.1 Délimitation du bassin versant étudié

Le bassin versant étudié de 14,5 ha correspond :

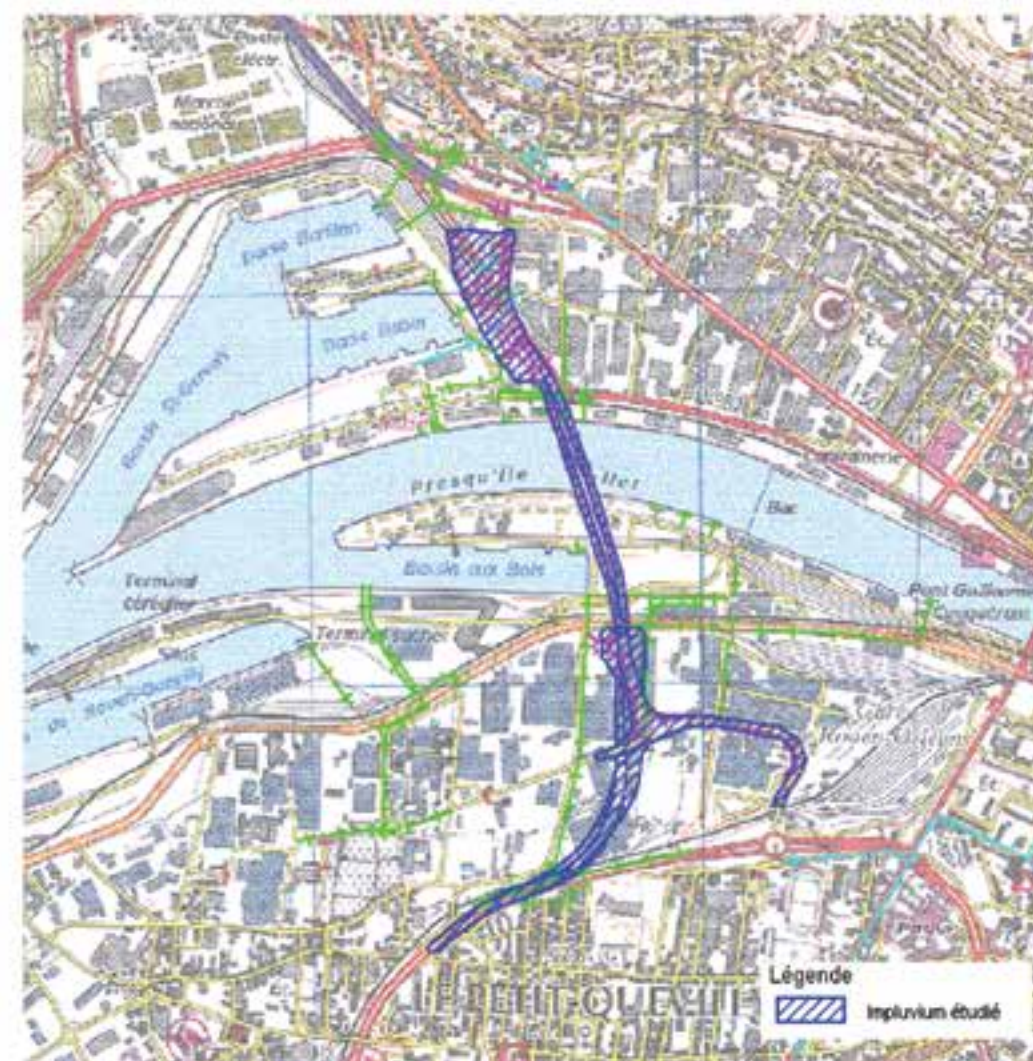
- **En rive droite :** aux voiries du projet fonctionnel associé à l'impluvium intercepté par le réseau de collecte mis en place lors des travaux de construction du pont Flaubert.
  - ↳ La rive droite présente un très faible impluvium extérieur compte tenu du contexte topographique et de l'absence d'interaction entre le système de gestion des EP du projet fonctionnel et des réseaux EP existants.
  - ↳ La surface du bassin versant étudié est de 5,5 ha, comprenant une partie de la rue Nansen (~430 m), une partie de la bretelle de desserte de l'A150 (~220 m), 430 m du tablier et les espaces verts entourant ce secteur.
- **En rive gauche :**
  - ↳ A la surface du projet fonctionnel associé à l'impluvium intercepté par le réseau de collecte (3ha) ;  
Le projet fonctionnel en rive gauche reçoit actuellement peu d'impluvium extérieur. En effet, les ruissellements diffus des parcelles en friche s'infiltrent ou stagnent sur chacune des parcelles compte tenu des terrassements liés aux démolitions/déconstructions ainsi qu'à leur niveau inférieur à la chaussée. De plus, lors des travaux, les réseaux Eaux Pluviales existants (tête de réseau) ont été déconnectés de l'emprise du projet fonctionnel. Ainsi, les eaux de la rue de Madagascar ne rejoignent plus le réseau rue Léon Malétra.
  - ↳ A l'emprise du projet définitif intégrant chacune des variantes (souterraine ou aérienne) complété de l'impluvium potentiellement intercepté par chaque variante ainsi que l'emprise nécessaire aux ouvrages de restitutions des Eaux Pluviales.  
La variante aérienne ne reçoit pas d'impluvium extérieur compte tenu de son profil surélevé.  
L'impluvium extérieur est également limité pour la variante souterraine compte tenu de la topographie des parcelles environnantes. Il se limitera aux abords immédiats (pente de talus, bretelles d'accès).

↳ La surface totale du bassin versant étudié est de 9 ha en rive gauche.

Nota : L'impluvium extérieur correspond aux surfaces générant du ruissellement et directement interceptées par le projet afin de dimensionner des ouvrages de collecte/rétablissement de la continuité hydraulique.

Cet aspect est à distinguer des apports d'eau éventuels en cas de crue/débordement de la seine ou remontée de nappe, pouvant nécessiter des mesures compensatoires spécifiques. Ce dernier point étant étudié en phase 2 et s'appuyant sur une modélisation hydraulique 2D ainsi que la modélisation hydrogéologique du secteur d'étude.

Schéma 25 : Localisation de l'impluvium étudié





Les paragraphes suivants présentent le diagnostic du fonctionnement hydraulique par secteur :

- Fonctionnement au niveau du tablier (entre chaque culée) ;
- Fonctionnement du bassin versant en rive gauche ;
- Fonctionnement du bassin versant en rive droite ;
- Puis un reportage photographique complète la description par secteur.

Ce diagnostic a été établi à partir :

- des plans de recollement fournis par le Maître d'Ouvrage ;
- des visites de terrains en présence notamment de représentants de la DIRNO, CIE, complétés de leurs témoignages pour l'identification de dysfonctionnements éventuels.

Les visites de terrain ont eu lieu durant les mois d'août et septembre 2012, par temps sec et temps de pluie, par marée haute et basse, afin de repérer les dysfonctionnements éventuels et confirmer le fonctionnement du clapet en rive gauche.

## 3.2 Système de collecte et de traitement des eaux du pont Flaubert

### 3.2.1 Diagnostic

Les écoulements du tablier sont collectés par un système de gargouilles placées à intervalles réguliers (~15 m) puis dirigés vers un collecteur suspendu dans chacun des deux tabliers parallèles.

Sur la partie levante, ce collecteur est une canalisation Ø400 mm et l'ensemble des raccordements est étanche.

Sur la partie fixe, il s'agit d'un système de gouttière ayant un débit capacitair proche d'un Ø600 mm. Ces gouttières collectent les eaux du tablier levante.

Aucun dépôt n'a été repéré sur ce tronçon. L'entretien des ouvrages de collecte est régulier (balayage et hydrocurage des gargouilles,...).

En revanche des dysfonctionnements ont été repérés au niveau de chaque culée, au niveau du raccord entre les gouttières de collecte et le réseau canalisé enterré. En effet, une grille avaloir doit recevoir les eaux des gouttières pour les diriger vers le réseau enterré de canalisation (Ø600 mm). Cependant cette grille est régulièrement bouchée par les apports de terre et graviers... Une première modification a été effectuée en rive droite mais ne s'avère pas efficace (débordements persistants).

Par conséquent, une petite partie des ruissellements atteint le réseau de collecte et traitement mais la majorité des apports du tablier ruisselle le long de la culée (érosion de la terre armée sur chaque rive) pour rejoindre la voirie en contrebas. On se référera aux photos ci-après 7 (rive gauche) et 5 c (rive droite).

**Le système de raccordement entre les gouttières du tablier et les canalisations enterrées doit impérativement être revu avant une détérioration trop importante de la terre armée composant chaque culée.**

On notera également une gouttière vandalisée (a priori tentative de vol de métaux) n'assurant plus le transfert des ruissellements.

Le détail du fonctionnement des systèmes de traitement est présenté par rive dans les paragraphes suivants.

### 3.2.2 Reportage photographique au niveau du tablier du pont Flaubert

#### 3.2.2.1 Collecte dans le tablier levante

Photo 3(vues a et b) : Collecte des eaux de ruissellement dans le tablier levante





Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie  
Liaison Sud III / Autoroute A150 - 6ème franchissement de la Seine à Rouen - Raccordement définitif au pont Gustave Flaubert en rive gauche de la Seine  
Études hydrologiques, hydrogéologiques et d'assainissement

**Photo 4(vues a et b) : Raccordement partie levante/partie fixe**



Point de raccordement entre la partie levante (arrivée de la canalisation Ø600 mm) et la gouttière suspendue de la partie fixe du tablier.

Vue générale

**3.2.2.2 Collecte dans la partie fixe (réceptionnant également les eaux du tablier levant)**

**Photo 5(vues a, b et c) : Collecte des eaux de ruissellement**



Grille de collecte dirigeant les eaux vers une gouttière.


Arrivée de la gouttière Ø2150 mm dont une gouttière 0.6 x 0.6 cm suspendue sous chaque tablier.

gouttière Ø 6 x 0.6 cm

Affaire n°8970/2 du 02/04/18 68

Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie  
Liaison Sud III / Autoroute A150 - 6ème franchissement de la Seine à Rouen - Raccordement définitif au pont Gustave Flaubert en rive gauche de la Seine  
Études hydrologiques, hydrogéologiques et d'assainissement

**Photo 6(vues a, b et c) : Transfert des eaux de ruissellement**



Entonnement à l'extrémité de chaque gouttière.

Vue de dessus

Gouttière de collecte des eaux des 2 tabliers pour chaque rive.

**3.3 Détail du fonctionnement en rive gauche**

**3.3.1 Diagnostic**

Le projet fonctionnel dispose d'un réseau de collecte créé pour le projet. Ce réseau de collecte présente deux antennes principales :

- Une première Ø600 mm collectant directement les eaux du tablier ;
- Une seconde recevant les eaux de la rue de Madagascar (Ø500 à Ø600 mm), du giratoire (Ø300 à Ø400 mm) et de la descente de la culée (Ø400 à Ø500 mm). Ces apports confluent au niveau d'une canalisation Ø1000 mm. Le réseau de collecte est en bon état. Quelques pierres persistent au fond de certain regard et semble provenir de la phase travaux. Il n'y pas de dysfonctionnement sur ce secteur.

Les canalisations Ø600 et Ø1000 mm confluent au niveau d'un regard avant de rejoindre le système de traitement sur le site du Centre d'Entretien et d'Intervention.

Le système se décompose ainsi :

- Collecte Ø1000 mm équipé d'un by-pass (vanne motorisé en cas de pollution accidentelle)
- Cuve de stockage alimentée par le by-pass lorsque la vanne est ouverte. A noter qu'au niveau du système de by-pass, le fil d'eau de la vanne, inférieur au fil d'eau du départ Ø1000 mm, génère une zone de décantation nécessitant un curage régulier. En effet, le dépôt de terre dans le regard peut provoquer un comblement de la vanne obstruant l'accès du flux à la cuve de stockage (observation similaire en rive droite),
- Second by-pass pour alimenter (1<sup>er</sup> flot- calibré pour des pluies < 2ans) un décanteur particulière (débourbeur déshuileur),
- Ø1000 mm recevant les apports en cas de by-pass du décanteur (pluie > 2ans),

Affaire n°8970/2 du 02/04/18 69

- Clapet anti-retour pour protéger le réseau de collecte et système de traitement du projet des marées.

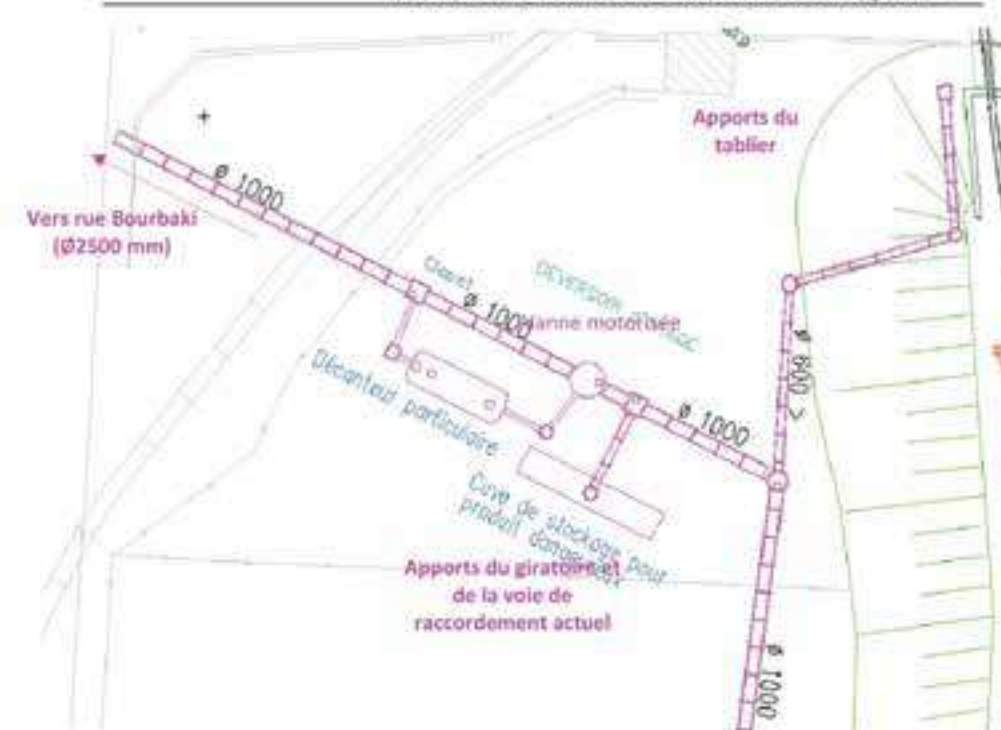
Aucun dysfonctionnement hydraulique n'a été recensé sur le réseau de collecte enterré de ce secteur. Un entretien régulier (curage) du regard situé au niveau de la vanne de confinement est cependant à prévoir. L'absence de traces de mises en charges en amont du clapet confirme son bon fonctionnement.

L'emprise du projet de raccordement à la sud III correspond à une parcelle en friche. Les bâtiments ont été démolis ou déconstruits. Les eaux de cette parcelle ne rejoignent pas le réseau de collecte existant. Les ruissellements diffus tendent à s'orienter vers l'Est de la parcelle et s'infiltrer progressivement.

La sud III présente un réseau de collecte disposant d'avales à intervalles réguliers. Ce réseau pluvial rejoint ensuite la canalisation Ø2500 mm au niveau de la rue Bourbaki. Le point bas de ce réseau correspondant au point de raccordement entre le projet et la sud III, une partie des eaux du projet y seront raccordées.

Il n'a pas été recensé de dysfonctionnement sur ce secteur.

Schéma 26 : Schéma de principe du fonctionnement du système de traitement à l'exutoire du réseau de collecte rive gauche





### 3.3.2 Reportage photographique – rive gauche

Photo 7(vues a, b et c) : Collecte des eaux de ruissellement



Gouttière au niveau de la culée recevant les deux tabliers. Dégradée suite à des intrusions, elle n'assure plus son rôle de transfert des eaux.

Perforation dans le mur pour limiter les zones de stagnations à proximité du système de collecte. Traces de ruissellements importants.

Photo 8(vues a, b et c) : Dysfonctionnement au niveau de la gouttière rive gauche



Grille avaloir bouchée à l'exutoire de la gouttière. La germination des graminées recouvre la grille.

Ruissellements sur la culée.

Vue générale sur le projet emprunté par les ruissellements.

Photo 9(vues a, b et c) : Système de traitement au niveau du CEI



Dispositif de traitement sous le parking du Centre d'Intervention et d'Entretien.

Clapet sur Ø1000 mm à l'exutoire du réseau de collecte des eaux du projet fonctionnel avant rejet vers le réseau Ø2500 mm de la rue Bourbaki.

Trace de mise en charge dans le regard en aval immédiat du séparateur hydrocarbure.

Photo 10 : Exutoire rive gauche



Exutoire du réseau rue Bourbaki (cadre 3x3.8 m), recevant les apports du projet rive gauche au niveau du bassin du Bors.

## 3.4 Détail du fonctionnement en rive droite

### 3.4.1 Diagnostic

Le projet fonctionnel rive droite dispose d'un réseau de collecte ramifié recevant les différentes voies du projet. Ce réseau de collecte présente plusieurs antennes :

- Collecte des eaux du tablier par une canalisation Ø800 mm ;
- Collecte des eaux des rues Nansen par 2 antennes secondaire Ø300 mm ;
- Collecte de la bretelle entre l'A150 et la rue Nansen par une canalisation Ø400 mm ;
- Collecte d'une petite partie de l'A150 par un Ø400 mm et des avaloirs Ø300 mm.

Ce réseau de collecte confluent ensuite au niveau de 2 regards (dont 1 borgne) avant de rejoindre le système de traitement sur le site situé entre l'A150 et la rue Nansen.

Le système se décompose ainsi :

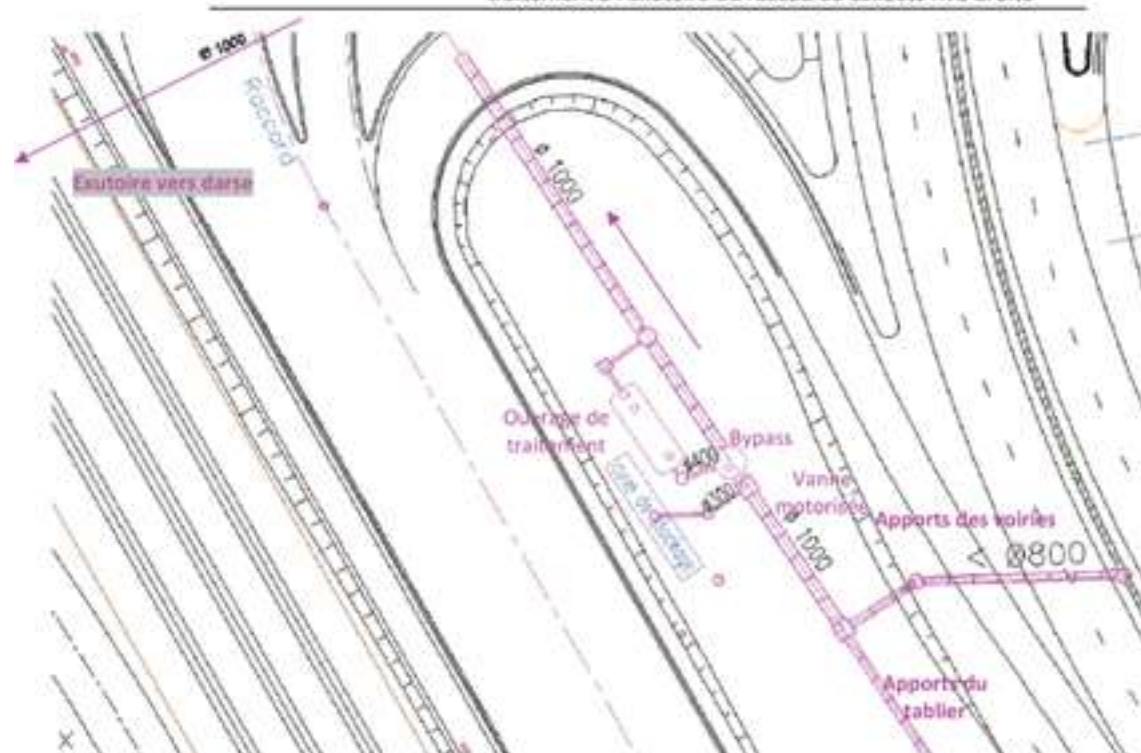
- Collecte Ø1000 mm équipé d'un by-pass (vanne motorisée en cas de pollution accidentelle)
- Cuve de stockage alimentée par le by-pass lorsque la vanne est ouverte. A noter qu'au niveau du système de by-pass, le fil d'eau de la vanne, inférieur au fil d'eau du départ Ø1000 mm, génère une zone de décantation nécessitant un curage régulier. En effet, le dépôt de terre dans le regard peut provoquer un comblement de la vanne obstruant l'accès du flux à la cuve de stockage (observation similaire en rive droite),
- Second by-pass pour alimenter (1<sup>er</sup> flot- calibré pour des pluies < 2ans) un décanteur particulaire (débourbeur déshuileur),
- Ø1000 mm recevant les apports en cas de by-pass du décanteur (pluie > 2ans),
- Raccordement du Ø1000 mm en sortie sur un tronçon Ø600/Ø1000 (?) existant passant sous la voie ferrée et une voie de desserte pour rejoindre la darse Babin. A noter qu'une petite



partie des eaux de la rue Nansen sont directement rejetées dans ce tronçon compte tenu des contraintes topographiques.

Aucun dysfonctionnement hydraulique n'a été recensé sur le réseau de collecte enterré de ce secteur. Un entretien régulier (curage) du regard situé au niveau de la vanne de confinement est cependant à prévoir. Aucun clapet n'a été recensé mais l'absence de traces de mises en charges confirme l'absence de contrainte aval par le niveau d'eau dans la Darse Babin.

Schéma 27 : Schéma de principe du fonctionnement du système de traitement à l'exutoire du réseau de collecte rive droite



### 3.4.2 Reportage photographique – rive droite

Photo 11(vues a, b et c) : Collecte des eaux de ruissellement – rive droite



Photo 12(vues a, b et c) : Ouvrage de traitement – rive droite





Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie  
LIAISON Sud III / Autoroute A150 - Bône Franchissement de la Seine à Rouen - Raccordement définitif au Pont Gustave Flaubert en rive gauche de la Seine  
Études hydrologiques, hydrogéologiques et d'assainissement

Photo 13(vues a, b et c) : Système de confinement – rive droite

indicateur du regard

Regard équipé d'une vanne de confinement en cas de pollution accidentelle. Le dépôt dans la zone de décantation réduit l'efficacité de ce système.  
Situation normale : écoulement vers Ø1000 (flèche bleue)  
En cas de pollution accidentelle : ouverture de la vanne (noyée) et écoulement vers cuve de confinement (flèche rouge)

Vanne motorisée pour une commande à distance (idem rive gauche)

Photo 14 : Exutoire rive droite

Exutoire du réseau Ø1000 mm au niveau de la darse Charles Babin

Affaire n°8970/2 du 02/04/15

Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie  
LIAISON Sud III / Autoroute A150 - Bône Franchissement de la Seine à Rouen - Raccordement définitif au Pont Gustave Flaubert en rive gauche de la Seine  
Études hydrologiques, hydrogéologiques et d'assainissement

### 3.5 Synthèse du fonctionnement hydraulique de la situation fonctionnelle

Le bassin versant étudié est de 14.5 ha et correspond au projet fonctionnel de la rive droite et rive gauche, à l'emprise du pont et à l'impluvium du raccordement à la Sud III.

Le système de collecte en place ne présente pas de dysfonctionnement hydraulique majeur mais les points suivants nécessitent une attention :

- En rive droite :
  - le système de raccordement entre les gouttières du tablier et les canalisations enterrées doit être revu (modification du regard) avant une détérioration trop importante de la terre armée composant chaque culée.
  - Un entretien régulier (curage) du regard situé au niveau de la vanne de confinement est à prévoir.
  - Aucun clapet n'a été recensé mais l'absence de trace de mise en charge confirme l'absence de contrainte aval par le niveau d'eau dans la Darse Babin.
- En rive gauche :
  - Aucun dysfonctionnement hydraulique n'a été recensé sur le réseau de collecte enterré de ce secteur.
  - Un entretien régulier (curage) du regard situé au niveau de la vanne de confinement est cependant à prévoir.
  - L'absence de trace de mise en charge en amont du clapet confirme son bon fonctionnement.

Affaire n°8970/2 du 02/04/15

## 4

## Modélisations Hydrauliques

### 4.1 Objectifs

L'objectif de cette étape est d'appréhender les impacts réels du projet sur la dynamique de la Seine en cas d'inondation. Dans l'affirmatif, des mesures compensatoires devront être proposées afin de rendre le projet transparent en termes d'inondabilité.

Afin d'atteindre cet objectif, Ingetec a mis en œuvre une modélisation hydraulique de la Seine intégrant l'ensemble de la zone d'étude par une modélisation bidimensionnelle.

Le présent chapitre réunit plusieurs parties :

- Les données d'entrée qui ont permis de développer la structure du modèle hydraulique bidimensionnel, utilisé en régime transitoire, capable de décrire l'état actuel et les situations futures du secteur d'étude ;
- Le déroulement hydrologique de l'événement de 1910, permettant de décrire les conditions aux limites du modèle ;
- La simulation d'une crue similaire à l'événement de 1910 à l'état :
  - ↳ De référence, permettant d'établir le calage du modèle ;
  - ↳ Actuel ;
  - ↳ Futur n°1 : Situation aménagée du site en intégrant la variante aérienne des voies d'accès au pont Flaubert en rive gauche ;
  - ↳ Futur n°2 : Situation aménagée du site en intégrant la variante aérienne des voies d'accès au pont Flaubert en rive gauche et tous les aménagements de l'éco-quartier Flaubert.

## 4.2 Principes de la modélisation hydraulique

### 4.2.1 Principes

Le calcul de la ligne d'eau d'une rivière fait appel à des équations de mécanique des fluides, qu'il est impossible de simplifier lorsque les phénomènes deviennent trop complexes (forme du lit mineur, obstacles, changement de régimes...). La modélisation informatique d'un cours d'eau permet d'effectuer rapidement ces calculs et de simuler le fonctionnement de la rivière afin de connaître en chaque point les caractéristiques de l'écoulement (hauteur d'eau, débit, vitesses...). Avec cet outil, il est ainsi possible de mesurer l'impact d'un aménagement futur, et de dimensionner les mesures compensatoires pour annuler ou réduire les incidences ou à l'inverse d'optimiser le dimensionnement des ouvrages de gestion des crues.

### 4.2.2 Présentation du logiciel

La modélisation hydraulique a été réalisée sous le logiciel MIKE 21 FM, avec un maillage flexible développé par DHI.

La modélisation des écoulements par MIKE 21, est assurée à partir de la résolution complète des équations de Barré Saint Venant. Le modèle permet de calculer les débits, les variations de niveaux d'eau et la vitesse dans le lit mineur et dans les champs d'inondation associés à tous les instants en tous points, en régime torrentiel ou fluvial. Il permet en particulier la prise en compte du contexte topographique exacte de l'ensemble des réseaux hydrographiques et ses annexes notamment la présence d'îles, le fonctionnement des singularités (ponts, déversoirs, seuils, vannages, clapets régulés ou non, les influences aval dues à la marée,...

### 4.2.3 Architecture des modèles

Le principe de la modélisation appliquée sur le secteur d'étude reposera donc sur le découpage géographique de la vallée inondable d'une surface d'environ 5 km<sup>2</sup> et sur un linéaire de 4.4 km (partant du pont Jeanne d'Arc) dont 1.8 km en amont du pont Flaubert.

Le secteur modélisé englobe largement l'aléa d'inondation définie par le PPRI de la Seine aval.

Les levés topographiques utilisés pour construire les modèles sont les suivants :

- Les données bathymétriques de la Seine (source – GPMR) ;
- Les données lidar en lit majeur (source – GIPSA) ;
- Les données issues de levés terrestres sur le secteur de l'ECO-Quartier réalisé dans le cadre du projet d'éco-quartier (source – Métropole Rouen Normandie) ;
- Les plans de projet des voiries d'accès reliant le pont Flaubert à la Sud III en rive gauche de la Seine pour 2 variantes : « aérienne » et « souterraine » (Source – Maître d'Ouvrage) ;
- Les plans du pont Flaubert, les voies d'accès RD (projet fonctionnel) et RG ;

Dans le cadre du projet de l'éco-quartier Flaubert, le DHI a réalisé également une modélisation hydraulique sous le logiciel MIKE 21 FM pour le compte de la Métropole Rouen Normandie. Les trois premières séries de données ont été retirées de la structure topographique de ces modèles. Toute fois suite aux modifications du projet de l'éco-quartier Flaubert, la présente étude intègre les



dispositions de l'ensemble des infrastructures de ce projet selon le dernier plan masse disponible (mars-2013).

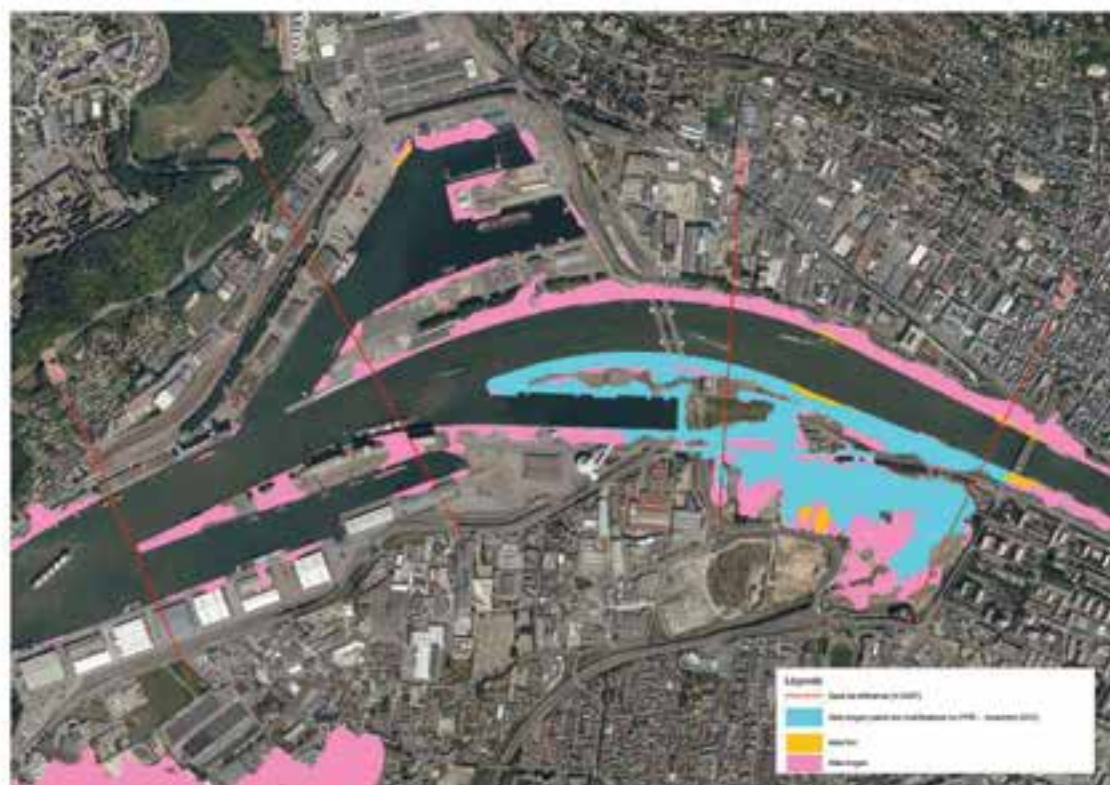
#### 4.2.4 Choix de la crue de projet

Dans le contexte d'occurrence des crues défini précédemment, la zone inondable de référence pour la Seine est celle observée durant la crue exceptionnelle de :

- 1910 pour le secteur situé à Rouen et son amont ;
- 1999 à l'aval de Rouen.

La loi du 2 février 1995 (article L.562-1 du Code de l'Environnement) a créé les plans de prévention des risques naturels prévisibles (PPR) qui constituent aujourd'hui l'un des instruments essentiels de l'action de l'État en matière de prévention des risques naturels.

Schéma 28 : Extrait du PPRi de la Seine aval – Crue de 1910



Le projet s'inscrit dans le Plan de Prévention des Risques Inondation Vallée de Seine – Boucle de Rouen et se situe donc dans le champ d'expansion des crues de la Seine pour un événement correspondant à la crue de 1910. Ceci justifie le choix de la crue de projet « la crue similaire à l'événement de 1910 ».

Le schéma 28 illustre les Plus Hautes Eaux Connues au niveau du projet du raccordement définitif au Pont Gustave Flaubert en rive gauche de la Seine et correspond à l'extension de la crue de 1910 pour la Seine.

#### 4.2.5 Choix de la crue de sécurité

Comme vu précédemment (Cf. § 2.9.5), la crue de sécurité retenue pour évaluer l'impact du projet du raccordement définitif au sixième pont, dans des conditions exceptionnelles, correspond à la crue de janvier 1910 accompagnée d'une surcote de 1 m (hypothèse extrême) des niveaux marins moyens au Havre. Il est à noter que cette hypothèse a également été retenue dans le cadre de l'étude de la liaison A28-A13 pour le compte de la DREAL Haute-Normandie.

La surcote du niveau de la Manche liée au changement climatique de 1 m (hypothèse extrême) a été propagée dans l'estuaire jusqu'à Rouen au moyen d'une simulation réalisée avec un modèle bidimensionnel (modèle de la Manche et de l'estuaire de la Seine jusqu'à Rouen) par le BET ARTELIA. Ce modèle a été construit dans le cadre des études antérieures réalisées pour le compte du Grand Port Maritime du Havre.

Le résultat de cette simulation a fourni que la surcote de 1 m en Manche se propage vers l'intérieur de l'estuaire et se répercute à Rouen par une surcote des niveaux de la Seine de 70 cm.

#### 4.2.6 Conditions aux limites

Les conditions aux limites permettent de fermer mathématiquement le système et donc rendent possible sa résolution. Les conditions aux limites ont été entrées dans le modèle bidimensionnel (MIKE21) et concernent une condition amont et une condition aval.

Le débit de la Seine pour l'événement 1910 est estimé de 2600 à 2900 m<sup>3</sup>/s sans connaître précisément son hydrogramme associé. En revanche, les cotes des plus hautes eaux sont connues tout au long de la crue 1910 (Cf. graphique 8) et nous permettent la mise en œuvre du limnigramme de cet événement.

Le limnigramme de la crue de 1910 est établi à partir des cotes maximales atteintes par la Seine à Rouen tout au long de cet événement. Ce limnigramme représente la condition amont du modèle, son pic de 5.67 m NGF est conforme au seuil de référence du PPRi à cet emplacement. La condition aval du modèle est ensuite réalisée par translation pour arriver à un pic de 5.58 m NGF respectant également le seuil de référence du PPRi.

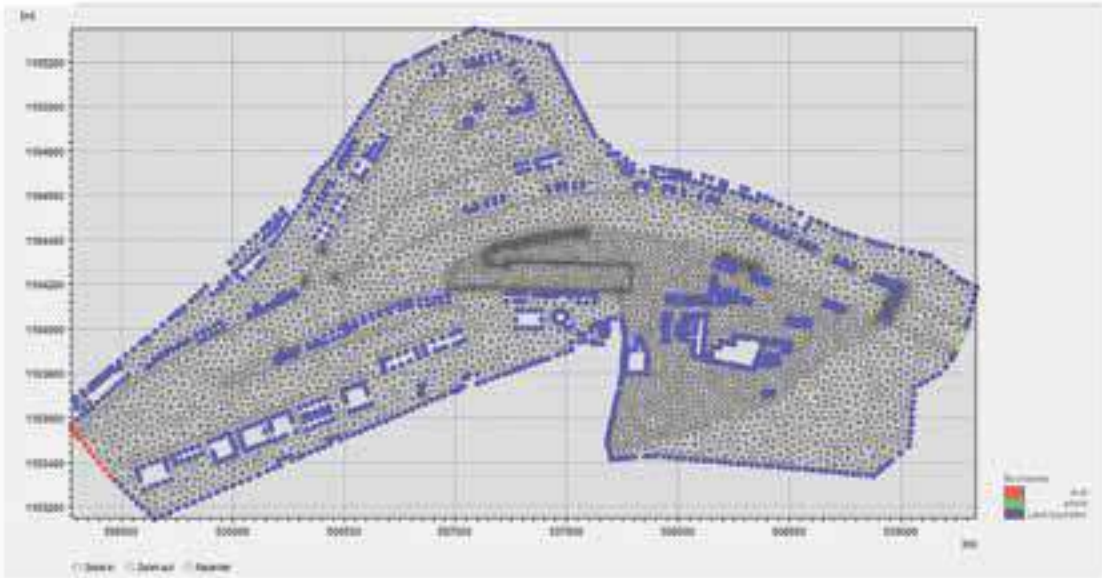
En termes d'inondabilité, le principe d'établir des limnigrammes amont & aval du modèle est basé sur le fait que la durée d'une crue est aussi importante que son pic. Une crue avec un pic sur une courte durée peut créer un champ inondable plus réduit qu'une crue avec un pic moins important mais sur une durée plus étalée.

Le schéma 29 présente le maillage utilisé dans la modélisation de la situation initiale ainsi que la localisation des conditions aux limites.

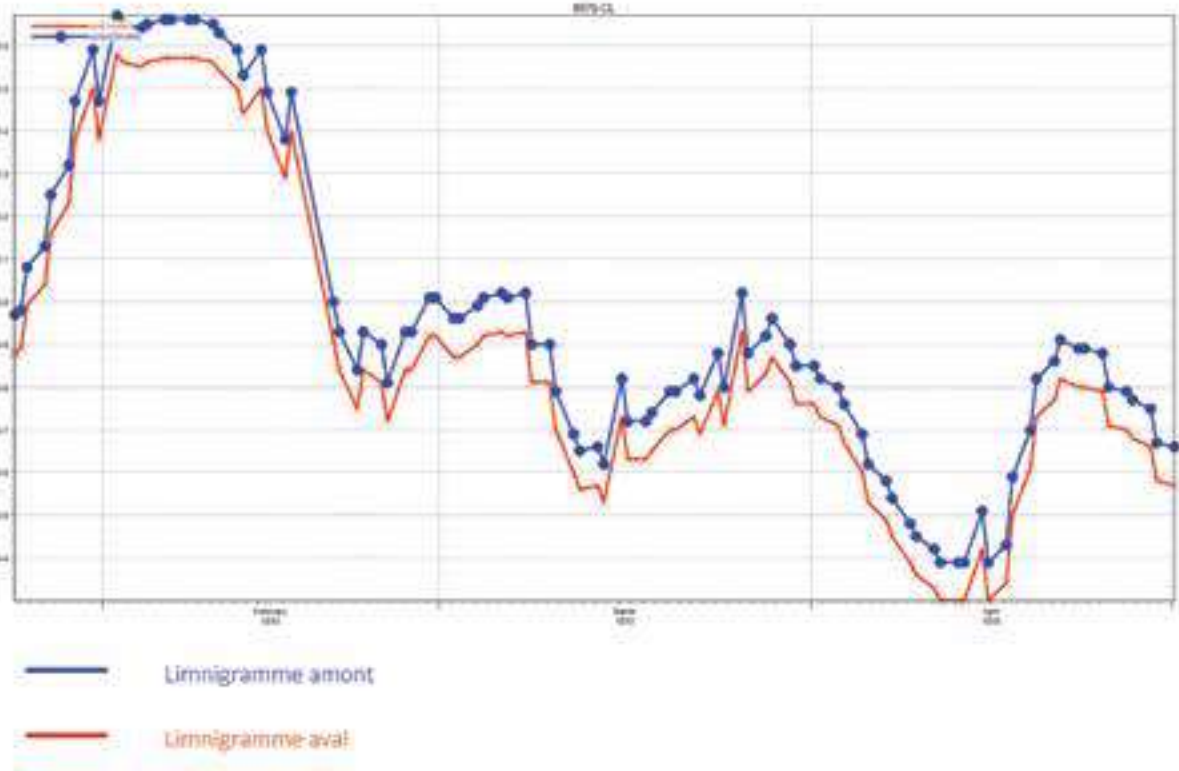




Schéma 29 : Maillage et conditions aux limites



Graphique 11 : Limnigrammes amont & aval du modèle – Crue de projet



Les limnigrammes de la crue de sécurité sont construits à partir des limnigrammes de la crue de projet, auxquels 70 cm de hauteur d'eau ont été ajoutés.

4.3 Vérification de la pertinence du modèle (calage)

Dans le cadre du calage du modèle, la situation de référence, a été modélisée sur la base des données topographiques disponibles.

4.3.1 Création du maillage dans l'état de référence

Sur la base des données topographiques et les caractéristiques physiques du secteur, un maillage a été généré sur le site. Le modèle mis en œuvre est un modèle 2D à mailles flexibles sur l'ensemble du secteur à modéliser.

La taille moyenne des mailles sur le modèle est répartie comme suit :

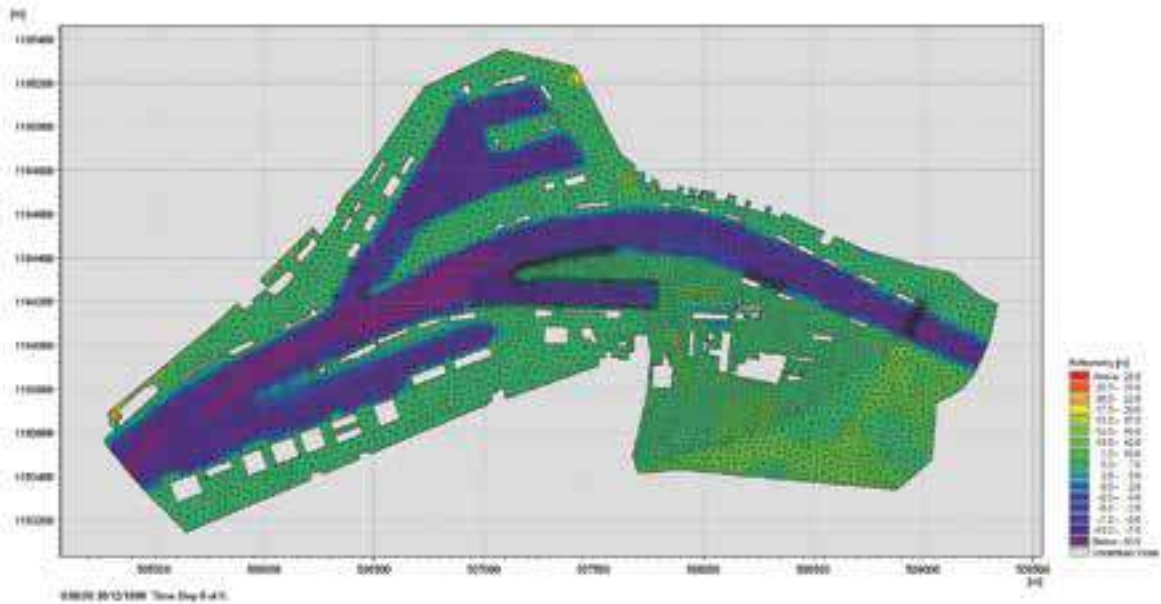
- Lit mineur de la Seine : 800 m²
- Lit majeur: 350 m²

Les bâtiments existants ont été exclus du maillage.

Un MNT a ensuite été généré en réalisant une interpolation des données topographiques sur le maillage.

Le schéma 30 présente le maillage et le MNT sur le site de projet en état de référence.

Schéma 30 : Maillage & MNT de l'état de référence





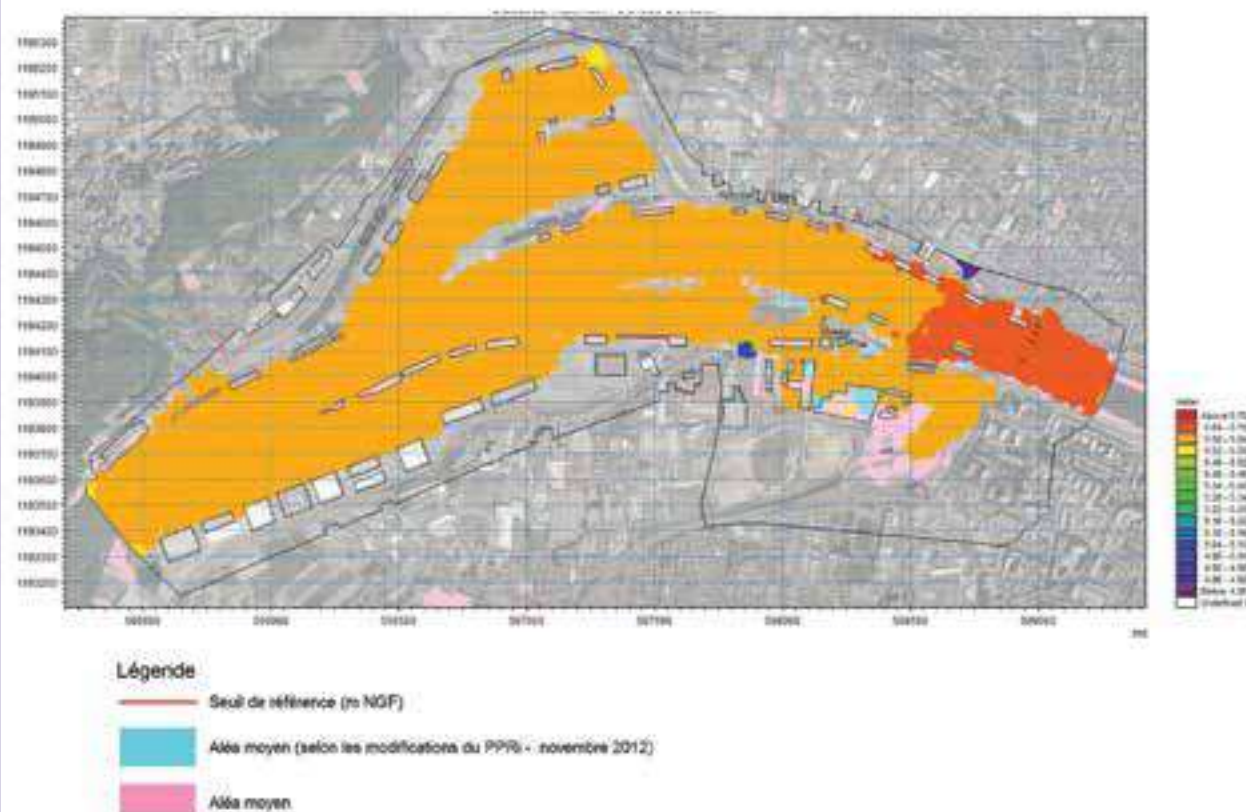
### 4.3.2 Calage

Le calage ou étalonnage du modèle consiste à simuler le passage d'une crue connue suffisamment renseignée en termes de hauteurs et/ou débits (généralement des valeurs de pointe) tout en faisant varier principalement les coefficients de frottement (Strickler).

Les 4 seuils de référence du PPRI lors de la crue 1910, nous permettent de vérifier les résultats obtenus par la modélisation du secteur.

Les hauteurs d'eau maximales obtenues par la modélisation lors d'un événement similaire à celui de 1910 et des limites des aléas du PPRI sont comparées sur le schéma suivant.

**Schéma 31** : Superposition des hauteurs d'eau maximales calculées pour un événement similaire à celui de 1910 et des limites du PPRI Seine aval



Le tableau suivant compare les résultats de la modélisation avec les 4 repères de crues sur le secteur d'étude.

**Tableau 9** : Tableau comparatif des résultats (m NGF) du modèle pour l'état initial et des seuils de référence du PPRI

	PPRI Seine aval	Modélisation de l'état de référence
Point 1	5.67	5.665
Point 2	5.65	5.636
Point 3	5.62	5.613
Point 4	5.58	5.593

Les résultats sont sensiblement proches. Il existe néanmoins des différences entre l'aléa zone inondable du PPRI et les résultats de la modélisation. Cette différence est due aux données topographiques utilisées ne pouvant pas faire matérialiser le contexte topographique exact du terrain, notamment au niveau des bâtiments, lors de la crue 1910.

De ce fait, le calage du modèle est considéré acceptable.

Afin de préserver une cohérence, la base de comparaison des résultats des modélisations des situations futures sera les résultats de la modélisation de l'état de référence.

5

Modélisations de la crue de projet  
(Evénement 1910)

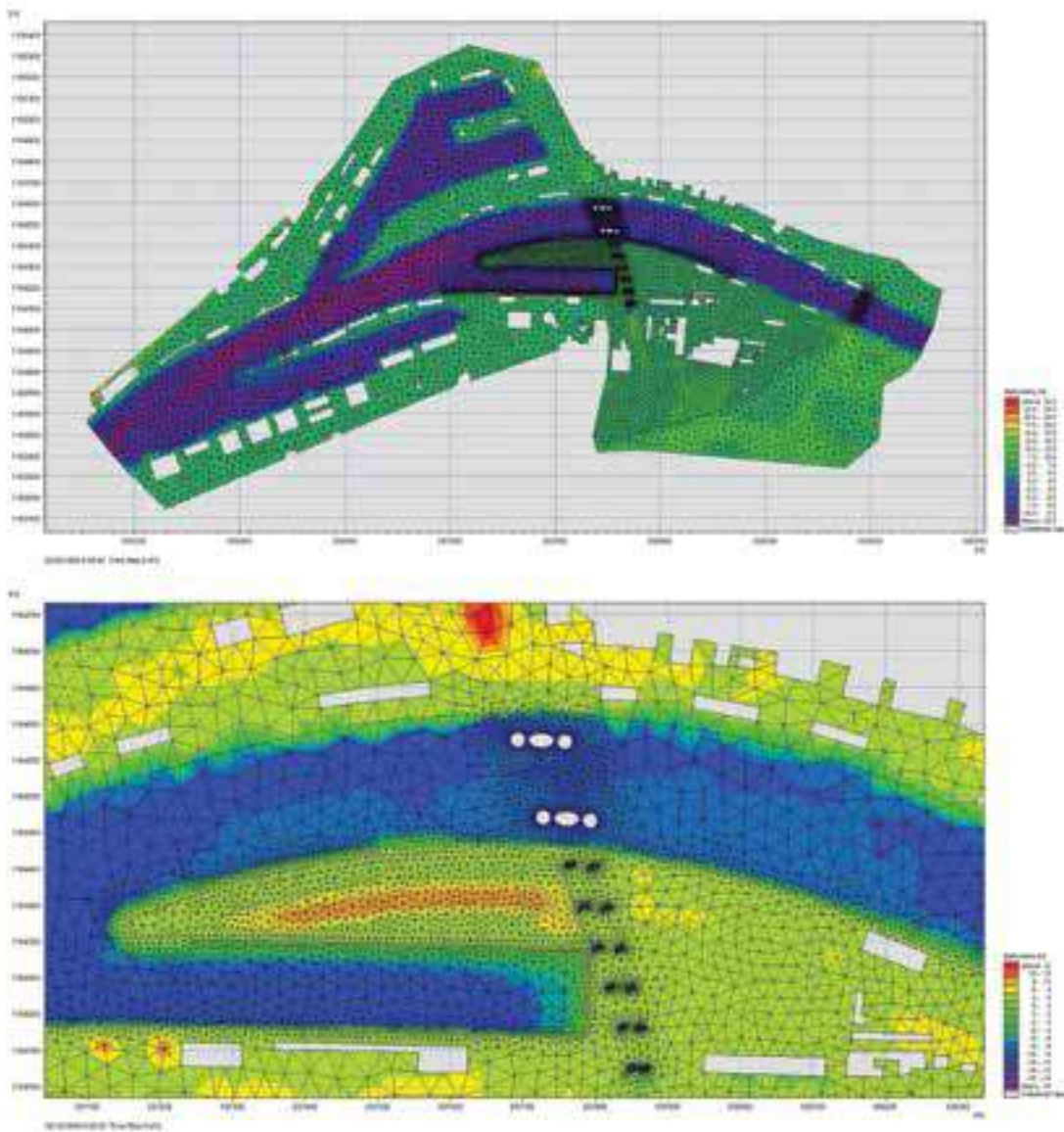
5.1 Modélisation de la situation actuelle

Au niveau de la structure du modèle en situation de référence, une adaptation géométrique a été effectuée afin d'intégrer les aménagements suivant, pouvant matérialiser le contexte topographique actuel du site soit :

- les piles du pont Flaubert ;
- les piles de la voie d'accès de la rive gauche (voie fonctionnelle) ;
- les aménagements de la Presqu'île Rollet ;
- les aménagements des quais et des bords de la Seine.

Le maillage et le MNT du modèle en situation actuelle sont présentés sur les schémas suivants.

Schéma 32 : Maillage & MNT du modèle en situation actuelle



Les hauteurs d'eau maximales obtenues par la modélisation de la situation actuelle lors d'une crue similaire à celle de 1910 sont récapitulées dans le tableau 10 et illustrés sur le schéma 33.



**Tableau 10 : Récapitulatif des résultats (m NGF) des situations « référence » et « actuelle »**

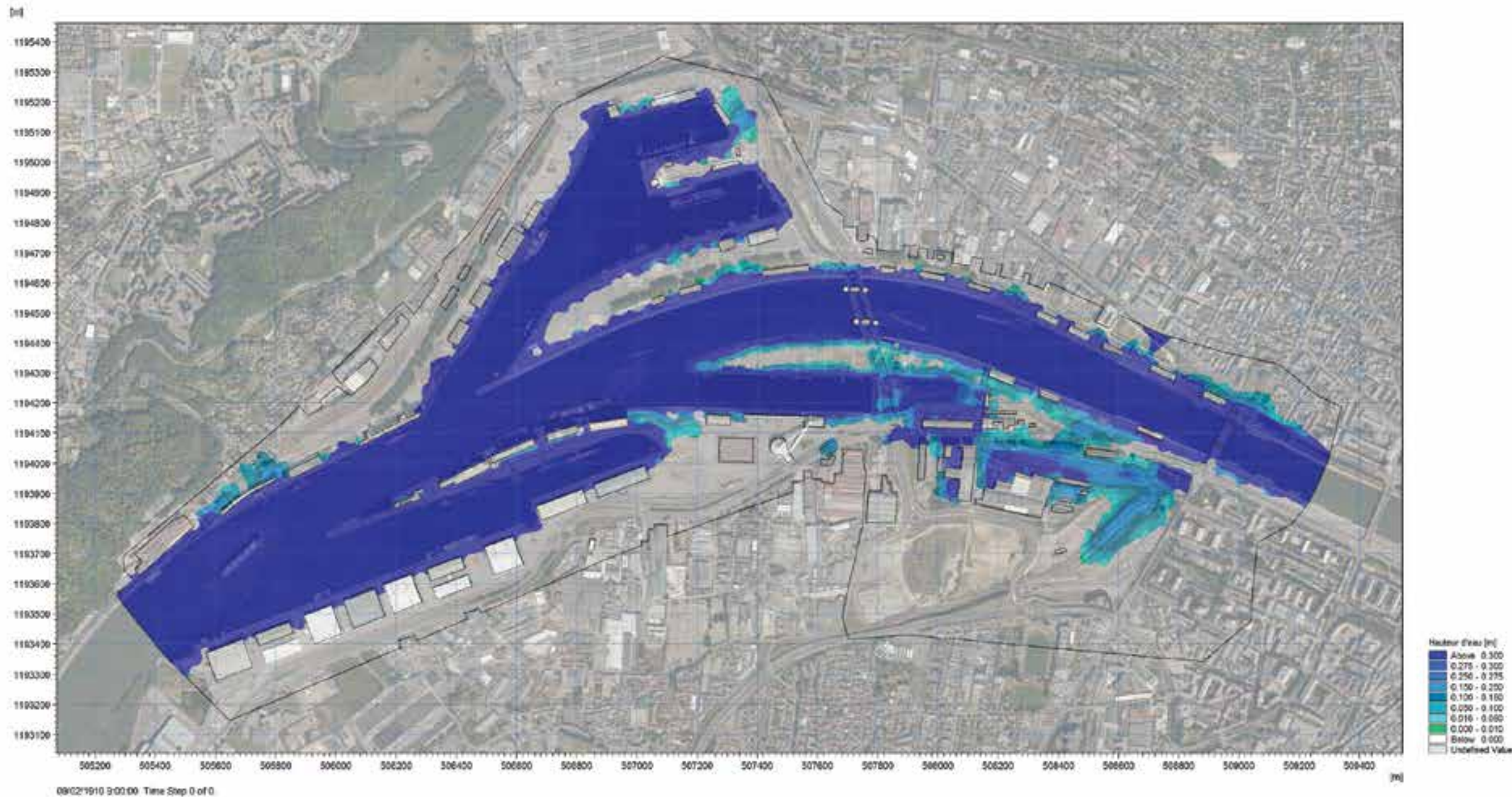
	Modélisation de l'état de référence	Modélisation situation actuelle
Point 1	5.665	5.661
Point 2	5.636	5.639
Point 3	5.613	5.602
Point 4	5.593	5.593

Nous constatons une légère hausse de la ligne d'eau en amont et une baisse en aval du pont Flaubert. Les variations sont dues aux rétractions provoquées par la présence des piles du pont et de la voie d'accès fonctionnelle de la rive gauche. La ligne d'eau retrouve le même niveau qu'en situation de référence plus en aval.

Par conséquent, la présence des aménagements récents (pont Flaubert, la voie d'accès de la rive gauche, la butte de la presqu'île Rollet, ...) n'ont pas d'impact négatif sur le champ d'inondation de la Seine.

**Schéma 33 : Résultats de la modélisation de la situation actuelle – Hauteurs maximales – Crue 1910**

MINISTERE DE L'ÉCOLOGIE, DU Développement Durable et de l'Énergie  
LIAISON SUD III / AUTOROUTE A150 - 6ÈME FRANCHISSEMENT DE LA SEINE A ROUEN - RACCORDEMENT DÉFINITIF AU PONT GUSTAVE FLAUBERT EN RIVE GAUCHE DE LA SEINE  
Etudes hydrologiques, hydrogéologiques et d'assainissement





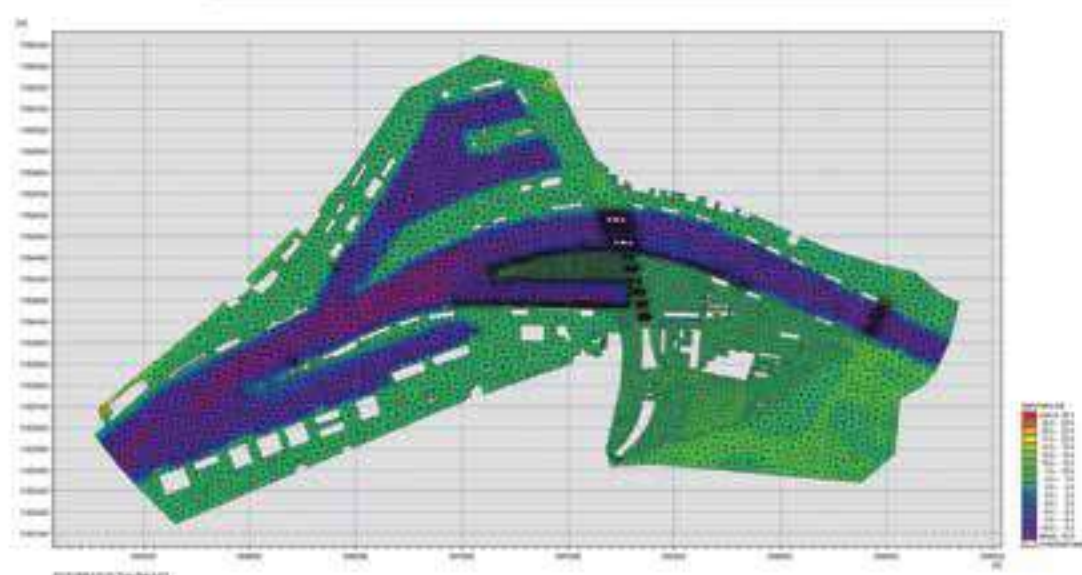
## 5.2 Modélisation de la situation future 1

Le projet définitif de la rive gauche (variante aérienne) a été intégré à la structure du modèle en situation actuelle. Ce projet relie les viaducs d'accès du pont Flaubert à la voie rapide Sud III, en s'y rattachant au niveau de l'échangeur de Stalingrad. Il sera composé de 2 ouvrages d'art et de remblais de forte hauteur. Un premier d'environ 160 m enjambant la future place de Madagascar (entre les rues Malétra et Bourbaki) et un second passant au-dessus de la voie SNCF.



Le maillage et le MNT du modèle en situation future 1 sont présentés sur les schémas suivants.

Schéma 34 : Maillage & MNT du modèle en situation future 1



Les hauteurs d'eau maximales obtenues par la modélisation de la situation future 1 lors d'un événement similaire à celui de 1910 sont récapitulées dans le tableau 11 et illustrés sur le schéma 35.

Tableau 11 : Récapitulatif des résultats (m NGF) des situations « actuelle » et « future 1 »

	Modélisation situation actuelle	Modélisation situation future 1
Point 1	5.661	5.662
Point 2	5.639	5.637
Point 3	5.602	5.603
Point 4	5.593	5.593

Les résultats des modélisations « situation actuelle » et « future 1 » sont quasi identiques. Ces résultats s'expliquent que la future voie d'accès se situe hors de la zone inondable de la Seine.

Nota : La variante souterraine n'a pas fait l'objet d'une modélisation distincte. Les 2 variantes sont en remblais au niveau du raccordement sur la rampe d'accès et selon les modélisations réalisées, les débordements ne dépassent pas la zone de raccordement.

Le schéma suivant illustre la superposition des 2 variantes entre le raccordement et OA Madagascar où les 2 variantes sont en remblais:



Les inondations ne dépassent pas l'emprise du raccordement.



Par conséquent, les résultats de la modélisation de la variante souterraine ne seront pas différents de ceux de la variante aérienne.

Le projet définitif de la rive gauche (variante aérienne ou semi-enterrée) n'a donc pas d'impact sur la ligne d'eau et le champ d'inondation de la Seine

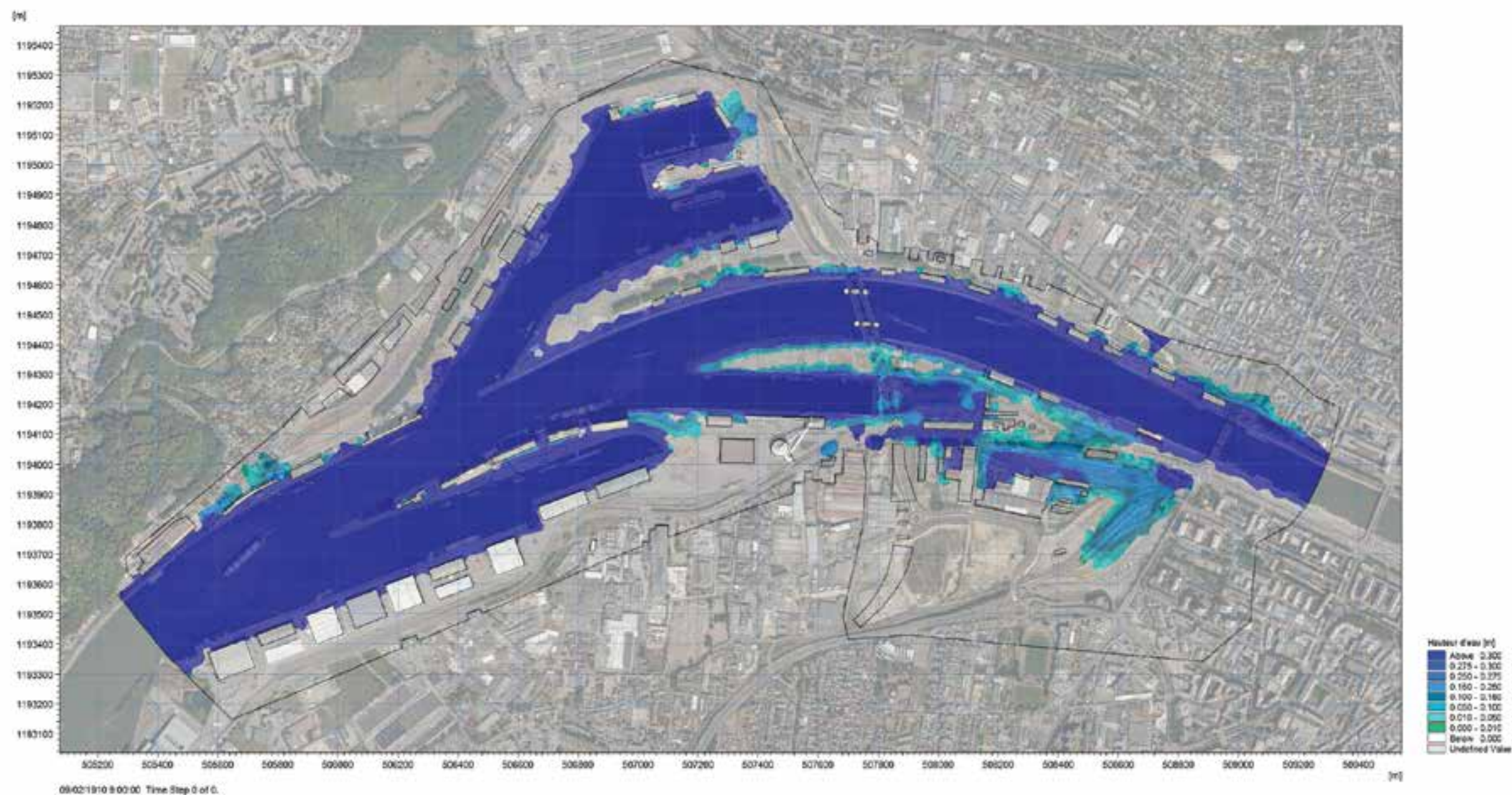
**Schéma 35** : Résultats de la modélisation (m NGF) de la situation « future 1 » – Hauteurs maximales



MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE

LIAISON SUD III / AUTOROUTE A150 - 6ÈME FRANCHISSEMENT DE LA SEINE À ROUEN - RACCORDEMENT DÉFINITIF AU PONT GUSTAVE FLAUBERT EN RIVE GAUCHE DE LA SEINE

Études hydrologiques, hydrogéologiques et d'assainissement





5.3 Modélisation de la situation Future 2

Au niveau de la structure du modèle en situation future 1, une adaptation géométrique a été effectuée afin d'intégrer les aménagements du projet d'éco-quartier Flaubert selon le dernier plan masse fourni (mars 2013) soit :

- Les modifications topographiques, les voiries, les bassins et les bâtiments du projet Eco quartier ;
- Les aménagements du bord de la seine.

Le maillage et le MNT du modèle en situation actuelle sont présentés sur les schémas suivants.

Schéma 36 : Maillage & MNT du modèle en situation future 2



Les hauteurs d'eau maximales obtenues par la modélisation de la situation future 2 lors d'un événement similaire à celui de 1910 sont récapitulées dans le tableau 12 et illustrées sur le schéma 37.

Tableau 12 : Récapitulatif des résultats (m NGF) des situations « actuelle » et « future 2 »

	Modélisation situation actuelle	Modélisation situation future 2
Point 1	5.661	5.667
Point 2	5.639	5.641
Point 3	5.602	5.603
Point 4	5.593	5.590

Les résultats de la modélisation « future 2 » démontrent une légère hausse de la ligne d'eau en amont et au droit du projet d'éco-quartier. La ligne d'eau retrouve quasiment la même cote plus en aval.

Par conséquent, la présence des aménagements récents (pont Flaubert, la voie d'accès de la rive gauche, la butte de la presqu'île Rollet, ...) ainsi que les aménagements du projet de l'Eco-quartier n'ont pas d'impact négatif sur le champ d'inondation de la Seine.

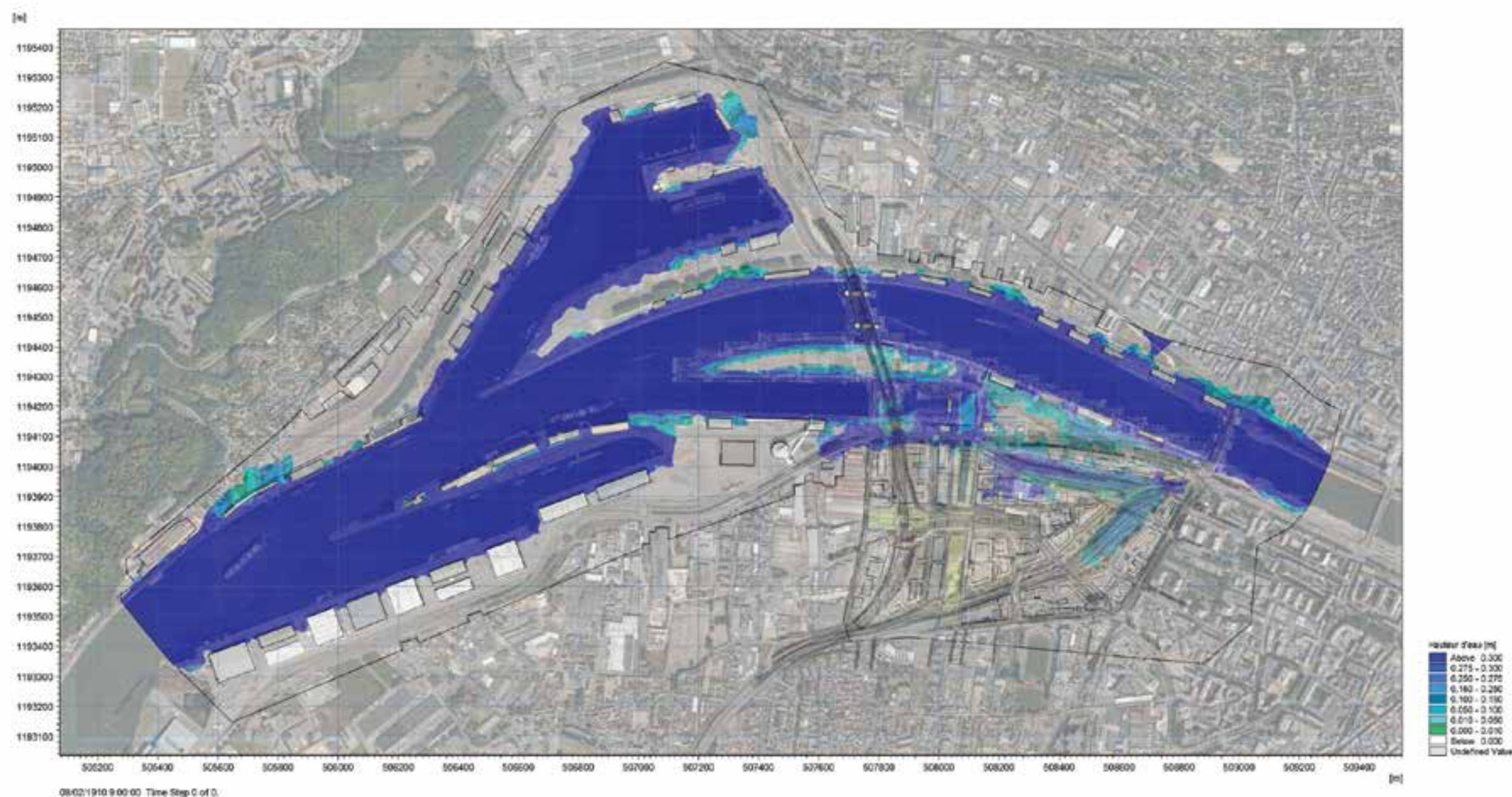
Schéma 37 : Résultats de la modélisation de la situation « future 2 » - Hauteurs maximales



MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE

LIAISON SUD III / AUTOROUTE A150 - 6ÈME FRANCHISSEMENT DE LA SEINE À ROUEN - RACCORDEMENT DÉFINITIF AU PONT GUSTAVE FLAUBERT EN RIVE GAUCHE DE LA SEINE

Études hydrologiques, hydrogéologiques et d'assainissement





5.4 Conclusion

Le présent chapitre correspond à la partie de la modélisation hydraulique de l'événement 1910 prévue dans le cadre de l'étude hydrologique, hydrogéologique et d'assainissement du projet « Liaison Sud III / Autoroute A150 - Gère Franchissement de la Seine à Rouen - raccordement définitif au Pont Gustave Flaubert en rive gauche de la Seine ».

L'objectif de cette partie de l'étude est d'appréhender les impacts réels du projet sur la dynamique de la Seine en cas d'inondation lors d'un événement similaire à celui de 1910. Dans l'affirmatif, des mesures compensatoires devront être proposées afin de rendre le projet transparent en termes d'inondabilité.

Dans cet objectif, Ingetec a mis en œuvre les quatre modélisations hydrauliques suivantes :

- De référence, permettant d'établir le calage du modèle ;
- Actuel (y compris l'ensemble des aménagements de la Presqu'île Rollet) ;
- Futur n°1 : Situation aménagée du site en intégrant la variante aérienne (ou la variante semi-enterrée) des voies d'accès au pont Flaubert en rive gauche ;
- Futur n°2 : Situation aménagée du site en intégrant les voies d'accès au pont Flaubert en rive gauche et tous les aménagements de l'éco-quartier Flaubert.

La crue de projet retenue est la crue similaire à l'événement de 1910.

L'hydrogramme de la crue de 1910 pour la Seine, est établi à partir des cotes maximales atteintes de la Seine à Rouen tout au long de cet événement et a été utilisé comme étant la condition à la limite amont du modèle.

La condition aval du modèle est ensuite réalisée par translation pour arriver à un pic de 5.58 m NGF respectant le seuil de référence du PPRI à ce niveau.

La structure du modèle en situation de référence et en situation actuelle a été conçue à partir des données bathymétriques de la Seine et Lidar en lit majeur ainsi que les plans du pont Flaubert et ces voies d'accès.

La construction de la structure des modèles en situation future est basée sur des adaptations géométriques effectuées sur le modèle en situation actuelle, afin d'y intégrer les aménagements projetés issus des derniers plans disponibles

Les hauteurs d'eau maximales obtenues par la modélisation des différentes situations lors d'un événement similaire à celui de 1910 sont récapitulées dans le tableau 13.



Tableau 13 : Récapitulatif des résultats des modélisations (m NGF)

	Modélisation de l'état de référence	Modélisation situation actuelle	Modélisation situation future 1	Modélisation situation future 2
Point 1	5.665	5.661	5.662	5.667
Point 2	5.636	5.639	5.637	5.641
Point 3	5.613	5.602	5.603	5.603
Point 4	5.593	5.593	5.593	5.590

Les résultats des modélisations réalisées démontrent les principales conclusions suivantes :

- Le pont Flaubert provoque une légère hausse de la ligne d'eau en amont (point 2) et une baisse en aval (point 3), la ligne d'eau retrouve sa cote de la situation de référence plus en aval, au niveau du point 4 ;
- Le projet définitif de la rive gauche (variante aérienne ou semi-enterrée) n'a pas d'impact sur la ligne d'eau et le champ d'inondation de la Seine ;
- Les aménagements de l'Eco-quartier Flaubert provoquent un léger rehaussement en amont (point 1) et au droit du projet (point 2), la ligne d'eau retrouve sa cote de la situation actuelle plus en aval, au niveau des points 3 et 4. Par conséquent, ce projet n'a pas d'impact négatif sur la ligne d'eau et le champ d'inondation de la Seine.



## 6

# **Modélisation de la crue de sécurité Prise en compte du changement climatique**

L'objectif de ce chapitre est la prise en compte de l'élévation du niveau de la mer en vue de l'estimation des impacts du changement climatique et des mesures d'adaptation possibles.

Le choix du Maître d'Ouvrage concernant la crue de sécurité pour évaluer l'impact du projet du raccordement définitif au sixième pont, dans des conditions exceptionnelles, correspond à la crue de janvier 1910 accompagnée d'une surcote de 1 m (hypothèse extrême) des niveaux marins moyens au Havre. Il est à noter que cette hypothèse a également été retenue dans le cadre de l'étude de la liaison A28-A13 pour le compte de la DREAL Haute-Normandie.

La surcote du niveau moyen de la mer en Manche liée au changement climatique de 1 m (hypothèse extrême) a été propagée dans l'estuaire jusqu'à Rouen au moyen d'une simulation réalisée avec un modèle bidimensionnel (modèle de la Manche et de l'estuaire de la Seine jusqu'à la Pose) par le BET ARTELIA. Le résultat de cette simulation a démontré que la surcote de 1 m en Manche se propage vers l'intérieur de l'estuaire et se répercute à Rouen par une surcote des niveaux de la Seine de 70 cm.

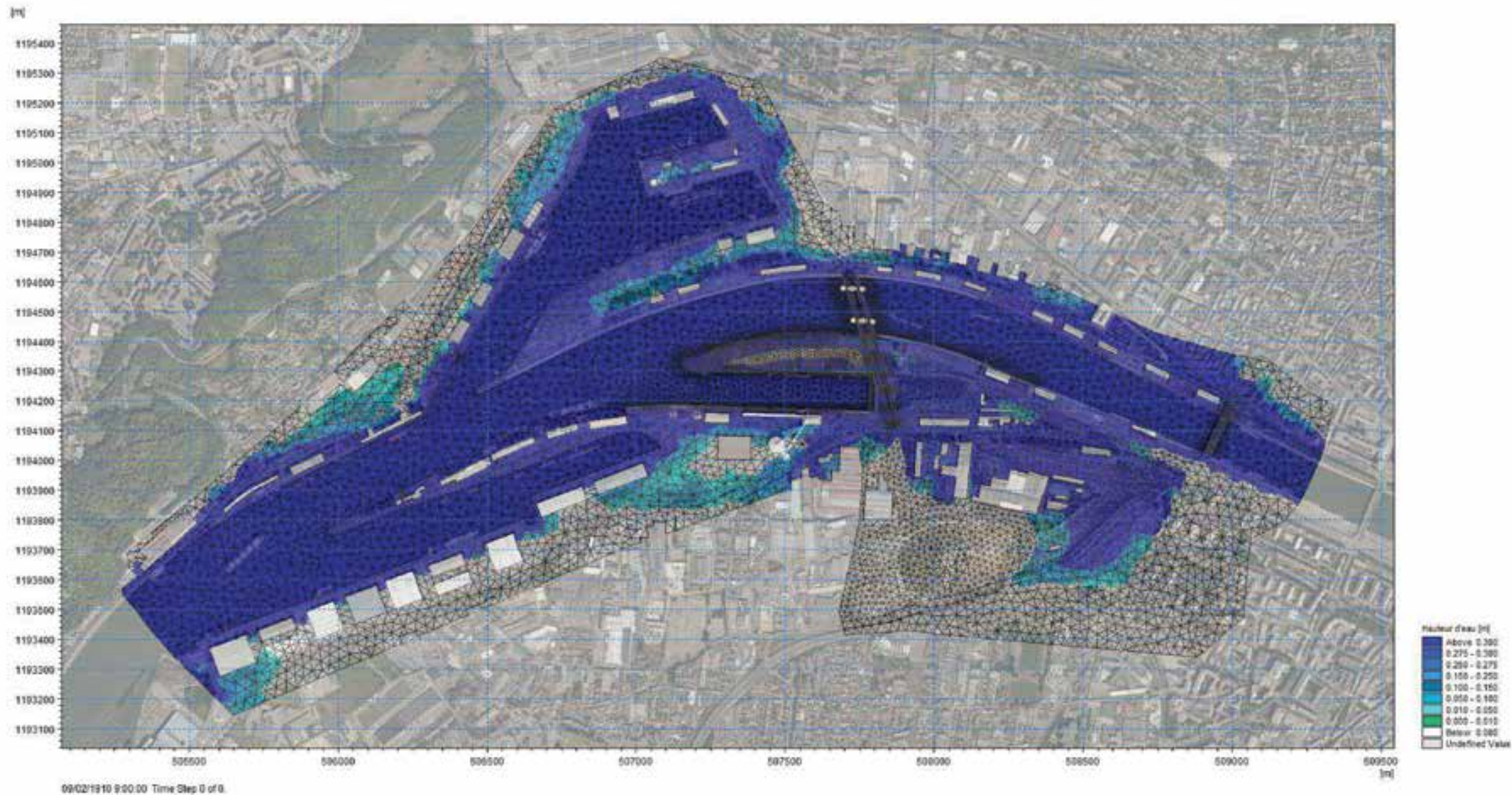
Nous avons donc repris les 3 modèles hydrauliques en modifiant leurs conditions aux limites. Les hydrogrammes amont & aval ont été rehaussés de 70 cm.

Les schémas suivants présentent les résultats des trois scénarii modélisés lors de la crue de sécurité retenue.



MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU Développement Durable et de l'Énergie  
LIAISON SUD III / AUTOROUTE A150 - 6ÈME FRANCHISSEMENT DE LA SEINE À ROUEN - RACCORDEMENT DÉFINITIF AU PONT GUSTAVE FLAUBERT EN RIVE GAUCHE DE LA SEINE  
Etudes hydrologiques, hydrogéologiques et d'assainissement

Schéma 38 : Résultats de la modélisation de la situation actuelle et lors de la crue sécurité retenue- Hauteurs maximales





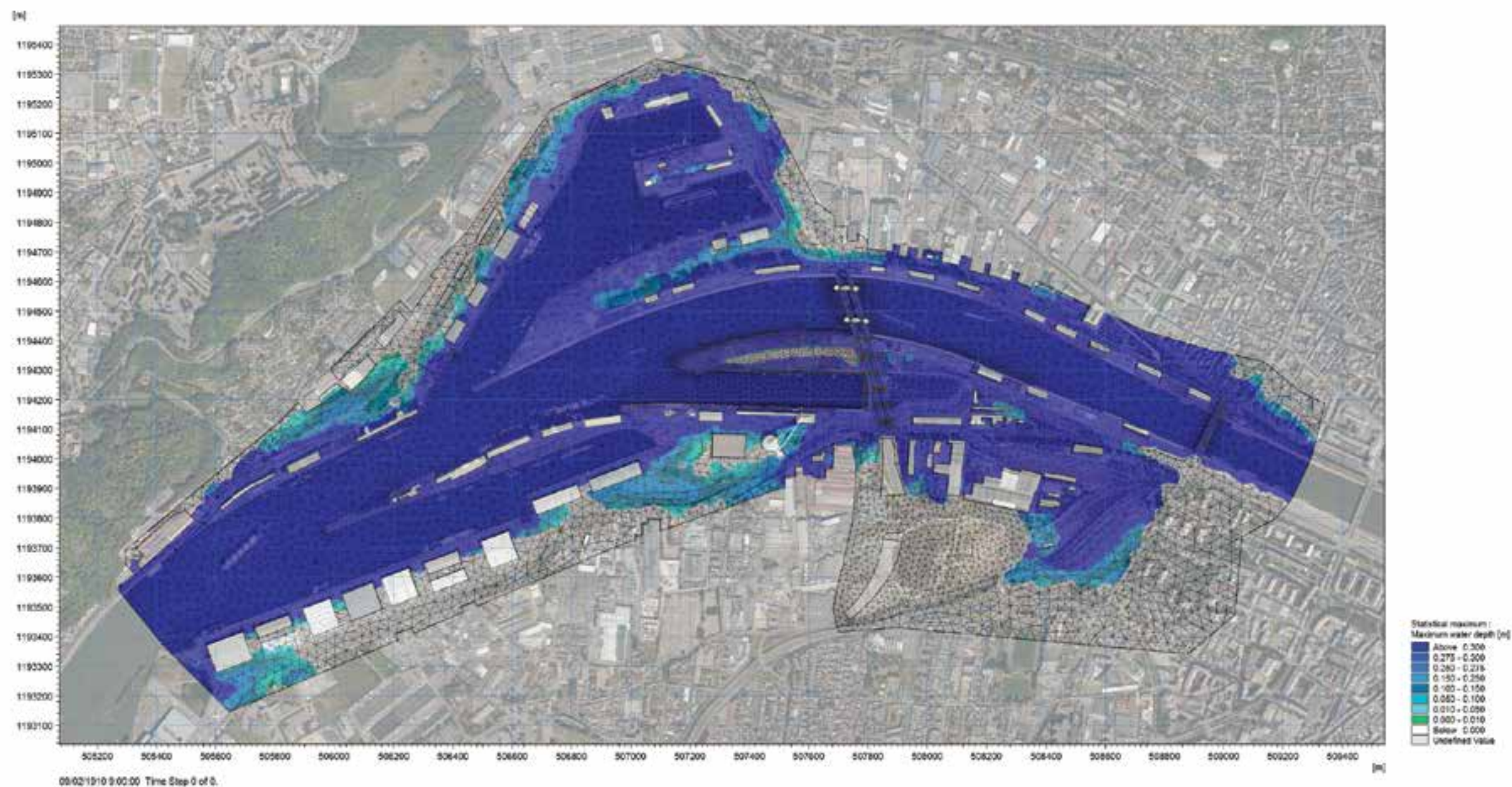
MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU Développement Durable et de l'Énergie



LIAISON SUD III / AUTOROUTE A150 - 6ÈME FRANCHISSEMENT DE LA SEINE À ROUEN - RACCORDEMENT DÉFINITIF AU PONT GUSTAVE FLAUBERT EN RIVE GAUCHE DE LA SEINE

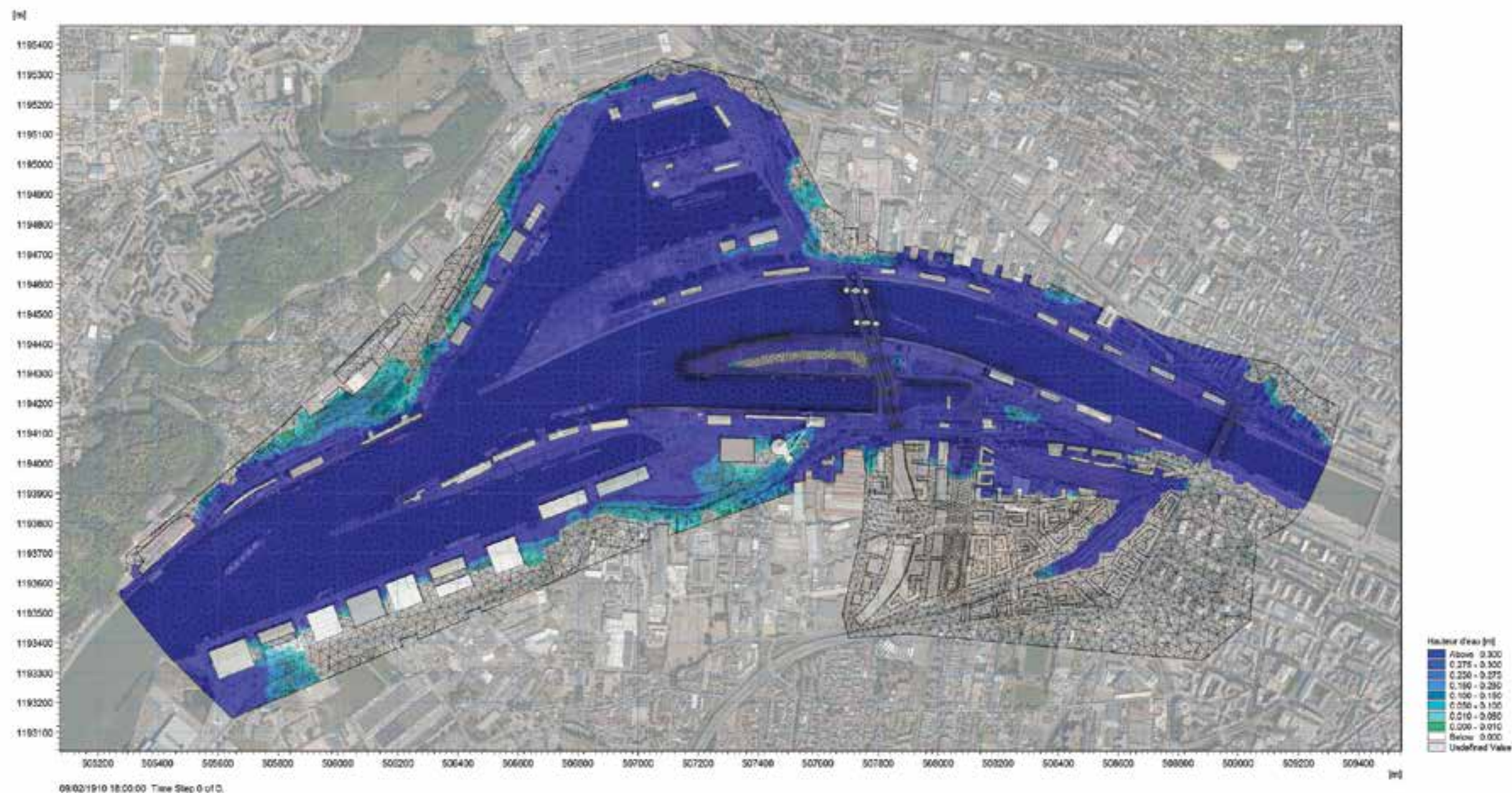
Études hydrologiques, hydrogéologiques et d'assainissement

**Schéma 39 : Résultats de la modélisation de la situation future 1 et lors de la crue sécurité retenue—  
Hauteurs maximales**





**Schéma 40 : Résultats de la modélisation de la situation future 2 et lors de la crue sécurité retenue – Hauteurs maximales**





MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE

LIAISON SUD III / AUTODROUTE A150 - 60VIE FRANCHISSEMENT DE LA SEINE A ROUEN - RACCORDEMENT DÉFINITIF AU PONT GUILLAUME FLAUBERT EN RIVE GAUCHE DE LA SEINE

Études hydrologiques, hydrogéologiques et d'assainissement

Les hauteurs d'eau maximales obtenues par la modélisation des différentes situations lors de la crue sécurité sont récapitulées dans le tableau 14.

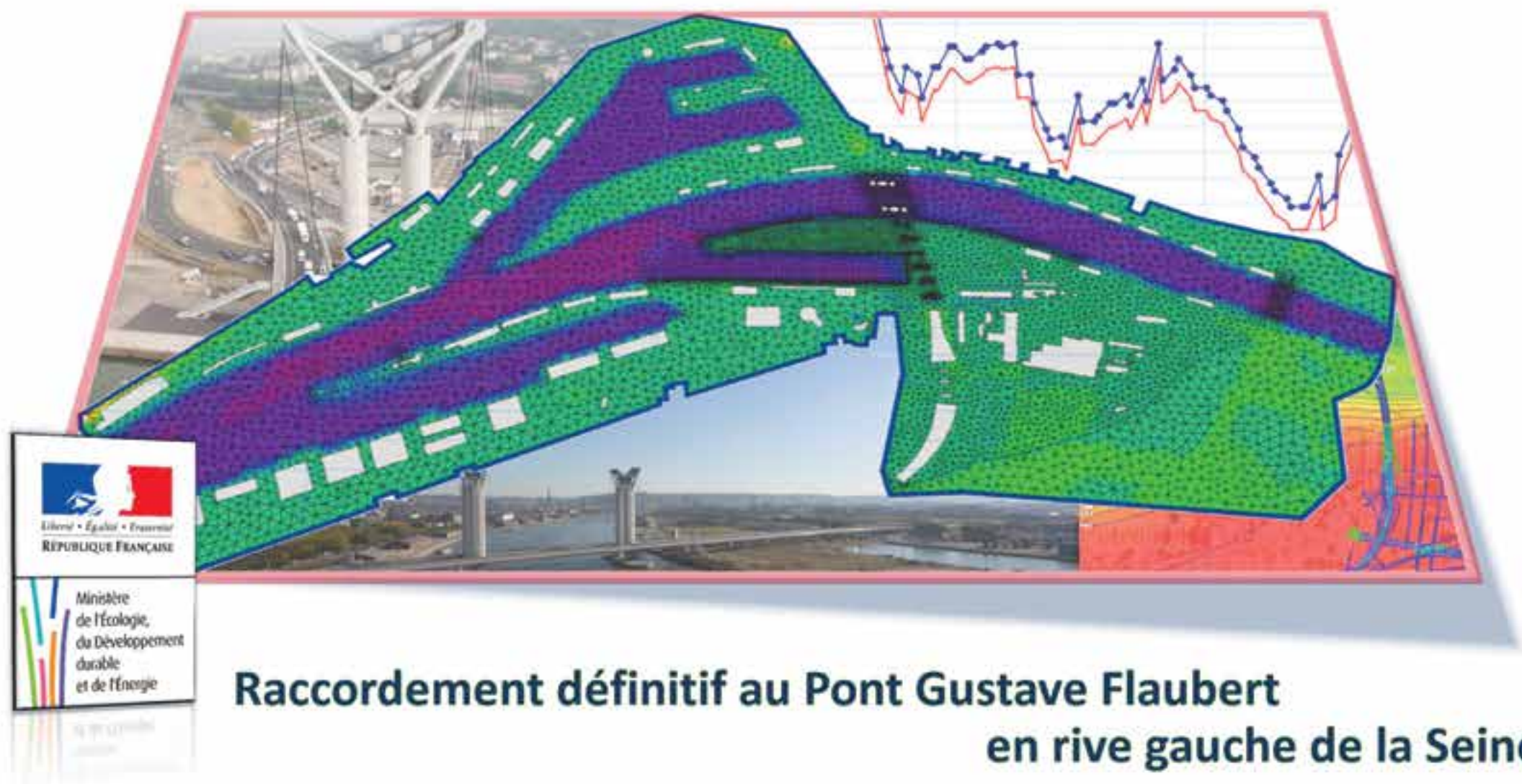
**Tableau 14 : Récapitulatif des résultats des modélisations (m NGF) – Crue de sécurité**

	Modélisation situation actuelle	Modélisation situation future 1	Modélisation situation future 2
Point 1	6.361	6.360	6.361
Point 2	6.340	6.341	6.352
Point 3	6.309	6.315	6.316
Point 4	6.292	6.291	6.292

Les résultats des modélisations réalisées démontrent les principales conclusions suivantes :

- Le projet définitif de la rive gauche (variante aérienne ou semi-enterrée) n'a quasiment pas d'impact sur la ligne d'eau et le champ d'inondation de la Seine ;
- Les aménagements de l'Eco-quartier Flaubert provoquent un léger rehaussement au droit du projet, la ligne d'eau retrouve sa cote de la situation actuelle plus en aval ;
- L'emprise des zones inondables résultante de la modélisation de la situation actuelle et de la situation aménagée du site en intégrant des voies d'accès au pont Flaubert en rive gauche (variante aérienne ou souterraine) est assez similaire ;
- L'emprise des zones inondables résultante de la modélisation de la situation aménagée du site en intégrant des voies d'accès au pont Flaubert en rive gauche et tous les aménagements de l'éco-quartier Flaubert montrent certaines modifications au niveau du projet l'éco-quartier. Toutefois, ces modifications sont composées par les mesures correctrices prises en compte dans le cadre de ce projet étant donné que la ligne d'eau retrouve sa cote de la situation actuelle plus en aval.

## LIAISON SUD III / AUTOROUTE A150 6<sup>EME</sup> FRANCHISSEMENT DE LA SEINE A ROUEN



**RAPPORT DE SYNTHÈSE DES ÉTUDES HYDRAULIQUES ET HYDROGÉOLOGIQUES**



## Maître d'Ouvrage



MINISTRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE

## Document établi par :



INGETEC  
Agence de Rouen  
53, quai du Havre  
B.P. 1052  
76172 ROUEN cedex



## Référence, auteur et archivage du document

Référence

Auteur(s)

Archivage

Nazila JAVANSHIR - Responsable du Pôle Hydraulique / Rivière; Jerome MUESSER - Gérant IDUNA Environnement  
G:\OPER8900\8970\3\Documents\8970-3-Rapport synthèse paysage(ingetec&iduna).docx

## Contrôle interne et suivi des modifications

Contrôle	Date :	Par :	Visa :
Auto-contrôlé	13/04/15	Nazila JAVANSHIR – Responsable du Pôle Hydraulique / Rivière	
Vérifié et présenté	13/04/15	Pauline SCHWALLER – Ingénieur Hydraulicien	
Approuvé	13/04/15	Nazila JAVANSHIR – Responsable du Pôle Hydraulique / Rivière Jerome MUESSER - Gérant IDUNA Environnement	

Version	Date	Nature des modifications
A	13/04/15	

## Sommaire

<b>SOMMAIRE .....</b>	<b>3</b>
<b>TABLE DES ILLUSTRATIONS .....</b>	<b>4</b>
<b>1 CONTEXTE &amp; OBJECTIFS.....</b>	<b>6</b>
<b>2 DESCRIPTION DU PROJET.....</b>	<b>7</b>
2.1 LOCALISATION DU PROJET.....	7
2.2 DESCRIPTION DU PROJET .....	8
2.2.1 RIVE GAUCHE.....	8
2.2.2 RIVE DROITE.....	9
<b>3 MODELISATION HYDRAULIQUE .....</b>	<b>10</b>
3.1 OBJECTIFS .....	10
3.2 ARCHITECTURE DES MODELES.....	10
3.3 CONDITIONS AUX LIMITES : CRUE DE PROJET & CRUE SECURITE.....	12
3.4 CALAGE.....	13
3.5 RESULTATS DE LA MODELISATION DES DIFFERENTS SCENARIIS LORS DE LA CRUE DE PROJET (CRUE 1910).....	13
3.5.1 SYNTHESE DES RESULTATS DES MODELISATIONS DE LA CRUE DE PROJET .....	18
3.6 RESULTATS DE LA MODELISATION DES DIFFERENTS SCENARIIS LORS DE LA CRUE DE SECURITE .....	18
3.6.1 SYNTHESE DES RESULTATS DES MODELISATIONS DES DIFFERENTS SCENARIIS LORS DE LA CRUE DE SECURITE .....	22
3.7 CONCLUSION DE LA MODELISATION HYDRAULIQUE.....	22
<b>4 MODELISATION HYDROGEOLOGIQUE .....</b>	<b>23</b>
4.1 OBJECTIFS.....	23
4.2 ARCHITECTURE DES MODELES .....	23
4.2.1 GEOLOGIE DES MODELES .....	24
4.2.2 NIVEAUX D'EAU DE REFERENCE.....	24
4.3 CONDITIONS AUX LIMITES .....	26
4.4 CALAGE .....	27
4.5 MODELISATION DES ETATS IMPACTES.....	29
4.5.1 INTEGRATION DES PROJETS DE VOIES D'ACCES .....	29
4.5.2 MAREE UTILISEE .....	30
4.5.3 RESULTATS DE LA MODELISATION IMPACTEE DE RIVE DROITE.....	31
4.5.4 RESULTATS DE LA MODELISATION IMPACTEE DE RIVE GAUCHE .....	34
4.6 CONCLUSION DE LA MODELISATION HYDROGEOLOGIQUE .....	36



## Table des illustrations

### Liste des plans

Plan 1	: Localisation du projet (Fond de plan IGN)	7
--------	---	---

### Liste des graphiques

Graphique 1	: Limnigrammes amont & aval du modèle pour la crue de projet - Déroulement de l'événement 1910 sur le bassin versant de la Seine	12
Graphique 2	: Modèle géologique simplifié issu des données bibliographiques et intégré aux modèles hydrogéologiques de rive droite et de rive gauche	24
Graphique 3	: Localisation des points de suivi synchrone des niveaux de la Seine et de la nappe alluviale	24
Graphique 4	: Suivi des niveaux de la Seine, ayant servi au choix d'une marée type intégrée aux modèles hydrogéologiques de rive droite et de rive gauche	25
Graphique 5	: Suivi des niveaux de la nappe alluviale, ayant servi de référence aux modèles hydrogéologiques de rive droite et de rive gauche	26
Graphique 6	: Simulation de référence - Calage des niveaux de la nappe alluviale de rive droite et comparaison avec les cartes bibliographiques	27
Graphique 7	: Simulation de référence - Calage des niveaux de la nappe alluviale de rive gauche et comparaison avec les cartes bibliographiques	28
Graphique 8	: Vues des modèles intégrant la charge des voies d'accès – rive droite	29
Graphique 9	: Vues des modèles intégrant la charge des voies d'accès – rive gauche	29
Graphique 10	: Marée modélisée et onde de marée correspondant aux piézométries impactées représentées	30
Graphique 11	: Simulation impactée de rive droite - Piézométries calculées à marée basse (h1)	31
Graphique 12	: Simulation impactée de rive droite - Piézométries calculées 2 heures après la marée basse (h3)	31
Graphique 13	: Simulation impactée de rive droite - Piézométries calculées à marée haute (h5)	32
Graphique 14	: Simulation impactée de rive droite - Piézométries calculées 3 heures après la marée haute (h9)	32
Graphique 15	: Simulation impactée de rive droite - Piézométries calculées 1 heure avant la marée basse (h13)	33
Graphique 16	: Simulation impactée de rive gauche - Piézométries calculées à marée basse (h1)	34



Graphique 17	: Simulation impactée de rive gauche - Piézométries calculées 2 heures après la marée basse (h3)	34
Graphique 18	: Simulation impactée de rive gauche - Piézométries calculées à marée haute (h5)	35
Graphique 19	: Simulation impactée de rive gauche - Piézométries calculées 3 heures après la marée haute (h9)	35
Graphique 20	: Simulation impactée de rive gauche - Piézométries calculées 1 heure avant la marée basse (h13)	36

Liste des schémas

Schéma 1	: Variante Aérienne	8
Schéma 2	: Variante en tranchée ouverte ou semi-enterrée	8
Schéma 3	: Projet fonctionnel en rive droite	9
Schéma 4	: Maillage & MNT de l'état : Référence, Actuel, Futur 1 et Futur 2	11
Schéma 5	: Résultats de la modélisation de la situation actuelle – Hauteurs maximales – Crue 1910	14
Schéma 6	: Résultats de la modélisation (m NGF) de la situation « future 1 » – Hauteurs maximales– Crue 1910	15
Schéma 7	: Résultats de la modélisation de la situation « future 2 » – Hauteurs maximales– Crue 1910	16
Schéma 8	: Localisation des seuils de référence du PPRI Seine aval	17
Schéma 9	: Résultats de la modélisation de la situation actuelle et lors de la crue sécurité retenue– Hauteurs maximales	19
Schéma 10	: Résultats de la modélisation de la situation future 1 et lors de la crue sécurité retenue– Hauteurs maximales	20
Schéma 11	: Résultats de la modélisation de la situation future 2 et lors de la crue sécurité retenue - Hauteurs maximales	21

Liste des tableaux

Tableau 1	: Récapitulatif des résultats des modélisations H max (m NGF)	17
Tableau 2	: Récapitulatif des résultats des modélisations H max (m NGF) – Crue de sécurité	22



# 1

## Contexte & Objectifs

L'opération « voiries définitives du 6<sup>ème</sup> pont » consiste à raccorder définitivement le pont Flaubert aux 2 rives de la Seine.

Cette opération fait partie du programme de liaison entre les autoroutes A150 et A13, lui-même inscrit au PAU et en projet du SCOT de la Métropole Rouen Normandie.

Le projet comprend tous les ouvrages nécessaires pour relier le Pont Flaubert :

- à la Sud III au niveau de la commune de Petit-Quevilly (rive gauche de la Seine) ;
- à l'A150 au niveau du viaduc des barrières du Havre (rive droite de la Seine).

Il comprend également tous les échanges, qui se feront par des carrefours dénivelés, entre la voie rapide à 2x2 voies créée et la voirie urbaine actuelle et projetée (Eco-Quartier Flaubert)

La liaison Sud III / A150 a pour objectifs :

- l'amélioration l'écoulement du trafic nord-sud et le franchissement de la Seine sans passage par le centre-ville de Rouen, assurant la continuité des autoroutes A13 au sud et A150 au nord ;
- la desserte du Port Autonome de Rouen et des zones industrielles attenantes ;
- l'amélioration les conditions de circulation dans l'ouest de l'agglomération et la desserte des zones urbanisées ;
- l'accompagnement les mutations des quartiers situés au pied du pont Flaubert, en rive droite et en rive gauche.

La présente étude a pour objectif, la réalisation des études hydrologiques et hydrogéologiques et d'un diagnostic hydraulique de la situation fonctionnelle nécessaires aux sous-dossiers 1,2 et 3 du dossier d'APS Modificatif des voiries définitives du pont Flaubert (concernant le projet routier définitif en rive gauche).

Les éléments recherchés sont :

- 1) D'appréhender les impacts réels du projet sur la dynamique de la Seine en cas d'inondation. En cas d'incidences négatives significatives, des mesures compensatoires devront être proposées afin de rendre le projet transparent en termes d'inondabilité. La mesure correctrice correspond à « proposer » et à dimensionner des ouvertures (ouvrages d'art) au niveau des remblais de la voie d'accès Rive Gauche ;
- 2) Définir les impacts (quantitatif + qualitatif) du projet (des voies d'accès + ouvrages pluviaux) sur les écoulements souterrains.

## 2

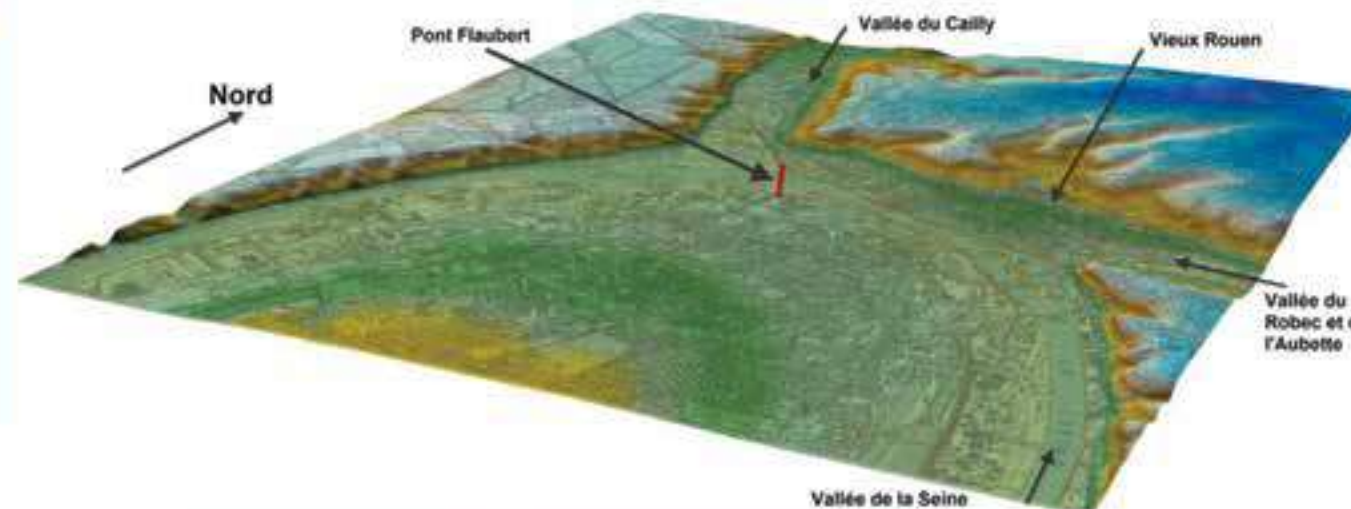
## Description du projet

### 2.1 Localisation du projet

Le projet du raccordement au pont Flaubert est situé sur le territoire communal de Rouen, en Seine Maritime.

Située à égale distance de Paris et du littoral de la Manche, l'agglomération rouennaise est un pôle démographique et d'activités majeures du Bassin parisien et de l'Ouest de la France. Le site de Rouen est inscrit dans un des méandres de la Seine, sur une plaine alluviale étroite, au Sud du département de la Seine-Maritime.

Plan 1 : Localisation du projet (Fond de plan IGN)



Vue vers le site depuis la rive droite en direction des coteaux crayeux de la vallée de la Seine à Canteleu



Vue vers le site depuis les hauteurs des coteaux crayeux de la vallée de la Seine à Canteleu

Au cœur de l'agglomération rouennaise, en bordure de la Seine, le site se trouve sur un secteur à forts enjeux de développement pour l'Ouest de la zone urbaine de Rouen. Ce secteur en pleine mutation accueille déjà la Salle des Musiques Actuelles (SMAC) et, en rive droite, le centre commercial des Docks 76 et récemment le Palais des Sports de Rouen.



## 2.2 Description du projet

Le linéaire du projet est séparé en deux tronçons, sur la rive gauche et la rive droite de la Seine, sur lesquels plusieurs variantes routières sont étudiées.

### 2.2.1 Rive gauche

En rive gauche, les configurations à étudier sont les deux variantes qui relient les viaducs d'accès au Pont Flaubert à la voie rapide Sud III, en s'y rattachant au niveau de l'échangeur de Stalingrad :

- le **projet aérien**, composé de deux ouvrages d'art et de remblais de forte hauteur : un premier d'environ 160 m enjambant la future place de Madagascar (entre les rues Malétra et Bourbaki), et un second passant au-dessus de la voie SNCF (Cf. Schéma 1)
- la **variante en tranchée ouverte ou semi-enterrée**, caractérisée par un tracé en déblais et un passage sous les voies SNCF longeant Sud III (Cf. Schéma 2).

Schéma 1 : Variante Aérienne

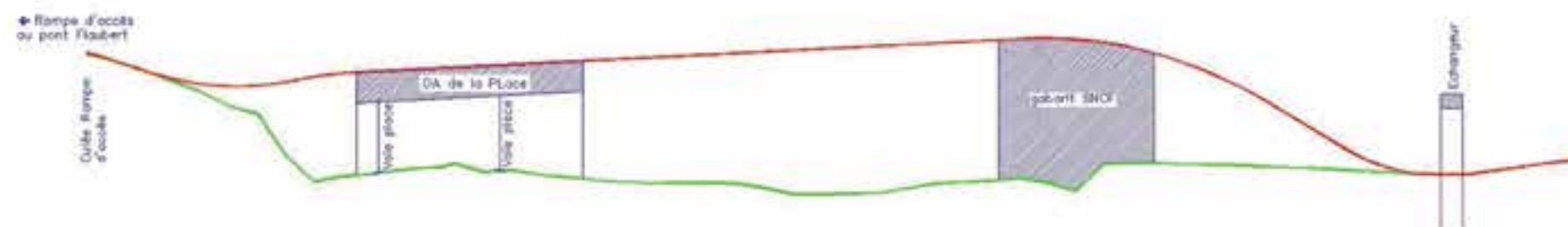


Schéma 2 : Variante en tranchée ouverte ou semi-enterrée



### 2.2.2 Rive Droite

En rive droite de la Seine, la présente étude porte sur les impacts des voiries actuelles (« projet fonctionnel » en service depuis septembre 2008) sur l'hydrogéologie et l'hydrologie.

Schéma 3 : Projet fonctionnel en rive droite





## 3

## Modélisation hydraulique

## 3.1 Objectifs

L'objectif de cette étape est d'appréhender les impacts réels du projet sur la dynamique de la Seine en cas d'inondation. En cas d'incidences négatives significatives, des mesures compensatoires devront être proposées afin de rendre le projet transparent en termes d'inondabilité.

Afin d'atteindre cet objectif, ingetec a mis en œuvre une modélisation hydraulique de la Seine intégrant l'ensemble de la zone d'étude par une modélisation bidimensionnelle (logiciel MIKE 21 FM, avec un maillage flexible développé par DHI).

Cette modélisation réunit plusieurs parties :

- Les données d'entrée qui ont permis de développer la structure du modèle hydraulique bidimensionnel, utilisé en régime transitoire, capable de décrire l'état actuel et les situations futures du secteur d'étude ;
- Le déroulement hydrologique de l'événement de 1910, permettant de décrire les conditions aux limites du modèle ;
- La prise en compte d'une crue de sécurité ;
- La simulation d'une crue similaire à l'événement de 1910 à l'état :
  - ↳ De référence, permettant d'établir le calage du modèle ;
  - ↳ Actuel ;
  - ↳ Futur n°1 : Situation aménagée du site en intégrant la variante aérienne des voies d'accès au pont Flaubert en rive gauche ;
  - ↳ Futur n°2 : Situation aménagée du site en intégrant la variante aérienne des voies d'accès au pont Flaubert en rive gauche et tous les aménagements de l'éco-quartier Flaubert.

## 3.2 Architecture des modèles

Le principe de la modélisation appliquée sur le secteur d'étude repose sur le découpage géographique de la vallée inondable d'une surface d'environ 5 km<sup>2</sup> et sur un linéaire de 4.4 km (partant du pont Jeanne d'Arc localisé à 1.8 km en amont du pont Flaubert).

Le secteur modélisé englobe largement l'aléa l'inondation défini par le PPRI de la Seine aval.

- Les levés topographiques utilisés pour construire les modèles sont les suivants :
  - Les données bathymétriques de la Seine ;
  - Les données lidar en lit majeur ;
  - Les données issues de levés terrestres sur le secteur de l'ECO-Quartier réalisées dans le cadre du projet d'éco-quartier ;
  - Les plans de projet des voiries d'accès reliant le pont Flaubert à la Sud III en rive gauche de la Seine pour 2 variantes : « aérienne » et « semi-enterrée » ;
  - Les plans du pont Flaubert, les voies d'accès RD (projet fonctionnel) et RG ;
  - Le plan masse du projet de l'éco-quartier Flaubert (2013).

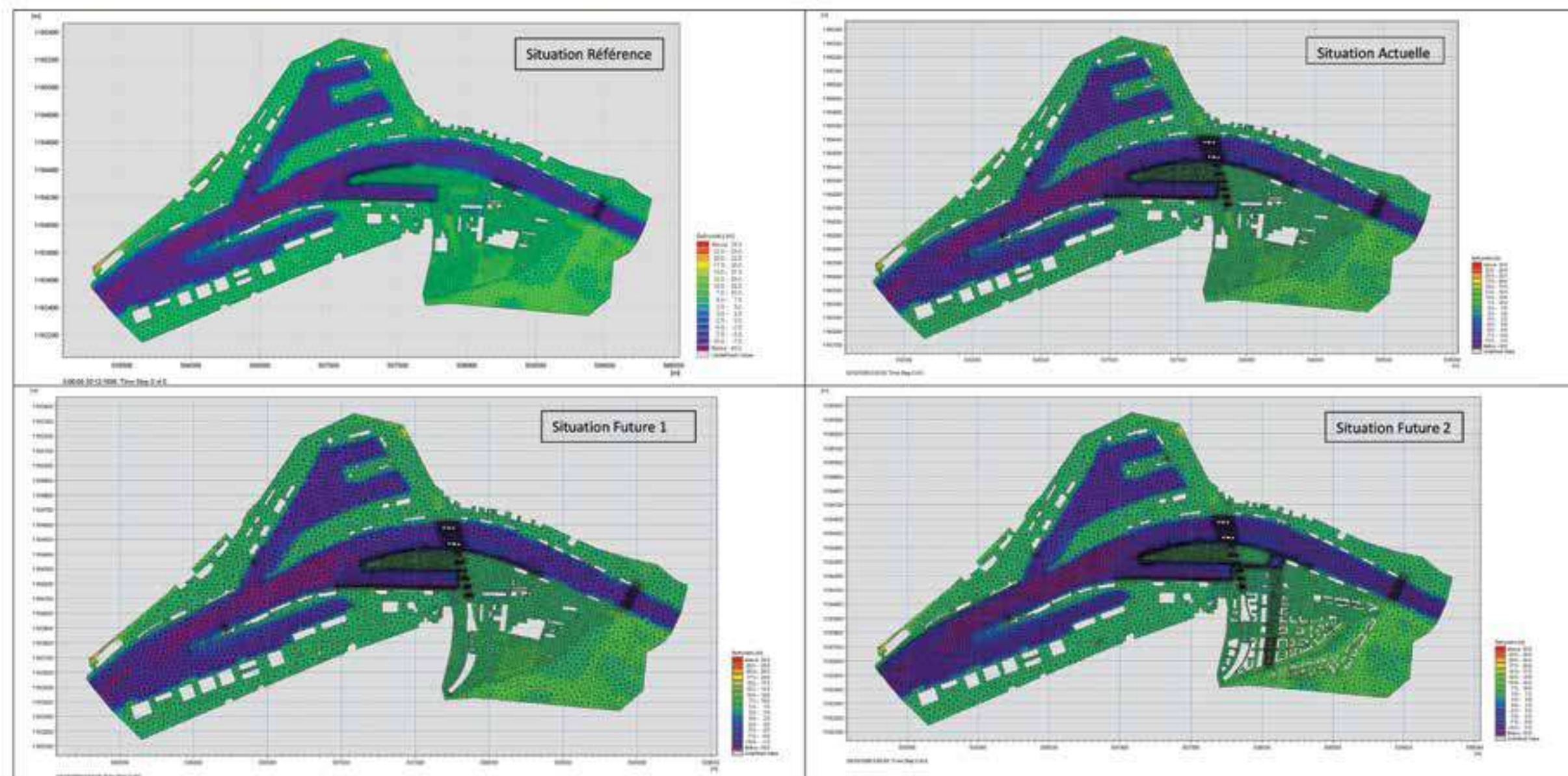
Sur la base des données topographiques et des caractéristiques physiques du secteur, un maillage a été généré sur le site. Le modèle mis en œuvre est un modèle 2D à mailles flexibles sur l'ensemble du secteur à modéliser.

La taille moyenne des mailles sur le modèle est répartie comme suit :

- Lit mineur de la Seine : 800 m<sup>2</sup>
- Lit majeur : 350 m<sup>2</sup>

Les bâtiments existants ont été exclus du maillage. Un MNT a ensuite été généré en réalisant une interpolation des données topographiques sur le maillage. Au niveau de la structure du modèle en situation de référence, des adaptations géométriques ont été effectuées afin de matérialiser le contexte topographique et les aménagements des 3 autres scénarii modélisés.

Schéma 4 : Maillage & MNT de l'état : Référence, Actuel, Futur 1 et Futur 2







### 3.3 Conditions aux limites : Crue de projet & Crue sécurité

Les conditions aux limites permettent de fermer mathématiquement le système et donc rendent possible sa résolution. Les conditions aux limites ont été entrées dans le modèle bidimensionnel (MIKE21) et concernent une condition amont et une condition aval.

#### 3.3.1.1 Crue de projet

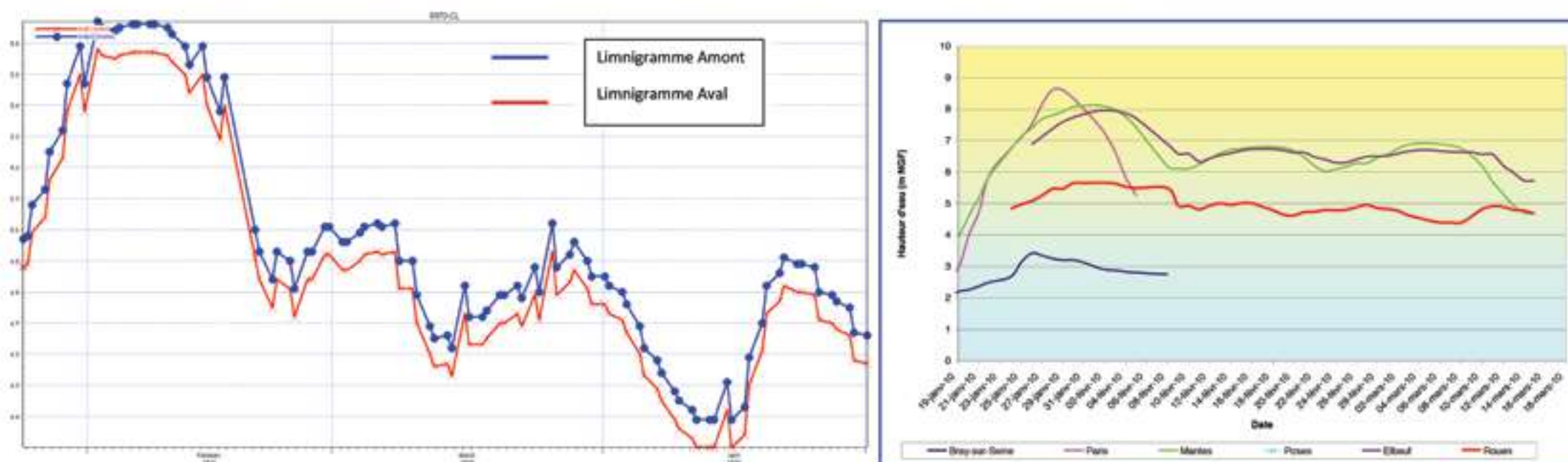
Le projet s'inscrit dans le Plan de Prévention des Risques Inondation Vallée de Seine – Boucle de Rouen et se situe donc dans le champ d'expansion des crues de la Seine pour un événement correspondant à la crue de 1910 (crue de référence). Ceci justifie le choix de la crue de projet « la crue similaire à l'événement de 1910 ».

Le débit de la Seine pour l'événement 1910 est estimé de 2600 à 2900 m<sup>3</sup>/s sans connaître précisément son hydrogramme associé. En revanche, les cotes des plus hautes eaux sont connues tout au long de la crue 1910 et nous permettent la mise en œuvre du limnigramme de cet événement.

Le limnigramme de la crue de 1910 est établi à partir des cotes maximales atteintes par la Seine à Rouen tout au long de cet événement (Cf. graphique 1). Ce limnigramme représente la condition amont du modèle, son pic de 5.67 m NGF est conforme au seuil de référence du PPRI à cet emplacement. La condition aval du modèle est ensuite réalisée par translation pour arriver à un pic de 5.58 m NGF respectant également le seuil de référence du PPRI.

En termes d'inondabilité, le principe d'établir des limnigrammes amont & aval du modèle est basé sur le fait que la durée d'une crue est aussi importante que son pic. Une crue avec un pic sur une courte durée peut créer un champ inondable plus réduit qu'une crue avec un pic moins important mais sur une durée plus étalée.

Graphique 1 : Limnigrammes amont & aval du modèle pour la crue de projet - Déroulement de l'événement 1910 sur le bassin versant de la Seine



### 3.3.1.2 Crue de Sécurité

Dans son document de synthèse « Prise en compte de l'élévation du niveau de la mer en vue de l'estimation des impacts du changement climatique et des mesures d'adaptation possibles » publié en février 2010, l'ONERC définit trois hypothèses de prise en compte de l'impact du changement climatique sur l'évolution du niveau de la mer (Optimiste, Pessimiste et Extrême).

Le choix du Maître d'Ouvrage concernant la crue de sécurité pour évaluer l'impact du projet du raccordement définitif au sixième pont, dans des conditions exceptionnelles, correspond à la crue de janvier 1910 accompagnée d'une surcote de 1 m (hypothèse extrême) des niveaux marins moyens au Havre.

La surcote du niveau moyen de la Manche liée au changement climatique de 1 m (hypothèse extrême) a été propagée dans l'estuaire jusqu'à Rouen au moyen d'une simulation réalisée avec un modèle bidimensionnel de la Manche et de l'estuaire de la Seine jusqu'à Rouen dans le cadre de l'étude de la liaison A28-A13 pour le compte de la DREAL Haute-Normandie. Le résultat de cette simulation a fourni que la surcote de 1 m en Manche se propage vers l'intérieur de l'estuaire et se répercute à Rouen par une surcote des niveaux de la Seine de 70 cm.

Les limnigrammes de la crue de sécurité sont construits à partir des limnigrammes de la crue de projet, auxquels 70 cm de hauteur d'eau ont été ajoutés.

## 3.4 Calage

Le calage ou étalonnage du modèle consiste à simuler le passage d'une crue connue suffisamment renseignée en termes de hauteurs et/ou débits (généralement des valeurs de pointe) tout en faisant varier principalement les coefficients de frottement (Strickler).

Les hauteurs d'eau maximales obtenues par la modélisation de l'état référence lors d'un événement similaire à celui de 1910 et des limites des aléas du PPRI sont comparées au niveau des 4 seuils de référence du PPRI lors de la crue 1910.

Les résultats sont sensiblement proches, avec un écart maximum d'1cm. Il existe néanmoins des différences entre l'aléa zone inondable du PPRI et les résultats de la modélisation. Cette différence est due aux données topographiques utilisées ne pouvant pas faire matérialiser le contexte topographique exact du terrain, notamment au niveau des bâtiments, lors de la crue 1910.

De ce fait, le calage du modèle est considéré acceptable.

## 3.5 Résultats de la modélisation des différents scénarii lors de la crue de Projet (Crue 1910)

Les schémas suivants reportent les hauteurs maximales calculées lors de la simulation des 3 scénarii modélisés.





Schéma 5 : Résultats de la modélisation de la situation actuelle – Hauteurs maximales – Crue 1910

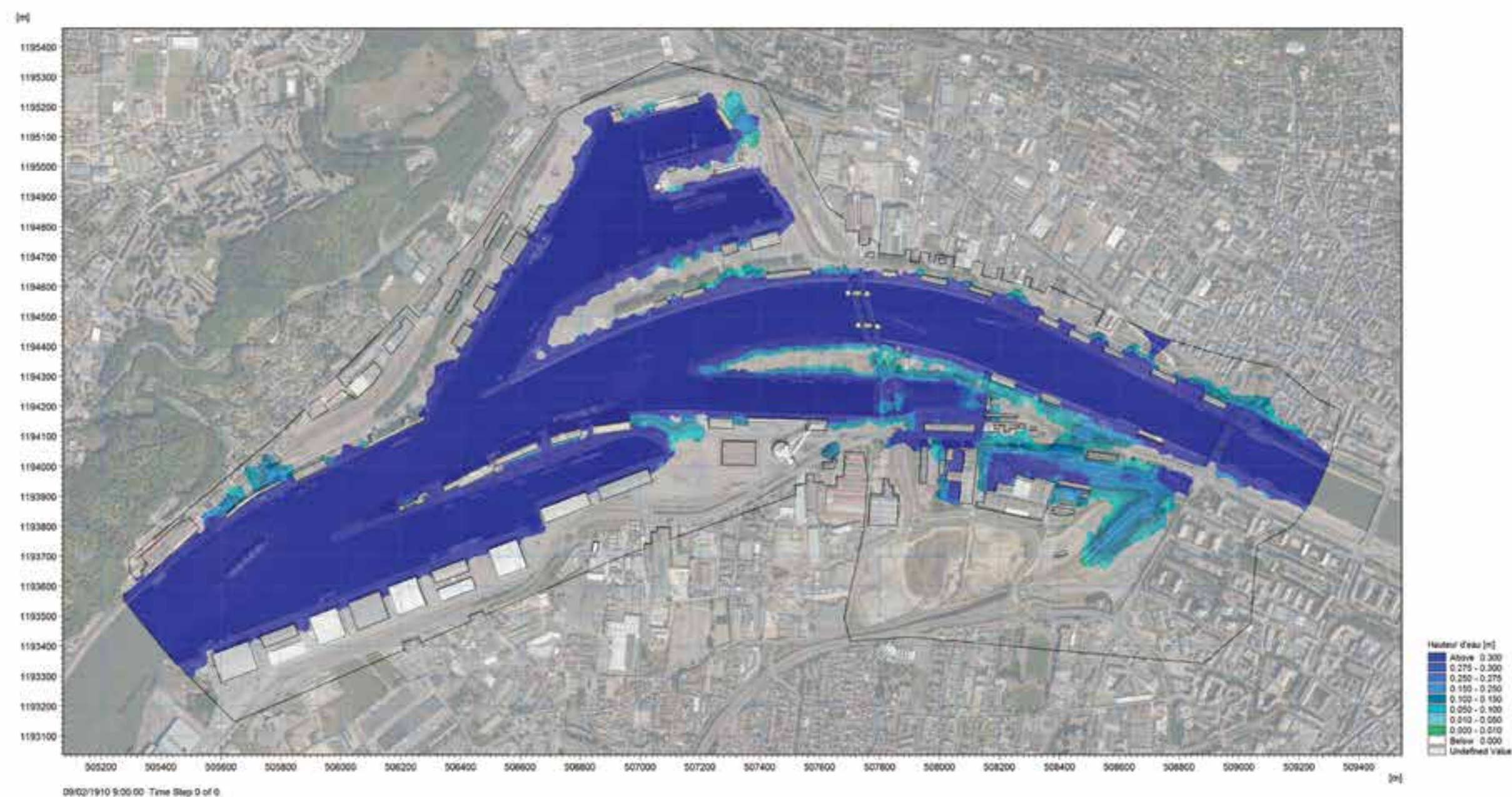
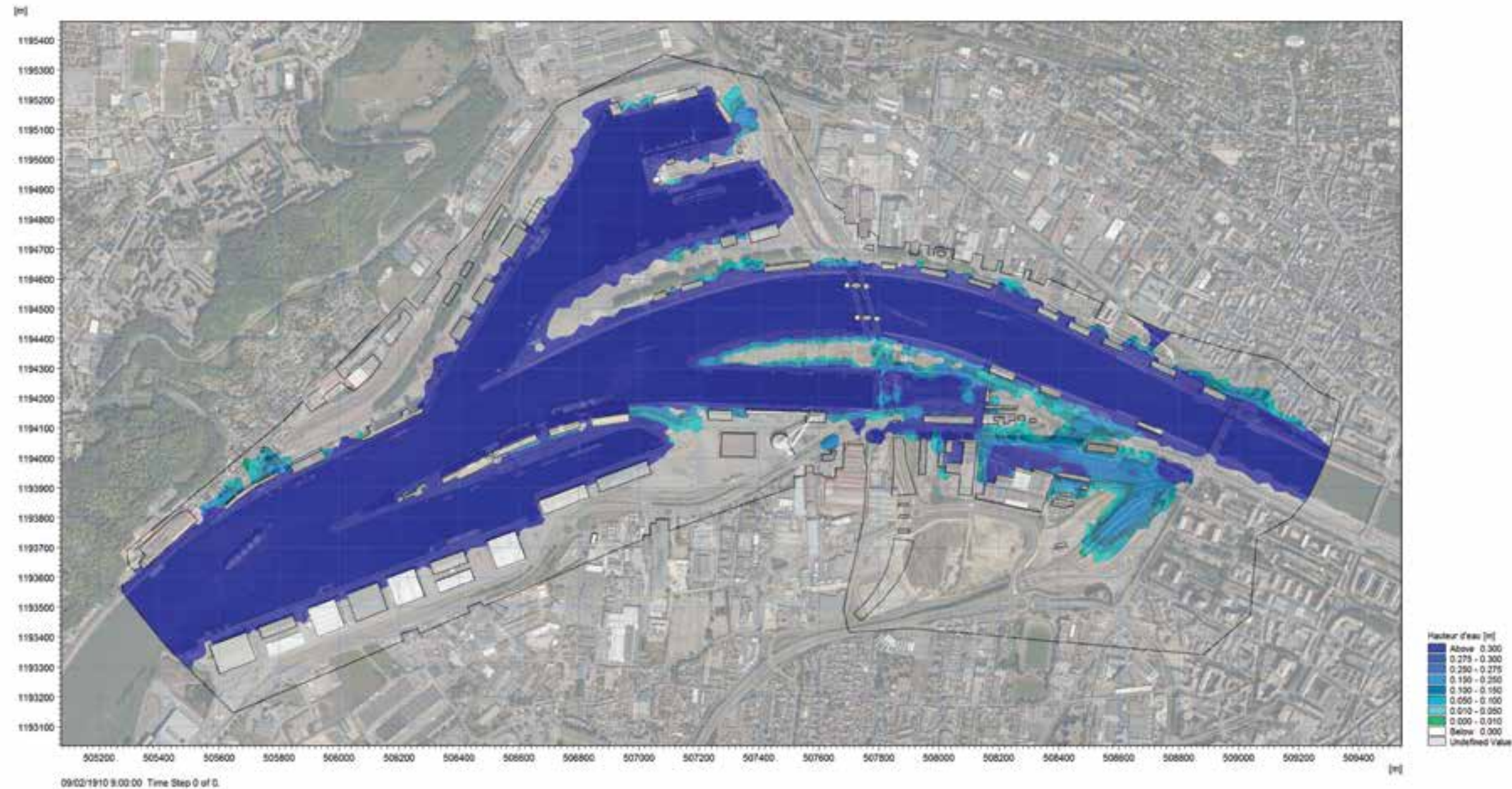




Schéma 6 : Résultats de la modélisation (m NGF) de la situation « future 1 » – Hauteurs maximales– Crue 1910





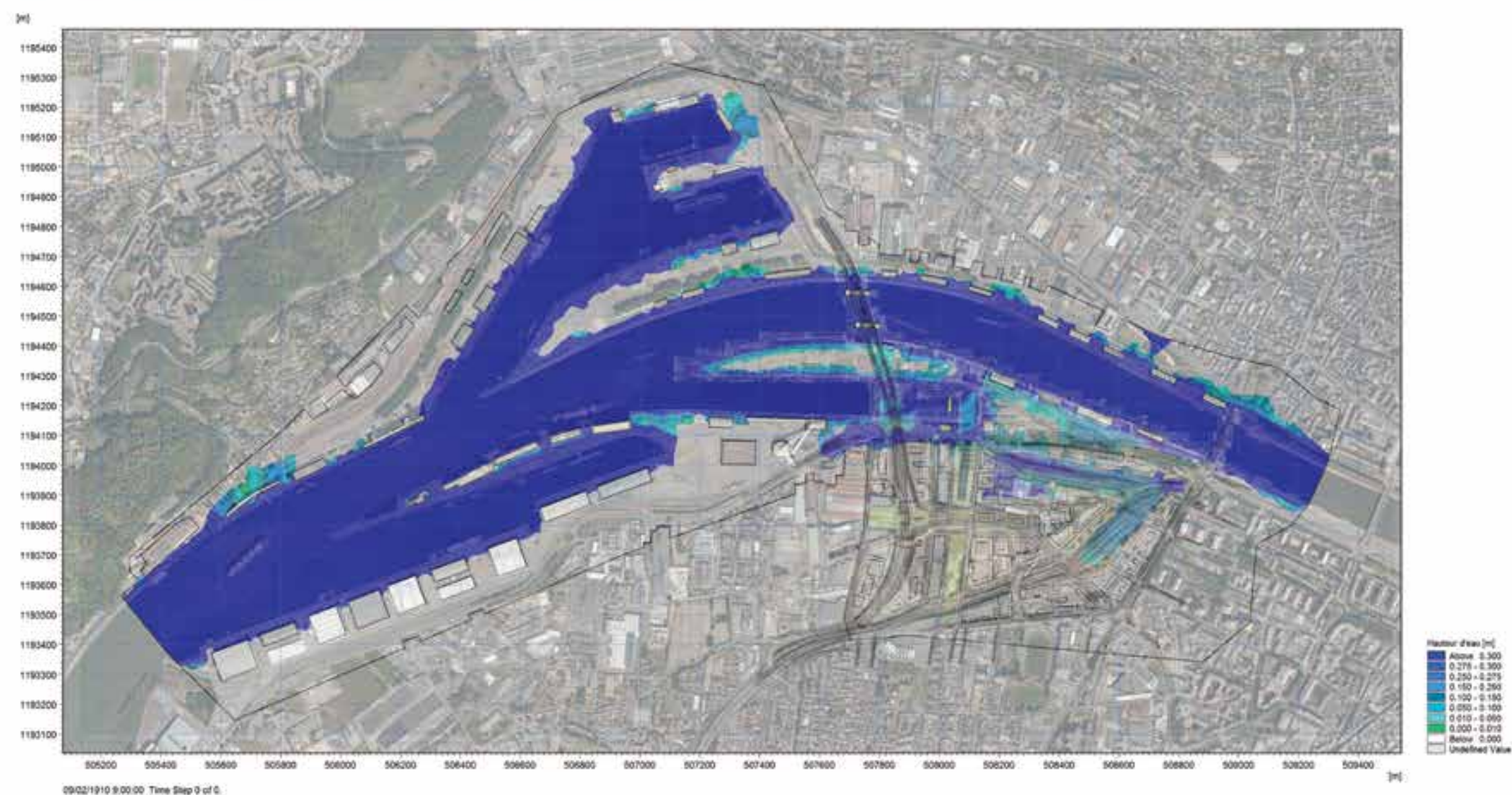


Raccordement définitif au Pont Gustave Flaubert en rive gauche de la Seine - Liaison Sud 18/Autoroute A150 6ème Franchissement de la Seine à Rouen

Rapport de synthèse des études Hydrauliques et Hydrogéologiques

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE

Schéma 7 : Résultats de la modélisation de la situation « future 2 » – Hauteurs maximales – Crue 1910





Les hauteurs d'eau maximales obtenues par la modélisation des différentes situations lors d'un événement similaire à celui de 1910 sont récapitulées et comparées au niveau des 4 seuils de référence du PPRI lors de la crue 1910 dans le tableau 1.  
Les 4 seuils de référence du PPRI lors de la crue 1910 sont illustrés sur le schéma suivant.

Tableau 1 : Récapitulatif des résultats des modélisations H max (m NGF)

	Modélisation de l'état de référence	Modélisation situation actuelle	Modélisation situation future 1	Modélisation situation future 2
Point 1	5.665	5.661	5.662	5.667
Point 2	5.636	5.639	5.637	5.641
Point 3	5.613	5.602	5.603	5.603
Point 4	5.593	5.593	5.593	5.590

Schéma 8 : Localisation des seuils de référence du PPRI Seine aval



Nota : La variante souterraine n'a pas fait l'objet d'une modélisation distincte. Les 2 variantes sont en remblais au niveau du raccordement sur la rampe d'accès et selon les modélisations réalisées, les débordements ne dépassent pas la zone de raccordement.





### 3.5.1 Synthèse des résultats des modélisations de la crue de Projet

Les résultats des modélisations réalisées démontrent les principales conclusions suivantes :

- Le pont Flaubert provoque un léger rehaussement en amont (point 2) et une baisse de la ligne d'eau à son aval immédiat, la ligne d'eau retrouve sa cote de la situation de référence plus en aval, au niveau du point 4 ;
- Les aménagements de l'Eco-quartier Flaubert provoquent également un léger rehaussement au droit du projet (point 2), la ligne d'eau retrouve sa cote de la situation de référence plus en aval, au niveau des points 3 et 4.
- Le projet définitif de la rive gauche (variante aérienne ou souterraine) n'a pas d'impact sur la ligne d'eau et le champ d'inondation de la Seine.

## 3.6 Résultats de la modélisation des différents scénarii lors de la crue de Sécurité

L'objectif de ce chapitre est la prise en compte de l'élévation du niveau de la mer en vue de l'estimation des impacts du changement climatique et des mesures d'adaptation possibles.

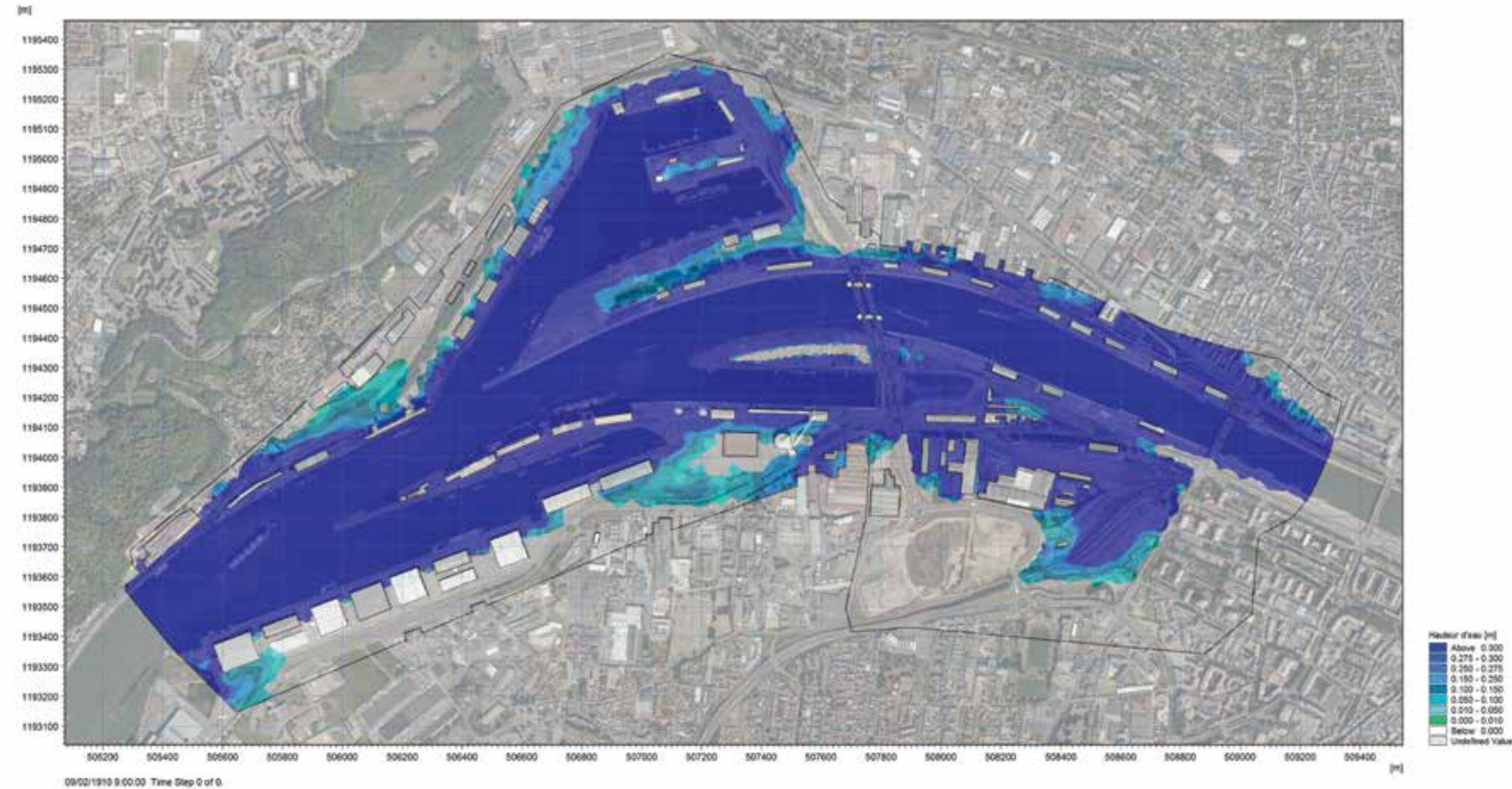
Le choix du Maître d'Ouvrage concernant la crue de sécurité pour évaluer l'impact du projet du raccordement définitif au sixième pont, dans des conditions exceptionnelles, correspond à la crue de janvier 1910 accompagnée d'une surcote de 1 m (**hypothèse extrême**) des niveaux marins moyens au Havre. Il est à noter que cette hypothèse a également été retenue dans le cadre de l'étude de la liaison A28-A13 pour le compte de la DREAL Haute-Normandie.

La surcote du niveau moyen de la Manche liée au changement climatique de 1 m (hypothèse extrême) se propage vers l'intérieur de l'estuaire et se répercute à Rouen par une surcote des niveaux de la Seine de 70 cm, selon les résultats de la modélisation réalisée dans le cadre de l'étude de la liaison A28-A13.

Nous avons donc repris les 3 modèles hydrauliques en modifiant leurs conditions aux limites. Les limnigrammes amont & aval ont été rehaussés de 70 cm.

Les schémas suivants présentent les résultats des trois scénarii modélisés lors de la crue de sécurité retenue.

Schéma 9 : Résultats de la modélisation de la situation actuelle et lors de la crue sécurité retenue- Hauteurs maximales







Raccordement définitif au Pont Gustave Flaubert en rive gauche de la Seine - Liaison Sud III/Autoroute A150 6ème Franchissement de la Seine à Rouen

Rapport de synthèse des études Hydrauliques et Hydrogéologiques

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE

Schéma 10 : Résultats de la modélisation de la situation future 1 et lors de la crue sécurité retenue— Hauteurs maximales

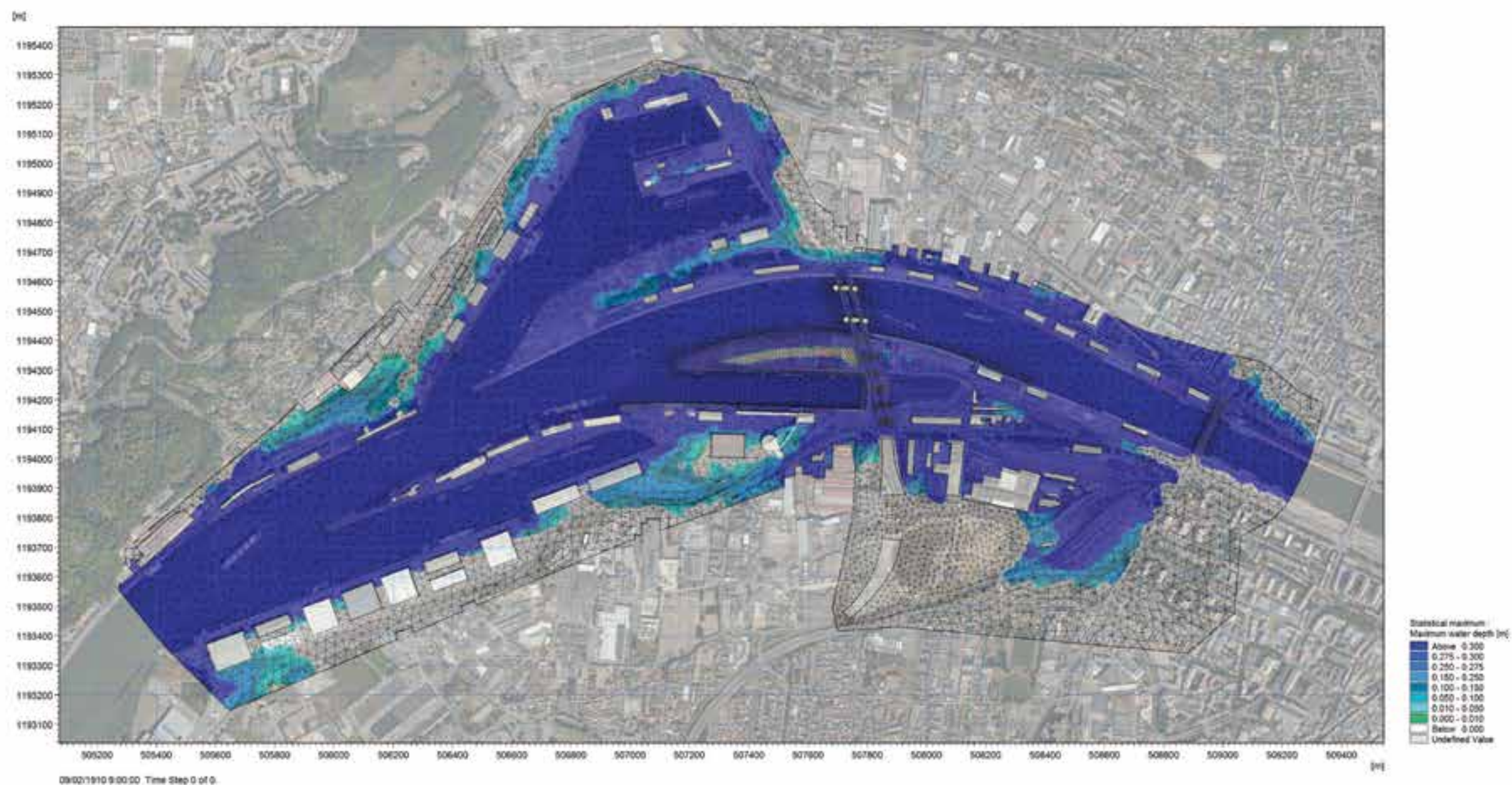
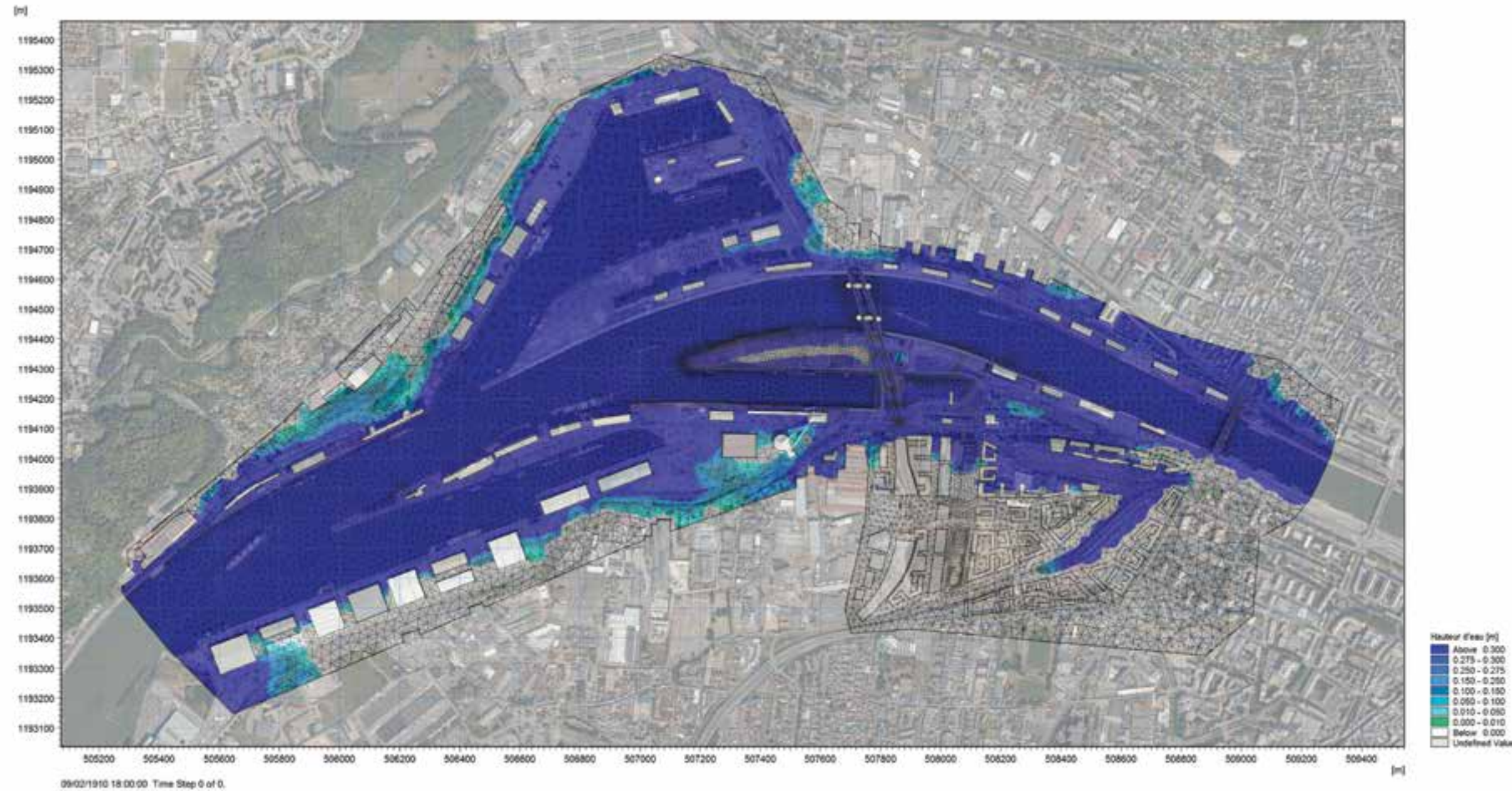




Schéma 11 : Résultats de la modélisation de la situation future 2 et lors de la crue sécurité retenue - Hauteurs maximales







### 3.6.1 Synthèse des résultats des modélisations des différents scénarii lors de la crue de Sécurité

Les hauteurs d'eau maximales obtenues par la modélisation des différentes situations lors de la crue sécurité sont récapitulées dans le tableau 2. Les 4 seuils de référence sont localisés sur le schéma 8.

Tableau 2 : Récapitulatif des résultats des modélisations H max (m NGF) – Crue de sécurité

	Modélisation situation actuelle	Modélisation situation future 1	Modélisation situation future 2
Point 1	6.361	6.360	6.361
Point 2	6.340	6.341	6.352
Point 3	6.314	6.315	6.316
Point 4	6.292	6.291	6.292

Les résultats des modélisations réalisées aboutissent aux principales conclusions suivantes :

- Le projet définitif de la rive gauche (variante aérienne ou souterraine) n'a quasiment pas d'impact sur la ligne d'eau et le champ d'inondation de la Seine ;
- Les aménagements de l'Eco-quartier Flaubert provoquent un léger rehaussement au droit du projet, la ligne d'eau retrouve sa cote de la situation actuelle plus en aval ;
- L'emprise des zones inondables résultante de la modélisation de la situation actuelle et de la situation aménagée du site en intégrant des voies d'accès au pont Flaubert en rive gauche (variante aérienne ou souterraine) est assez similaire ;
- L'emprise des zones inondables résultante de la modélisation de la situation aménagée du site en intégrant des voies d'accès au pont Flaubert en rive gauche et tous les aménagements de l'éco-quartier Flaubert montrent certaines modifications au niveau du projet l'éco-quartier. Toutefois, ces modifications sont composées par les mesures correctrices prises en compte dans le cadre de ce projet étant donné que la ligne d'eau retrouve sa cote de la situation actuelle plus en aval.

## 3.7 Conclusion de la modélisation hydraulique

Au vu des résultats de la modélisation hydraulique réalisée dans le cadre des différentes situations, nous pouvons conclure que :

- L'aménagement du projet définitif de la rive gauche (variante aérienne ou semi-enterrée) n'a quasiment pas d'impact sur la dynamique de la Seine en cas d'inondation ;
- Les aménagements du projet définitif de la rive gauche (variante aérienne ou semi-enterrée) et du projet de l'Eco-quartier Flaubert n'ont pas d'impact négatif sur la dynamique de la Seine en cas d'inondation.

## 4

## Modélisation hydrogéologique

### 4.1 Objectifs

L'objectif de cette étape est d'appréhender les impacts réels du projet sur la dynamique de la nappe alluviale. Dans l'affirmatif, des mesures compensatoires devront être proposées afin de rendre le projet transparent en termes d'effet de barrage hydraulique.

Afin d'atteindre cet objectif, Iduna Environnement a mis en œuvre une modélisation hydrogéologique de la nappe alluviale de la Seine intégrant l'ensemble de la zone d'étude par une modélisation tridimensionnelle (logiciel Rockworks pour le modèle géologique, puis logiciel ModflowFlex et Modflow de Schlumberger pour la modélisation des écoulements souterrains).

Cette modélisation réunit plusieurs parties :

- Les données d'entrée géologiques qui ont permis de développer la structure du modèle géologique tridimensionnel, capable de décrire le sous-sol du secteur d'étude à partir de plus de 300 coupes de sondages disponibles ;
- Les données d'entrée hydrodynamiques qui ont permis de développer la structure du modèle hydrogéologique tridimensionnel, capable de décrire l'état de stabilité initiale du secteur d'étude et de définir les conditions aux limites du modèle ;
- Le suivi hydrogéologique synchrone de la Seine et de la nappe alluviale réalisé du 13 septembre au 13 novembre 2013, permettant de décrire le fonctionnement de la nappe lors du passage des ondes de marée ;
- Les simulations en rive droite ;
  - ↳ De référence, permettant d'établir le calage du modèle en régime permanent ;
  - ↳ Impactée : Situation aménagée du site en intégrant les voies d'accès au pont Flaubert en rive droite (projet fonctionnel) en régime transitoire pour prendre en compte les marées de la Seine ;
- Les simulations en rive gauche ;
  - ↳ De référence, permettant d'établir le calage du modèle en régime permanent ;
  - ↳ Impactée : Situation aménagée du site en intégrant les voies d'accès au pont Flaubert en rive droite (variantes aérienne et souterraine) en régime transitoire pour prendre en compte les marées de la Seine ;

### 4.2 Architecture des modèles

La modélisation géologique du sous-sol a été réalisée en trois dimensions, décrivant la boucle de la Seine sur une surface d'environ 80 km<sup>2</sup> centrée sur le Pont Flaubert, sur 8.5 km d'Est en Ouest et de 9.5 km du nord au sud afin de prendre en compte le maximum de sondages disponibles sur le secteur, et d'en tirer les informations géologiques (nature et géométrie des terrains) à importer dans le modèle hydrogéologique.

Le maillage fin nécessaire à la modélisation hydrogéologique, générant plusieurs milliers de mailles de 100 m<sup>3</sup> environ, a nécessité de créer deux modèles distincts sur la zone du Pont Flaubert et de ses voies d'accès : un modèle de rive droite et un modèle de rive gauche, chacun d'une surface d'environ 4 km<sup>2</sup> et sur 2.7 km d'Est en Ouest par 1.5 km du nord au sud.

- Les données topographiques utilisées pour construire les modèles ont été importées à partir :
  - ✓ Du MNT à 5 m de l'IGN complétées par le MNT des points topographiques fournis pour la zone du Pont Flaubert puis par une numérisation de quelques points et courbes de niveau de la carte topographique de Rouen ;
- Les données géologiques et hydrogéologiques bibliographiques utilisées pour construire les modèles sont les suivants :
  - ✓ Les cartes géologiques au 1/50.000e du BRGM ;
  - ✓ Les coupes de plus de 350 sondages recensés et décrits sur le secteur, importées depuis la Banque de Données du Sous-Sol du BRGM ;
  - ✓ Les coupes des sondages réalisés depuis 2002 lors de plusieurs campagnes de reconnaissances du sous-sol sur le tracé du Pont Flaubert et de ses raccordements (Source – Maître d'Ouvrage) ;





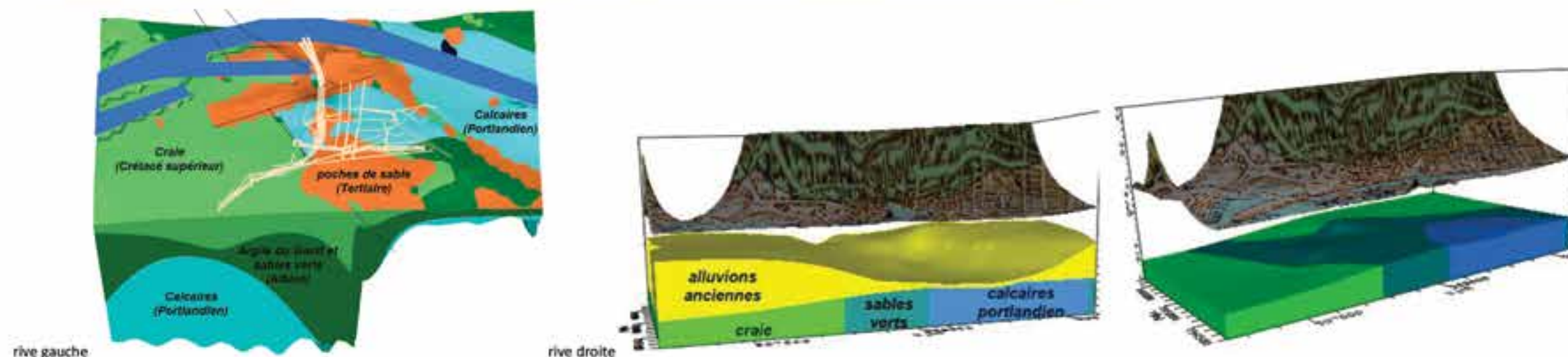
- Les données piézométriques synchrones ont été spécialement acquises du 13/09 au 13/11/2013 par la pose de sondes automatiques dans 6 ouvrages situés le long des projets de voies d'accès de rive gauche, et deux points de la Seine (amont et aval du Pont Flaubert) :

#### 4.2.1 Géologie des modèles

Les sols du secteur d'étude (zone portuaire) sont recouverts de remblais localement très épais (jusqu'à 10 mètres) constitués de matériaux hétérogènes, fins, peu perméables. Ils recouvrent les alluvions récentes de la Seine, également fines et argileuses, donc peu perméables. Ces terrains superficiels recouvrent les alluvions anciennes de la Seine, plus grossières donc plus perméables, dans lesquelles s'écoule plus librement la nappe alluviale (en jaune sur la figure centrale).

Sous les alluvions de la Seine, le fond rocheux est complexe : la boucle de la Seine est caractérisée par la présence d'un bombement local des terrains profonds, érodé et faillé sur un axe nord-ouest à sud-est. La faille de Rouen met ainsi en contact les calcaires du Jurassique à l'Est (en bleu sur les figures ci-dessous) avec les craies du Crétacé à l'Ouest (en vert). La zone centrale est occupée par des argiles et sables peu perméables (en vert foncé).

Graphique 2 : Modèle géologique simplifié issu des données bibliographiques et intégré aux modèles hydrogéologiques de rive droite et de rive gauche



Ces blocs montrent la nature et la géométrie des différentes formations géologiques intégrées aux modèles. Pour rendre visibles les couches profondes sur lesquelles repose la nappe alluviale, les remblais et les alluvions récentes ont été enlevées.

#### 4.2.2 Niveaux d'eau de référence

Au niveau de la zone d'étude, l'altitude de la Seine est conditionnée par le débit du fleuve, qui dépend de la pluviométrie, et par l'état de la marée qui remonte le fleuve depuis l'embouchure jusqu'au barrage de Poses. L'amplitude des marées peut atteindre 4 m à Rouen. Par conséquent, il existe une grande diversité de situations, fonction de ces facteurs qu'il n'est pas envisageable de simuler. Il est de même illusoire de concevoir une situation « type » au regard du nombre de paramètres non maîtrisés.

Dans les relevés fournis, l'absence de précisions sur les heures des mesures ponctuelles relevées dans les sondages du secteur ne permettait pas d'établir une esquisse piézométrique précise et synchrone dans la zone des modèles, ni d'évaluer l'influence de l'onde de marée à distance de la Seine. De ce fait nous avons suivi la piézométrie locale par mesures continues et synchrones du 13 septembre au 13 novembre 2013, par des sondes automatiques enregistreuses mises en place dans six piézomètres situés sur les abords du trajet du projet de rive gauche, et en deux points de la Seine à l'amont et l'aval de la zone modélisée.

Graphique 3 : Localisation des points de suivi synchrone des niveaux de la Seine et de la nappe alluviale

Raccordement définitif au Pont Gustave Flaubert en rive gauche de la Seine - Liaison Sud III/Autoroute A150 ferme franchissement de la Seine à Rouen  
Rapport de synthèse des études Hydrauliques et Hydrogéologiques  
MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE



Graphique 4 : Suivi des niveaux de la Seine, ayant servi au choix d'une marée type intégrée aux modèles hydrogéologiques de rive droite et de rive gauche

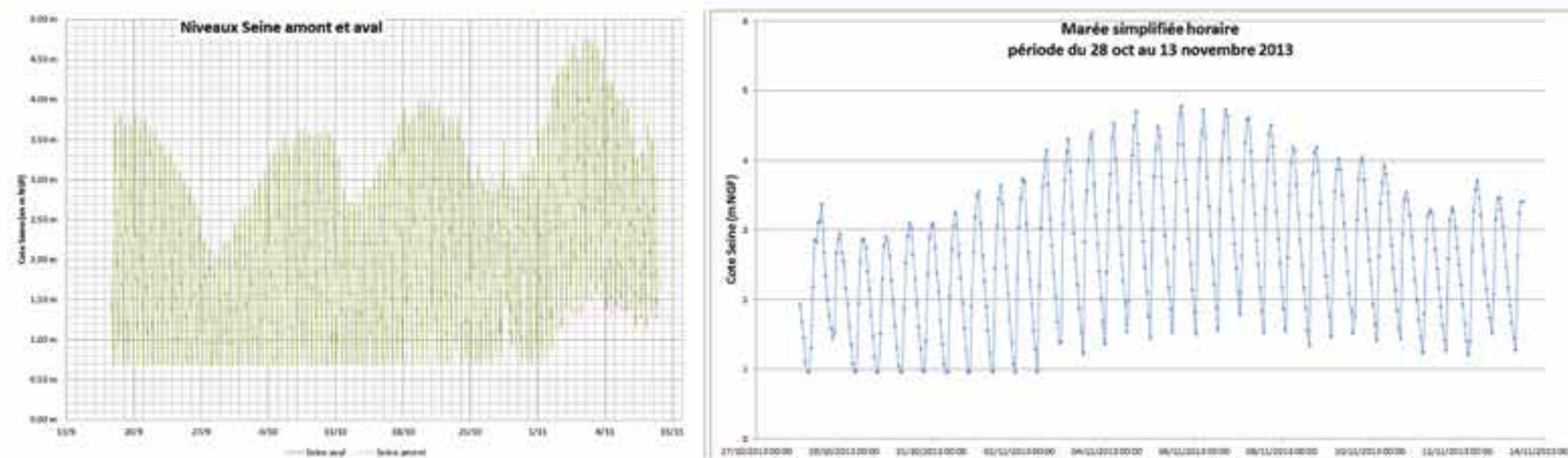




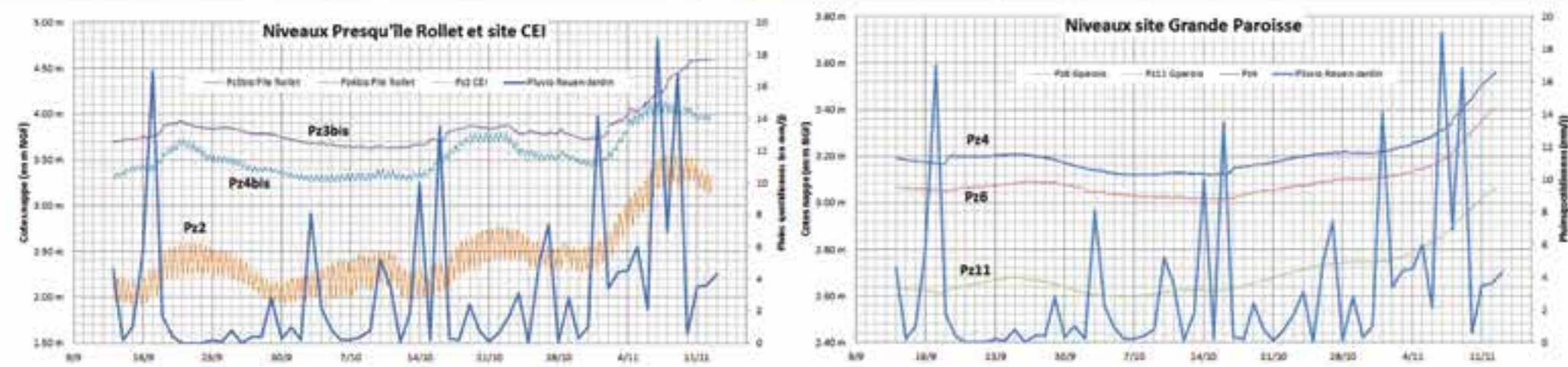
Raccordement définitif au Pont Gustave Flaubert en rive gauche de la Seine - Liaison Sud 18/Autoroute A150 6ème Franchissement de la Seine à Rouen

Rapport de synthèse des études Hydrauliques et Hydrogéologiques

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE



Graphique 5 : Suivi des niveaux de la nappe alluviale, ayant servi de référence aux modèles hydrogéologiques de rive droite et de rive gauche



### 4.3 Conditions aux limites

Deux types de conditions aux limites ont été utilisés pour ce modèle :

#### Flux imposé :

Le flux traversant la maille est imposé pour le modèle. Le programme calcule le niveau piézométrique lié à ce flux dans chaque maille : Un flux moyen a été ainsi imposé sur toutes les mailles représentant la pluie efficace moyenne c'est à dire la fraction de la pluie qui s'infiltre dans le sol après ruissellement évaporation et évapotranspiration. Un flux moyen a également été imposé aux mailles qui bordent le modèle au nord-ouest du modèle de rive droite, et au sud du modèle de rive gauche, afin de simuler l'alimentation latérale de l'aquifère des alluvions de la Seine par l'aquifère de la craie.

#### Potentiel imposé :

Les mailles du modèle qui représentent la Seine et ses annexes (port, darses) sont de type « potentiel imposé ». Cette condition était dans le cas présent indispensable afin de simuler l'influence de la marée : L'altitude de la Seine a été constamment imposée, ce qui permet une alimentation du modèle par la rivière et/ou inversement, au rythme horaires des marées simplifiées décrites ci-dessus (cf. Figure 38). Ces marées de l'ordre de 3 mètres d'amplitude représentent un marnage moyen, qui ne prend pas en compte les phénomènes exceptionnels (grandes marées, mortes eaux). Ces variations horaires de niveau de la Seine ont été appliquées identiquement à l'Est (amont) et à l'Ouest (aval) des modèles. Les calculs ont été réalisés sur plusieurs périodes de trois ondes de marées, représentant 37 phases de calculs.

## 4.4 Calage

Le calage ou étalonnage du modèle consiste à simuler les écoulements des eaux souterraines sur une à dix années, en gardant la Seine à un niveau constant, mais en laissant le modèle suggérer des modifications des paramètres hydrogéologiques les plus variables : principalement la recharge de la nappe par la pluie efficace moyenne, perméabilité et porosité des différents terrains.

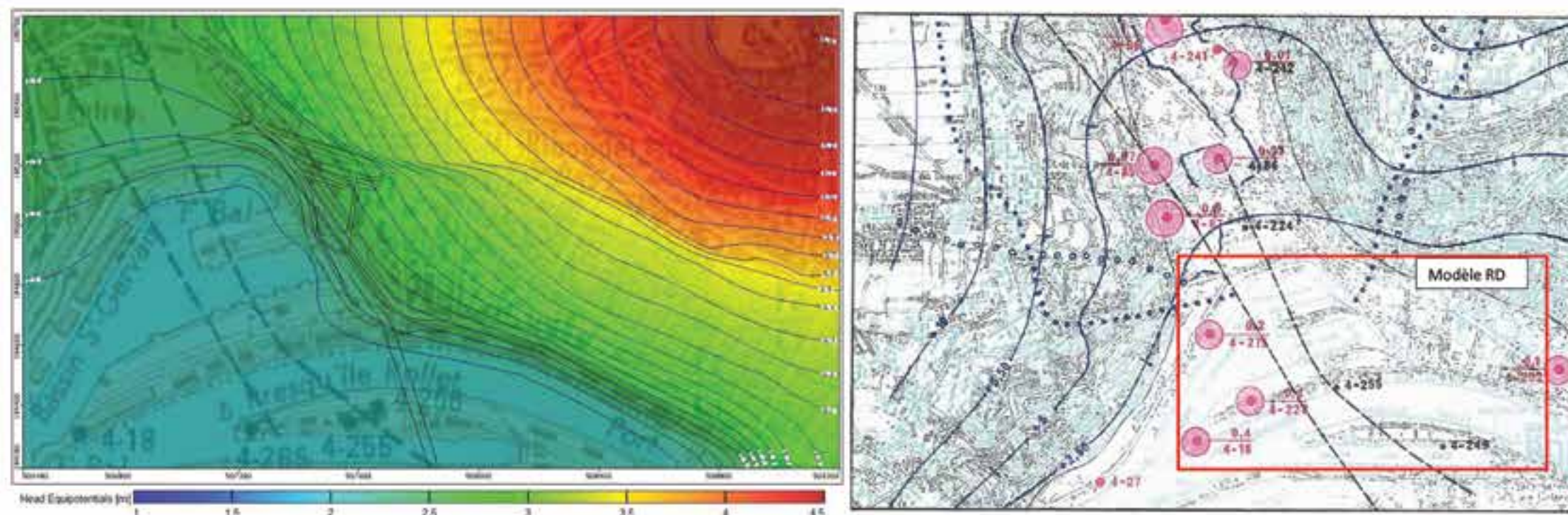
Les cartes de niveaux d'eau obtenues par la modélisation de l'état référence sont comparées aux cartes des niveaux bibliographiques.

Les résultats sont sensiblement proches, avec des courbes de niveau similaires. Les différences de cotes sont explicables par les incertitudes sur les périodes de mesure des données piézométriques utilisées pour l'établissement de ces cartes bibliographiques : saison sèche ou pluvieuse, étiage ou crue de la Seine, et variations locales liées aux incertitudes sur les pompages en cours lors de ces campagnes de mesures.

De ce fait, le calage des modèles de rive droite et de rive gauche est considéré acceptable.

**Graphique 6 :** Simulation de référence - Calage des niveaux de la nappe alluviale de rive droite et comparaison avec les cartes bibliographiques





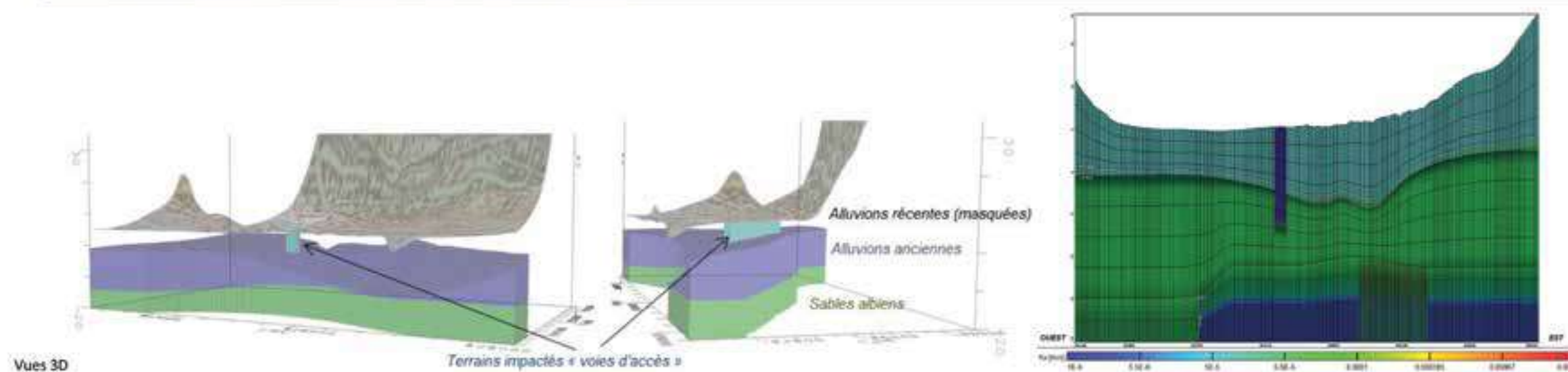


## 4.5 Modélisation des états impactés

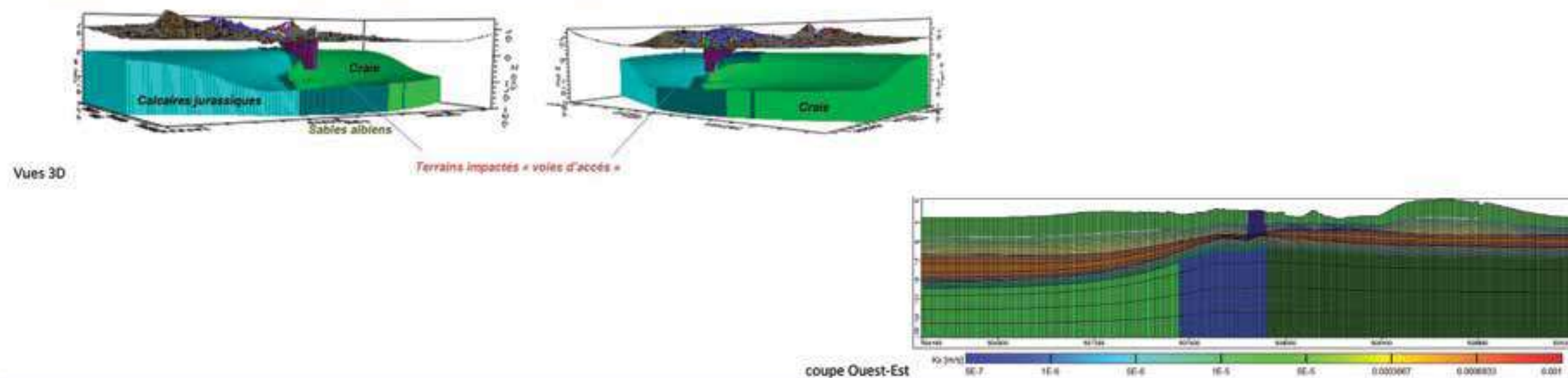
### 4.5.1 Intégration des projets de voies d'accès

La modélisation de l'état impacté a été réalisée en affectant aux terrains situés à la verticale de l'ouvrage une perméabilité réduite résultant de la charge de compaction, voire nulle pour traduire l'effet de barrage hydraulique pour l'ouvrage souterrain.

Graphique 8 : Vues des modèles intégrant la charge des voies d'accès – rive droite



Graphique 9 : Vues des modèles intégrant la charge des voies d'accès – rive gauche



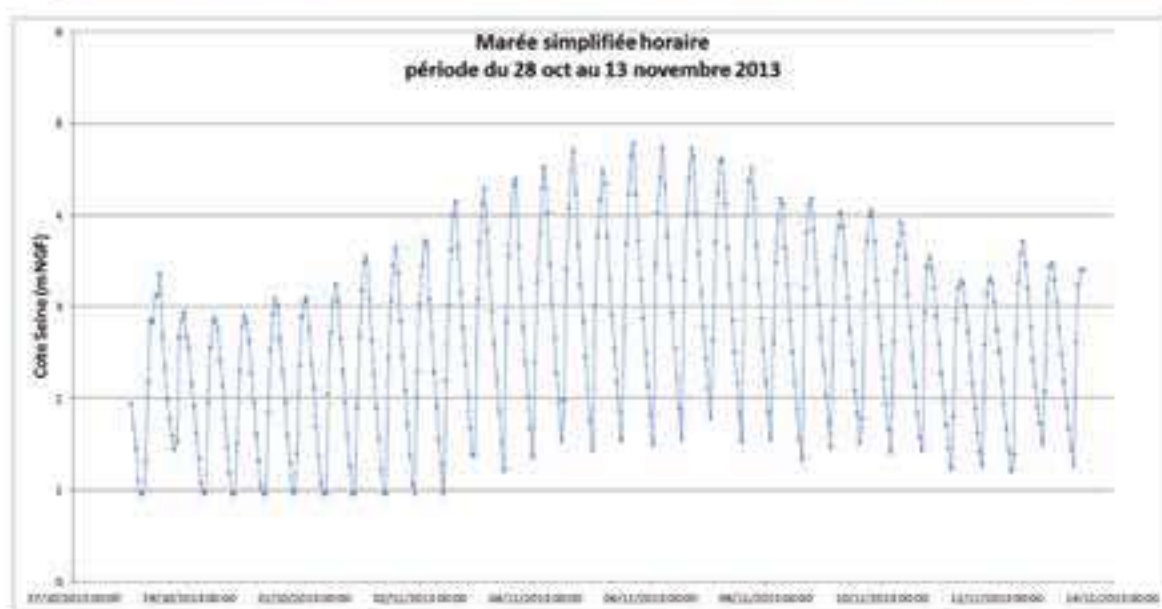




#### 4.5.2 Marée utilisée

Les calculs ont été réalisés sur plusieurs périodes de trois ondes de marées. Les résultats présentés ci-après correspondent à l'onde de marée du 7 novembre 2014 reportée ci-dessous.

Graphique 10 : Marée modélisée et onde de marée correspondant aux piézométries impactées représentées

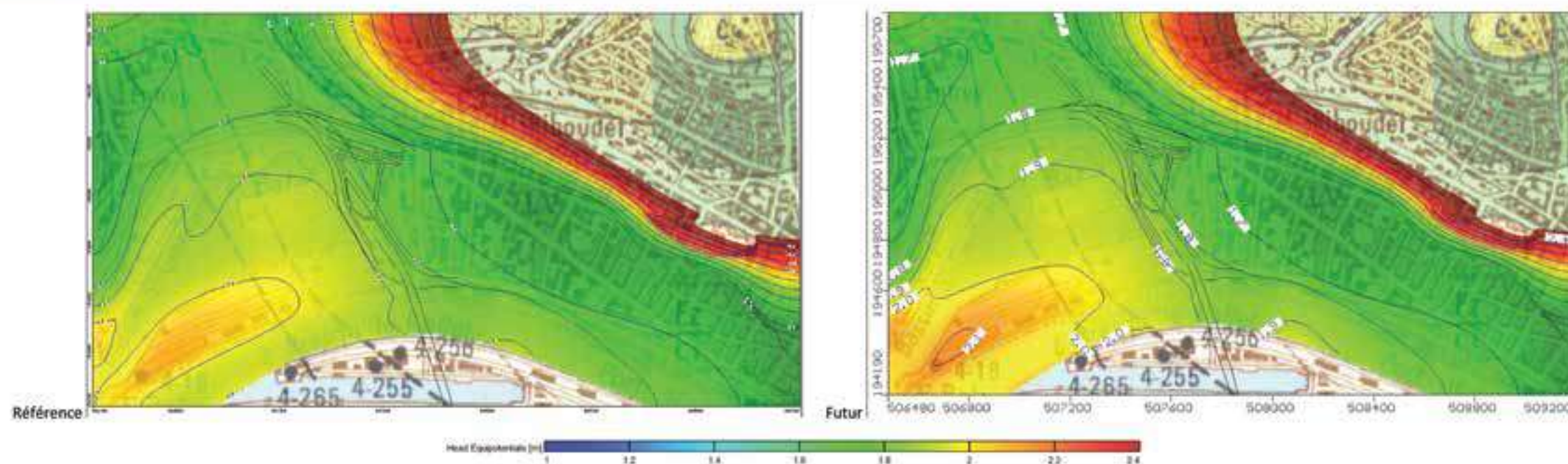




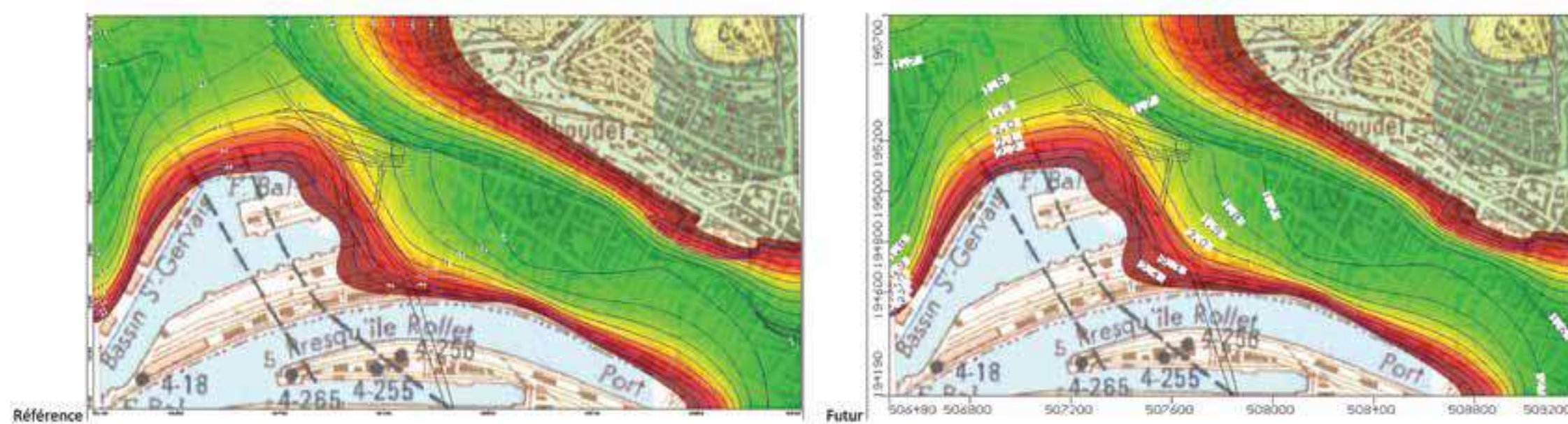
### 4.5.3 Résultats de la modélisation impactée de rive droite

Au droit et aux abords de l'ouvrage de rive droite (tracé fonctionnel), la piézométrie impactée est quasi identique à la piézométrie initiale, le décalage est inférieur à 10 cm.

Graphique 11 : Simulation impactée de rive droite - Piézométries calculées à marée basse (h1)

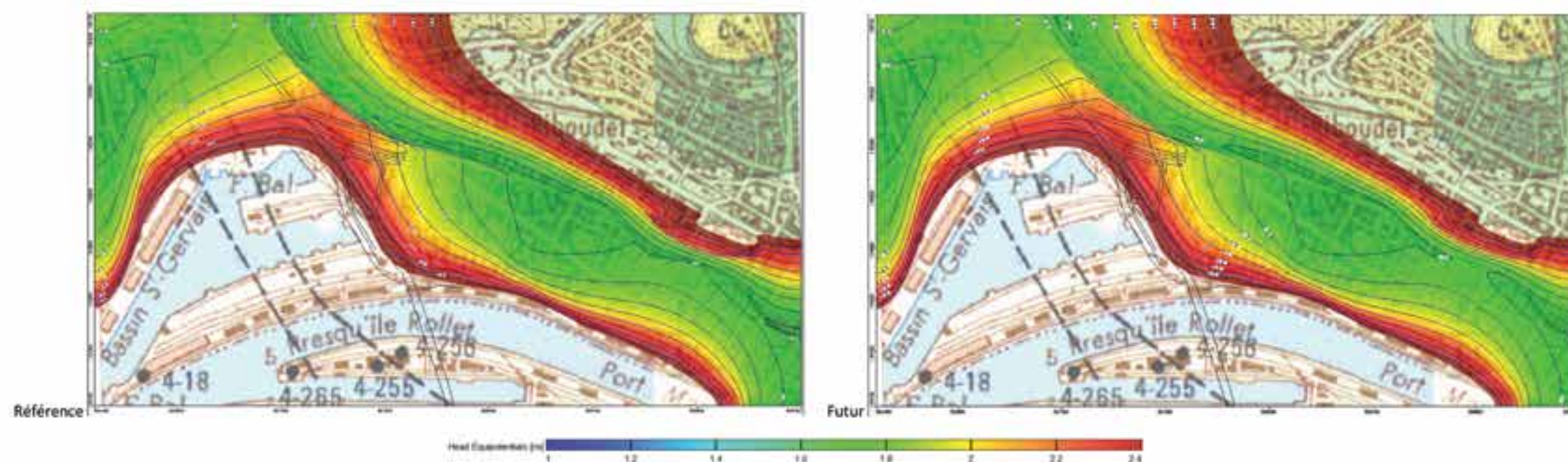


Graphique 12 : Simulation impactée de rive droite - Piézométries calculées 2 heures après la marée basse (h3)

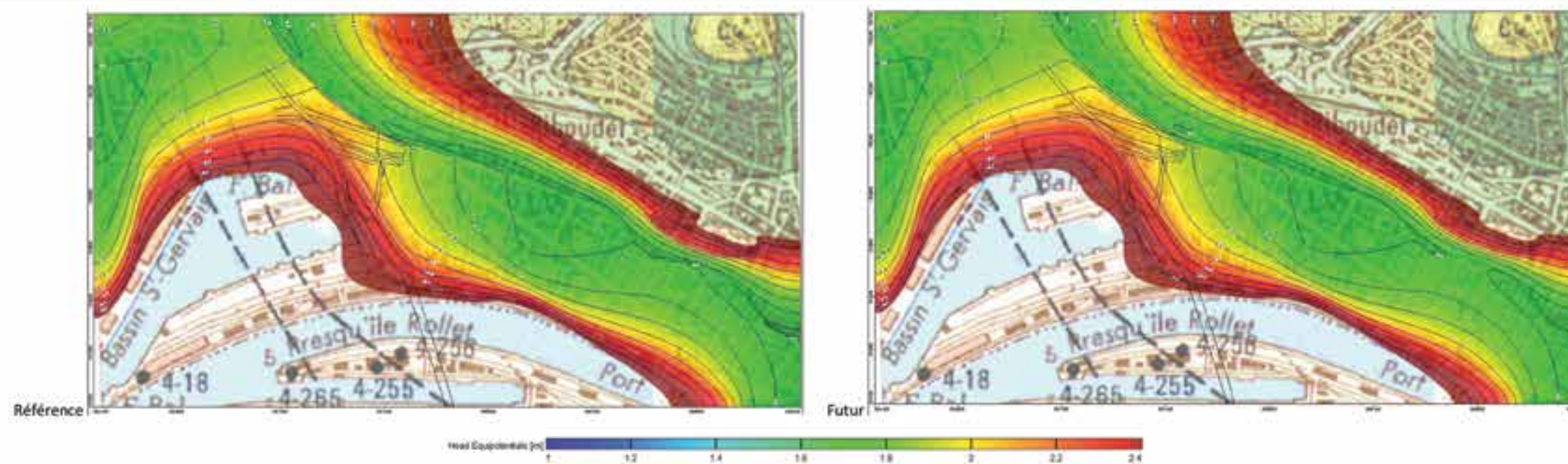




Graphique 13 : Simulation impactée de rive droite - Piézométries calculées à marée haute (h5)

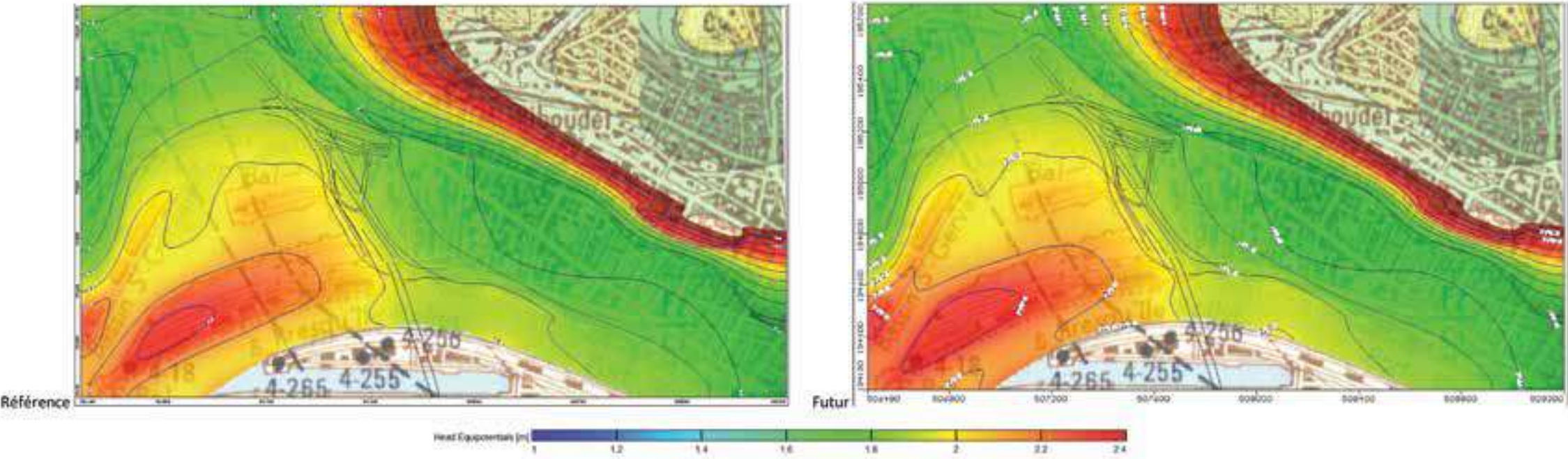


Graphique 14 : Simulation impactée de rive droite - Piézométries calculées 3 heures après la marée haute (h9)





Graphique 15 : Simulation impactée de rive droite - Piézométries calculées 1 heure avant la marée basse (h13)



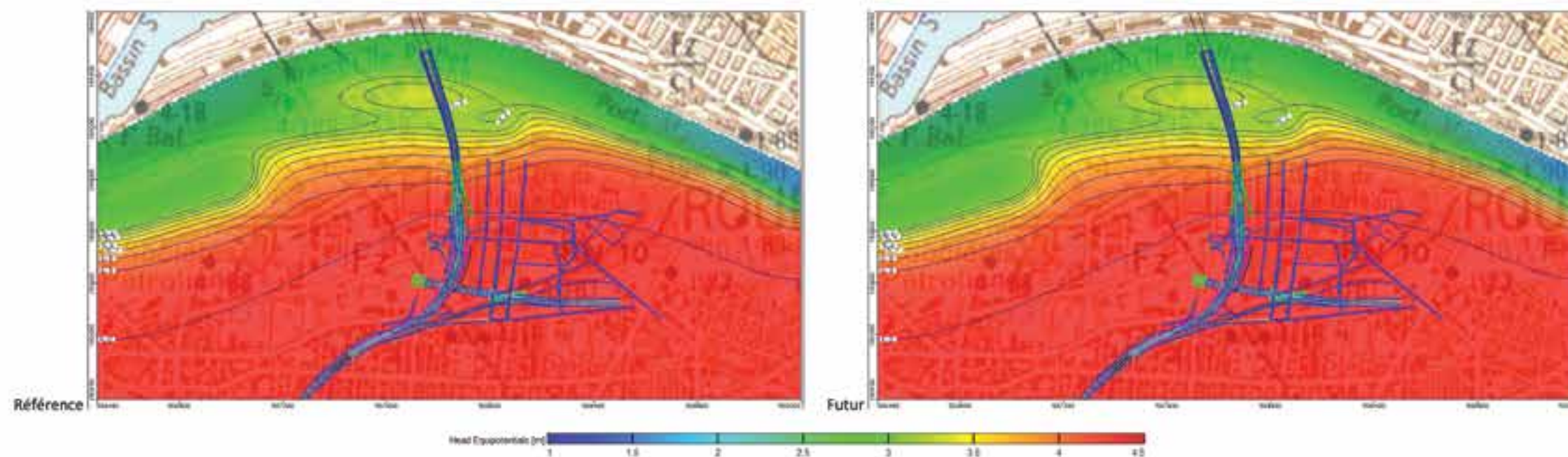


#### 4.5.4 Résultats de la modélisation impactée de rive gauche

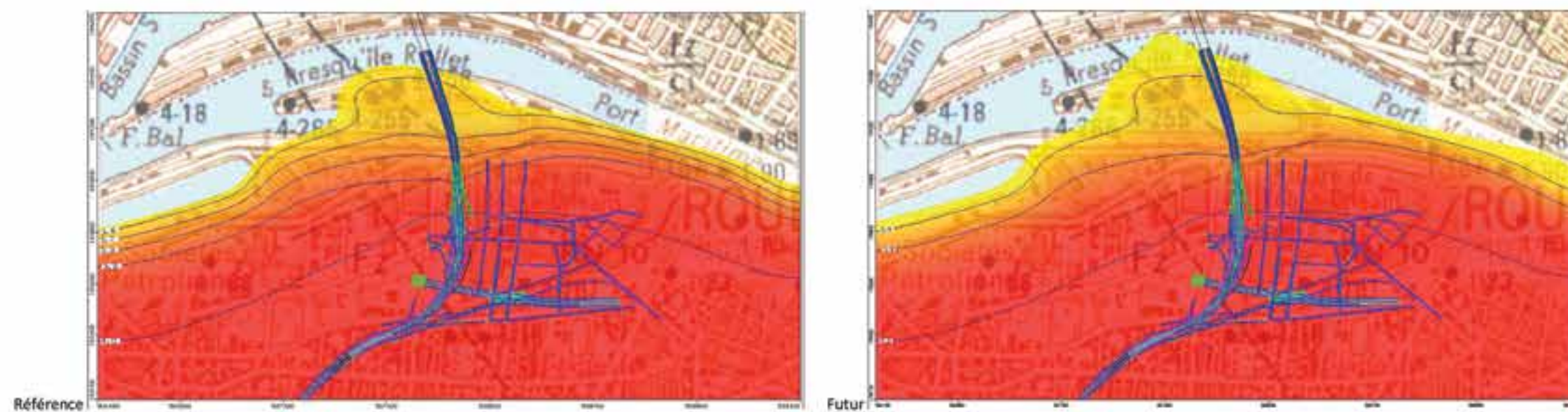
La modélisation a été réalisée en simulant la variante souterraine de l'ouvrage d'accès, condition la plus défavorable.

Au droit et aux abords de l'ouvrage, la piézométrie impactée est quasi identique à la piézométrie initiale, le décalage est inférieur à 10 cm.

Graphique 16 : Simulation impactée de rive gauche - Piézométries calculées à marée basse (h1)

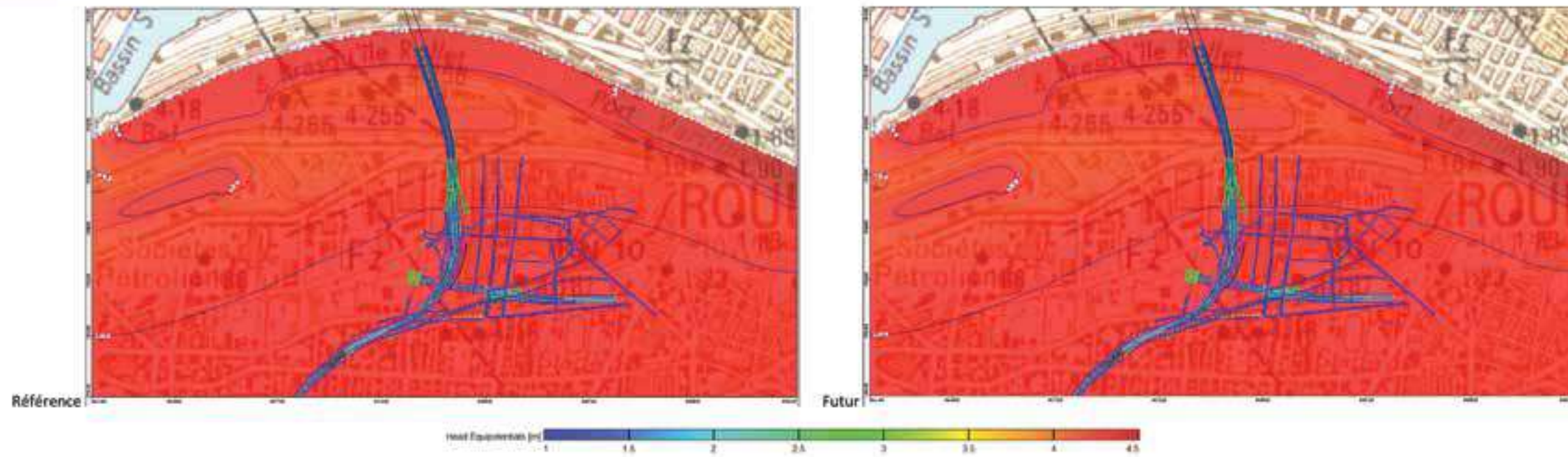


Graphique 17 : Simulation impactée de rive gauche - Piézométries calculées 2 heures après la marée basse (h3)

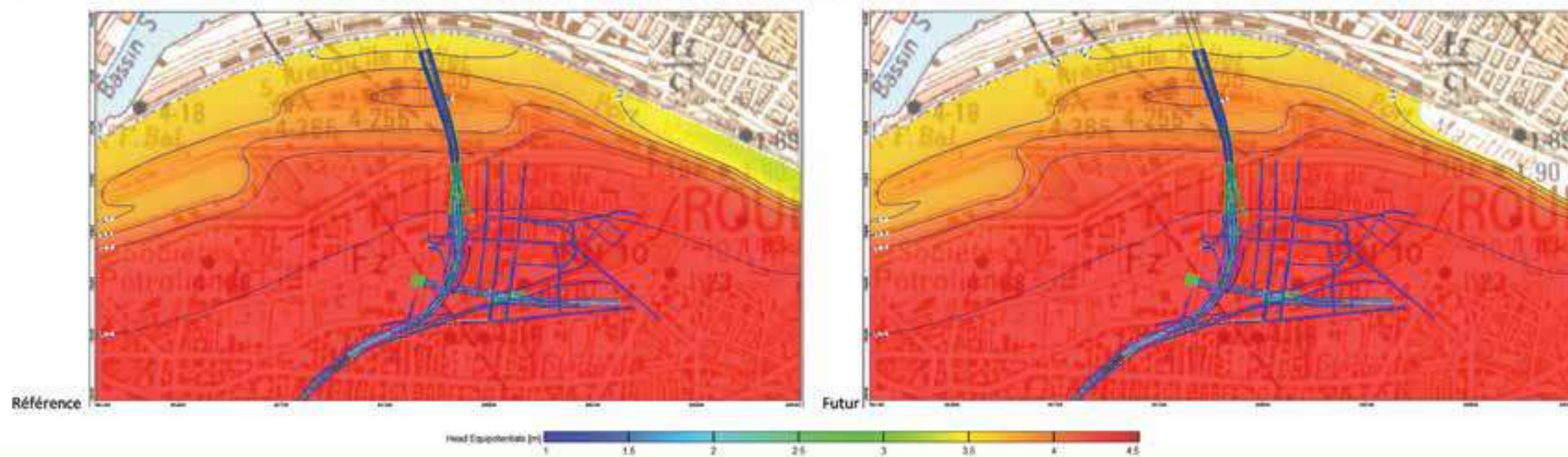




Graphique 18 : Simulation impactée de rive gauche - Piézométries calculées à marée haute (h5)

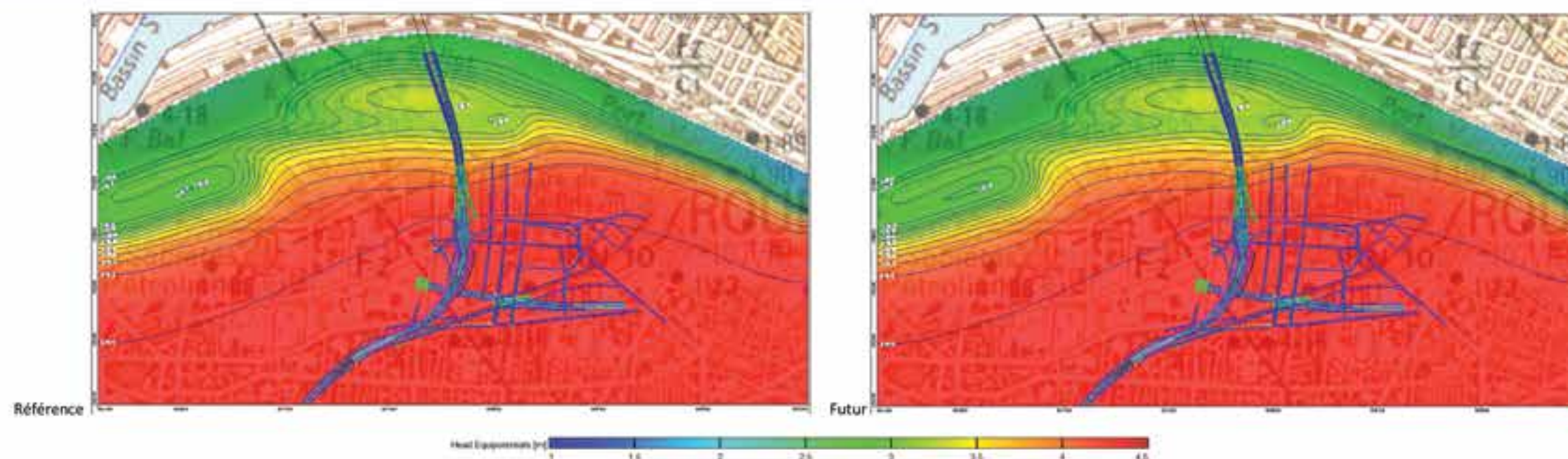


Graphique 19 : Simulation impactée de rive gauche - Piézométries calculées 3 heures après la marée haute (h9)





Graphique 20 : Simulation impactée de rive gauche - Piézométries calculées 1 heure avant la marée basse (h13)



## 4.6 Conclusion de la modélisation hydrogéologique

Au vu des résultats de la modélisation hydrogéologique réalisée dans le cadre des différentes heures de marée pour une situation moyenne (ni étiage, ni crue), nous pouvons conclure que :

- L'aménagement du projet définitif de la rive droite (projet fonctionnel) n'a aucun impact négatif sur la dynamique des écoulements de la nappe souterraine de rive droite ;
- Les aménagements du projet définitif de la rive gauche (variante aérienne ou souterraine) n'ont pas impact négatif sur la dynamique des écoulements de la nappe souterraine de rive gauche.

*Les variations observées entre état de référence et état impacté sont centimétriques au droit des voies d'accès, et disparaissent en une dizaine de mètres de distance.*